

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
KLEINERE MITTEILUNGEN

Nr. 47

**Untersuchungen über radioaktive Mineralien
und Gesteine in der Schweiz**

**Die petrologischen, tektonischen und
radiometrischen Verhältnisse der Stollen
der Electra-Massa**

(südwestliches Aarmassiv nördlich Brig, Wallis, Schweiz)

von

TONI P. LABHART

**Vorwort der Schweizerischen Geotechnischen Kommission und des
Arbeitsausschusses für die Untersuchung schweizerischer
Mineralien und Gesteine auf Atombrennstoffe und seltene
Elemente**

Die vorliegende Arbeit resultiert aus Beobachtungen, die Herr Dr. T. Labhart bei den radiometrischen und geologischen Aufnahmen der Kraftwerkstollen der Electra-Massa in Aarmassivgesteinen nördlich Brig ausführte. Die Untersuchung erfolgte im Rahmen des Forschungsprogrammes des Arbeitsausschusses. Die Stollen querten einen Gebirgsabschnitt des Aarmassives, der, alpin wenig gestört, ausgezeichnete Einblicke in den Baustil des herzynischen Grundgebirges gewährte. Dem Verfasser sei für seine durch vorzügliche Bilder begleitete Studie vielmals gedankt. Die gammaspektrometrischen Messungen erfolgten durch Herrn Dr. L. Rybach am Institut für Geophysik der ETH. Die Arbeit wurde finanziert durch den Schweizerischen Nationalfonds und durch einen speziellen Bundeskredit zuhanden des Delegierten für Fragen der Atomenergie. Diesen Stellen sei der beste Dank ausgesprochen, ebenso der Electra-Massa für ihren Beitrag an die Druckkosten.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Autor allein verantwortlich.

Zürich, November 1969.

Der Präsident der
Schweiz. Geotechnischen Kommission
und des Arbeitsausschusses

Prof. F. DE QUERVAIN

Erscheint gleichzeitig in
„Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen“
Band 49, Heft 3, 1969

Die petrologischen, tektonischen und radiometrischen Verhältnisse der Stollen der Electra-Massa (südwestliches Aarmassiv nördlich Brig, Wallis, Schweiz)*)

Von *Toni P. Labhart* (Bern)**)

Mit 2 Figuren und 2 Tabellen im Text, 11 Phototafeln und 2 Falztafeln

Zusammenfassung

Beim Bau der Stollen der Electra-Massa war 1965 temporär ein lückenloses Querprofil von rund fünf Kilometern Länge durch das Altkristallin des südlichen Aarmassivs aufgeschlossen. Kombiniert mit den vor dem Bau des Stollensystems ausgeführten Untersuchungen an der Oberfläche, lieferten die Ergebnisse der Stollenaufnahmen neue Gesichtspunkte zu wichtigen petrologischen und tektonischen Problemen dieses Massivteils.

Der *Baustil des hercynischen Grundgebirges* ist in einem rund zwei Kilometer langen Stollenstück durch das völlige Zurücktreten jüngerer Deformationen prachtvoll erhalten geblieben. Die Altkristallingesteine – Biotit-Plagioklas-Gneise mit wechselndem Granatgehalt, Amphibolite, Hornblendite und verschiedene andere Einlagerungen – zeigen einen Faltenbau mit süd-südwestlichem Axialgefälle bei generell Nord-Süd gerichteten Planargefügen. Metatektische Bildungen (granitoide Massen sehr variabler Form und Grösse) durchsetzen diese Gefüge und werden ihrerseits von jüngeren Apliten und Lamprophyren durchschlagen (Photo 4 a und b!). Im nördlichen und südlichen Stollenteil sind die präalpinen Planargefüge der Gneise, soweit sie überhaupt noch erkennbar sind, generell nordostorientiert. Die alten Gneisgefüge haben die Raumlage der jüngeren Aplite bestimmt (Diagramme C und D, Tafel I). Demgegenüber streichen die alpinen Schieferungen und Lettenmylonitzonen durchwegs Nordost bei steilem Südostfallen. Die junge Durchbewegung des Kristallins ist sehr ungleichmässig; der in Tafel I dargestellte Wechsel von Scherzonen und undeformierten Altkristallinblöcken ist für das Aarmassiv typisch. Die günstigsten Stellen für eine Anlage alpiner Schieferung scheinen die Massivteile mit präalpin nordoststreichenden Planargefügen gewesen zu sein. Andersorientierte Gneisstrukturen haben als Armierung gewirkt (mittlerer Stollenteil!). Mit der alpinen Durchbewegung verbunden ist das Aufreissen subhorizontaler, heute geschlossener Zerrklüfte mit Chlorit, Biotit, Turmalin, Calcit und Quarz. In einem vertikalen Quarzgang wurden beim Bau des Stollens grosse Quarzkristalle gefunden. An vielen Stellen treten innerhalb des Kristallins

*) Erscheint gleichzeitig als „Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilung Nr. 47“.

***) Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität, Sahlistrasse 6, 3012 Bern.

Gips- und Anhydritlagen auf. Sie werden interpretiert als präalpine, posttriadische Infiltrationen aus dem Deckgebirge, die alpinktonisch oft entlang Bewegungsflächen verschmiert worden sind.

Die *radiometrischen Messungen* führten zur Entdeckung von zwei kleinen Pechblende-vererzungen, die als Fortsetzung bekannter Oberflächenvorkommen anzusehen sind. Die im Stollen gemessenen Radioaktivitätswerte wurden durch gamma-spektrometrische Messungen an 21 Proben ergänzt. Mehrere Granite und Aplite zeigen überdurchschnittlich hohe Gesteinsaktivitäten (10–30 ppm U, 30–50 ppm Th). Genetische Zusammenhänge zwischen diesen Gesteinen und den nahegelegenen Uranvorkommen von Naters (LABHART 1967) werden vermutet. Rb-Sr-Altersbestimmungen an drei Biotit-Proben (JÄGER et al. 1967) belegen eine von der alpinen Durchbewegung unabhängige alpine Erwärmung des ganzen Massivblocks. Die Alterswerte gehören mit rund 10 Millionen Jahren zu den niedrigsten, bis jetzt in den Zentralalpen gemessenen.

Summary

During the construction of the hydroelectric facility galleries of the Electra-Massa SA in 1965, a section of 5 km length through the southern Aar Massif (Swiss Alps; see sketch table I) was accessible. Combined with mapping of the surface, the geology of the galleries gives a good idea of the structure of the prealpine basement rocks and their tectonical overprinting during the alpine orogenesis.

The *prealpine basement* rocks consist of gneisses and amphibolites with inclusions of hornblendites and serpentinites and a few calc-silicate rocks. This complex has undergone a *partial anatexis*, during which different shaped bodies of granitoid material were formed (see photographs 2–9). *Younger dikes* (aprites, lamprophyres, quartz-porphyr-dikes) cross-cut the migmatites (see photographs 4b, 10 and 11).

Alpine shear zones generally strike NE and dip steeply to the SE. Their distribution within the massif is very irregular (see table I). In the southern and northernmost part of the galleries, where the prealpine layering strikes northeast, the alpine overprinting is very strong (see table I, diagram D). In the middle part of the galleries, where the prealpine layering often strikes N and where old SSW plunging folds occur frequently, we find only few alpine shear zones (see table I, diagrams A and C). The latter fact is probably due to the internal structures of this section of the massif.

Connected with the alpine deformation are *tension fissures* with biotite, calcite, chabazite, chlorite, quartz and tourmaline. As well, this deformation caused the formation of boudinage structures in aplitite dikes (see photographs 13–15).

Fissures with gypsum and anhydrite are found within the crystalline rocks. These are interpreted as prealpine (Triassic or Post-Triassic) infiltrations from the cover.

Radiometric measurements with portable geiger-counters have been made (for γ -logs see table II). Twenty-one rocks have been analyzed for U and Th by γ -spectrometry by L. RYBACH. Some granites and aprites contain 10–30 ppm U and 30–50 ppm Th. Connections between these rocks and the nearby uranium-mineralizations of Naters (LABHART 1967) are considered. Two pitchblende-mineralizations of non-economic importance have been found in the galleries.

Rb-Sr age determinations have been made on three biotite samples (JÄGER et al. 1967), one from an alpine tectonite, one from an alpine fissure and one from a rock without any evidence of alpine deformations. All give cooling ages of about ten million years. This indicates that the heating of the massif was not related to alpine tectonics. Together with ages from the nearby penninic Simplon Area, these cooling ages are the youngest ever found in the Central Alps.

Inhalt

1. Vorwort	469
2. Geologischer Überblick	470
3. Die Anlagen der Electra-Massa	471
4. Die geologische Situation der Stollen	472
5. Das präalpine Grundgebirge	474
5.1 Die Struktur der Gneise	474
5.2 Die Metatexis	475
5.3 Die jüngeren Gänge	477
6. Die alpintektonische Überprägung.	477
7. Gips- und Anhydritvorkommen im Altkristallin	479
8. Zerrklüftbildungen	481
8.1 Die Quarzklüft im Druckschacht	482
8.2 Biotit	483
8.3 Chlorit	483
8.4 Turmalin	483
8.5 Chabasit	484
9. Radioaktivität	484
10. Rb-Sr-Altersbestimmungen an Biotit (Diskussion von Resultaten aus JÄGER et al. 1967)	488
11. Literaturverzeichnis	490

1. VORWORT

Zwei Jahre nachdem der Verfasser die Feldarbeiten für seine Dissertation (LABHART 1965) abgeschlossen hatte, bekam er vom „Arbeitsausschuss Atom-brennstoffe“ den Auftrag, die inzwischen gebauten Stollen der Electra-Massa radiometrisch und geologisch zu untersuchen. Die radiometrischen Arbeiten waren von besonderem Interesse, schnitt doch das Stollensystem an drei Stellen die vermutete Fortsetzung der von uns untersuchten Uranvererzungen an der Oberfläche (LABHART 1967). In zwei Stollen wurden tatsächlich an den vermuteten Stellen Uranvererzungen angetroffen.

Wir nahmen diese Untersuchungen auch aus einem anderen Grunde mit besonderer Spannung in Angriff: das Stollensystem erschloss ein fünf Kilometer langes Profil durch den interessantesten Teil des von mir für die Dissertation kartierten Gebietes. Es bot sich hier die seltene Gelegenheit, das Bild vom Bau eines Gebietes, das man sich aufgrund von Oberflächenuntersuchungen in teilweise unzugänglichem, teilweise schuttbedecktem Gelände gemacht hatte, mit der „Wirklichkeit“ zu vergleichen.

Der vorliegende Bericht fasst die wesentlichsten Resultate dieser Stollenuntersuchungen zusammen.

2. GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

(vgl. Tafel I, Übersichtsskizze)

Das Stollensystem der Electra-Massa liegt zum grössten Teil im Altkristallin am Südrand des Aarmassivs. Nur in seinem südlichsten Teil berührt es posthercynische Sedimente. Als Altkristallin (oder Schieferhülle) bezeichnet man im Aarmassiv einen komplex zusammengesetzten Verband von Gneisen aller Art, Amphiboliten, Migmatiten und zahlreichen Einlagerungen von Schollen und Stöcken verschiedenster Gesteine. Die Serie als Ganzes ist sicher vor der Intrusion des Zentralen Aaregranits gebildet worden, der sie mit scharfer Diskordanz durchbricht, und dessen Alter radiometrisch mit knapp 300 Mill. Jahren als Oberkarbon/Unterperm bestimmt ist. Im Altkristallin sind oft mehrere Bildungsphasen zu unterscheiden, deren Alter bis heute nicht bekannt ist. Aus mehreren neueren Arbeiten (NIGGLI 1965; LABHART 1965; STECK 1966) geht folgende Phasenabfolge hervor:

- a) Ein- oder bereits mehrphasige Metamorphose und Faltung ältester Gneise und Amphibolite mit mesozonalem Mineralbestand und eingelagerten Hornblenditen und Serpentiniten (basische Intrusiva?). Der Baustil ist teilweise vom jüngeren, alpinen räumlich abweichend, teilweise dominiert schon das „alpine“ Nordoststreichen.
- b) Jüngere partielle Anatexis, bzw. Metatexis, von sehr unterschiedlicher Bedeutung. Nebeneinander können unterschieden werden:
 - Bildung granitoider Nester und Lagen unter Erhaltung der alten Strukturen;
 - eine intensive Durchmischung von Altbestand und Neubestand unter Zerstörung der alten Strukturen;
 - Auftreten grösserer „Intrusivkörper“ mit recht scharfem Kontakt, die sich aber kontinuierlich in schlierig-migmatistische Gesteine verfolgen lassen.
- c) Diskordant durchsetzende Ganggesteine und grössere granitische Körper, deren Bildung wahrscheinlich zum Teil zeitlich ungefähr mit der Intrusion des Zentralen Aaregranits zusammenfällt, was aber in den meisten Fällen nicht bewiesen worden ist.

Kompliziert werden die Untersuchungen in diesem präalpinen Grundgebirge durch eine sehr intensive, teilweise mehrphasige und immer selektive alpinktonische Überarbeitung. Sie hat zonenweise im Altkristallin die alten Gesteine in Schiefer mit epimetamorphem Mineralbestand umgewandelt und Altkristallin und postpermische Sedimente gemeinsam verschuppt und ver-

faltet (LABHART 1966). Der niedrige Grad der alpinen Metamorphose wird durch grossräumige Untersuchungen bestätigt (zum Beispiel JÄGER et al. 1967).

Die Geologie der unmittelbaren Umgebung der Stollen ist in LABHART (1965) im Detail beschrieben.

3. DIE ANLAGEN DER ELECTRA-MASSA

(die in Klammern angegebenen Zahlen beziehen sich auf das Übersichtsprofil in Fig. 1)

Von der Talsperre (1) im oberen Teil der Massaschlucht (Bogenstaumauer von 120 m Höhe, Nutzvolumen 8 Mill. m³) führt ein 2700 m langer Druckstollen (\varnothing 3,4 m) auf einem durchschnittlichen Niveau von ca. 1340 m ü.M. mit 5‰ Gefälle nach Süden (2). Durch das Baufenster Gebidem (3) wird er in einen „oberen“ (2a) und einen „unteren“ (2b) Teil gegliedert. Die Meterangaben in dieser Arbeit beziehen sich auf die Vortriebsmetrierung, die für beide Stollenteile bei der Einmündung des Fensterstollens beginnt. Das Wasserschloss (4) besteht aus einem 210 m langen Schrägschacht (\varnothing 4,5 m, Neigung 70‰). Zu seinem oberen Ende wurde auf 1460 m ü.M. ein Baufenster vorgetrieben (5). Der gepanzerte Druckschacht (6) ist 1100 m lang (\varnothing 2,5 m, Neigung 70‰). Seine Metrierung beginnt am tiefsten Punkt. Auf 970 m ü.M. befindet sich das Baufenster Eichen (7). Von der unterirdischen Zentrale Bitsch (8), für die ein Hohlraum von 42000 m³ herausgesprengt wurde, führen auf einem Niveau von ca. 700 m ü.M. drei Stollen ins Freie: der Unterwasserstollen (9), der als Kanal der Massa entlang bis zur Einmündung in den Rotten (Rhône) weitergezogen wurde, der Haupteingangsstollen (10) und der Kabelstollen (11). Bei allen drei Stollen beginnt die Metrierung beim Stollenmundloch.

Die Zentrale ist mit zwei vertikalachsigen Maschinengruppen ausgerüstet, die je eine Pelton-Turbine, einen 100 000-kW-Generator und einen Dreiphasen-Transformator enthalten.

Die Gesamtanlage wurde im Frühjahr 1967 provisorisch in Betrieb genommen. Die durchschnittliche, jährliche Energieerzeugung beträgt 400 Mill. kWh.

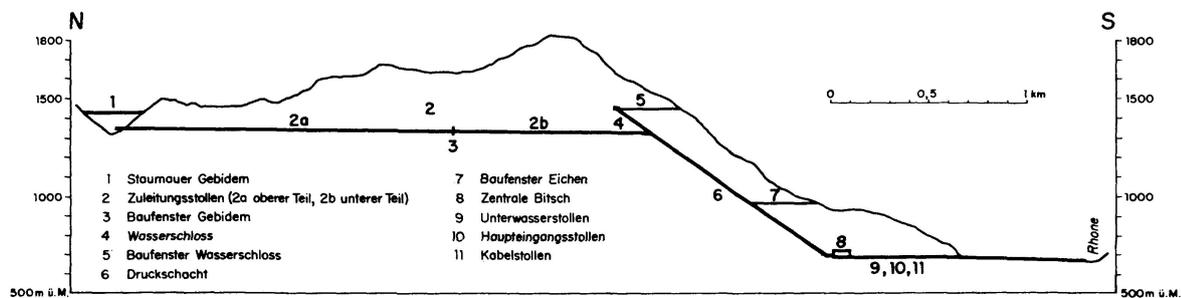


Fig. 1.

4. DIE GEOLOGISCHE SITUATION DER STOLLEN

Die geologischen Verhältnisse sind dargestellt auf den Tafeln I und II. Das Querprofil Tafel I soll unter Weglassung zahlreicher Details einen Überblick über das durch die Stollen erschlossene Querprofil geben. Es wurde konstruiert aufgrund unserer Oberflächenaufnahmen der Jahre 1960–1964 und der Stollenbefunde. Mehr Einzelheiten enthalten die Darstellungen auf Tafel II: II/A ist ein Horizontalschnitt auf dem Niveau des Zuleitungsstollens (ca. 1340 m ü.M., siehe Fig. 1), II/B gibt einen Vertikalschnitt durch den Druckschacht und II/C ist ein Horizontalschnitt auf ca. 700 m ü.M. durch die Zentrale Bitsch und ihrer drei Zugangsstollen. Die Darstellungen II/A–II/C enthalten zudem das Ergebnis der radiometrischen Messungen in Form von γ -Logs (siehe auch Abschnitt 9).

Aus Tafel I ergibt sich folgende Grossgliederung der durchfahrenen Gesteine:

1. Eine Zone inhomogener Augengneise im Norden.
2. Ein Block gebänderter Gneise und Amphibolite im mittleren Stollenteil.
3. Wechselnd ausgebildete Biotit-Serizit-Gneise am Südrand des Massivs.
4. Diskordant eingelagerte plattenförmige Granitkörper.
5. Permische und jüngere Sedimente der Urseren-Zone, südlich an das Aarmassiv anschliessend.

Im folgenden seien diese fünf Komplexe kurz beschrieben.

1. Die Staumauer Gebidem und der nördlichste Teil des Stollensystems liegen in einem sehr stark verschieferten Komplex von Serizit-Augengneisen, Serizit-Gneisen, Biotit-Schiefer-Lagen und -Schollen. Eingelagerte Gänge sind entweder stark laminiert (Lamprophyre und Quarzporphyre) oder zerschert und zerrissen (Aplite). In Zonen starker Schieferung tritt Gips auf. Sehr stark tektonisiert ist die Grenze gegen Komplex 2. Diese Grenze ist nicht scharf; es finden sich einerseits Späne von Biotit-Plagioklas-Gneis in den Augengneisen (Tafel II/A, hm 13), andererseits durchsetzen Gänge von „Augengneis“ (Granitporphyr) die Biotit-Plagioklas-Gneise (Tafel II, hm 6,60, 7,75, 8,6). Diese Gänge deuten eine wichtige Altersabfolge an und weisen zugleich darauf hin, dass wenigstens ein Teil der Augengneise, die weiter westlich im Aarmassiv eine grosse Fläche einnehmen, aus porphyrischen Graniten entstanden sein dürfte.

2. Im Süden an die oben beschriebenen Gesteine anschliessend folgt nun auf rund zwei Kilometer eine Serie, die durch das Vorherrschen lagiger, gebänderter Biotit-Plagioklas-Gneise charakterisiert wird. Fliessende Übergänge führen zu sehr granatreichen Varietäten, wie sie bisher von der Oberfläche nicht bekannt waren. Sehr häufig sind Amphibolit- und Hornblendit-Lagen und -Schollen, ohne dass sie aber grössere zusammenhängende Pakete bilden. Der

an der Oberfläche über dem Stollen kartierte grosse Amphibolitzug (LABHART 1965, Tafel I) mit seinem ausgeprägten süd-südwestlichen Axialgefälle von 40–45° zieht über den Stollen hinweg. Weitere bemerkenswerte Einlagerungen sind ein 20–30 m mächtiger Serpentinzug und zwei kleine Kalksilikatfelschollen; diese letzteren gehören im südlichen und südwestlichen Aarmassiv zu den ganz grossen Seltenheiten (Photo 1).

Das Bemerkenswerteste an diesem Gesteinsverband ist der schön erhaltene voralpine Gebirgsbau; die alpin-tektonische Überprägung beschränkt sich auf einzelne schmale Phyllonitzonen, die im mittleren Teil der Zone oft Hunderte von Metern auseinander liegen. Dazwischen liegen Blöcke von völlig unversehrt präalpinem Grundgebirge, in dem vor allem die Struktur der alten Gneise, die Einwirkung der Metatexis und die jüngeren Ganggesteine einmalig schön studiert werden konnten; die wichtigsten Punkte haben wir in Abschnitt 5 zusammengestellt und mit möglichst viel Abbildungen dokumentiert. Bau-technisch war dieser Stollenabschnitt ausserordentlich günstig, gab es doch Strecken von mehreren hundert Metern ohne die geringste Wasserführung. Abdichtung oder Einbau war ausschliesslich an den jungen Scherzonen nötig. Die schwierigste Stelle war der erwähnte Serpentinzug (Zuleitungsstollen oberer Teil, hm 4,2–4,5), der infolge der alpinen Durchbewegung in Linsen mit einer mehligigen Zwischenmasse zerlegt worden war.

3. Der grössere Teil des Druckschachtes, die Zentrale Bitsch und ihre drei Zugangsstollen liegen im Bereich von Biotit-Serizit-Gneisen mit wechselnden Gehalten an Feldspatagen. Im nördlichen Teil gehen die im allgemeinen monoton ausgebildeten Gneise lokal in Schollenmigmatite über, wobei immer eine sehr intensive Durchmischung des Alt- und Neubestandes festzustellen ist. Präalpine Gefüge sind nur selten mit Sicherheit zu erkennen, am ehesten noch an einzelnen Biotitfels-, Amphibolit-, Hornblendit- und Granat-Biotit-Felschollen und -Lagen. Aplitgänge sind sehr verbreitet. Bemerkenswert ist ihre konstante Raumlage (Diagramm D, Tafel I).

Neben der durchgreifenden, alpinen Schieferung finden sich eigentliche Mylonitzonen mit Anreicherung von Anhydrit- und Gipslagen und breiigen Letten. Derartige Zonen von bis zu 60 m Mächtigkeit treten vor allem am Südrand des Massivs auf; die bedeutendste liegt rund hundert Meter vom südlichen Massivrand entfernt. Sie erforderte im Haupteingangsstollen zur Zentrale schweren Einbau. Auch der Kontakt zu den Sedimenten der Urseren-Zone ist in den Stollen (wo er übrigens zum ersten Male aufgeschlossen wurde) durch eine schmale Lettenmylonitzone gekennzeichnet. Die Platte der permischen Konglomeratgneise liegt hier dem aarmassivischen Altkristallin in „tektonischer Konkordanz“ auf.

4. Nicht weniger als fünfmal ist der Kontakt eines feinkörnigen, homogenen, granitischen Gesteins mit seinen gneisigen Hüllgesteinen in den Stollen angeschnitten worden: zweimal im Druckschacht, zweimal im Zugangsstollen zum

Wasserschloss¹⁾ und einmal (Südostkontakt) im Baufenster von Eichen¹⁾. Zusammen mit den früher kartierten Oberflächenkontakten lässt sich dieser Granitkörper im Raum als rund 150 m mächtige, mit 55 bis 60° nach Südosten einfallende Platte konstruieren. Es ist bemerkenswert, dass diese Lage mit derjenigen der südlich davon eingemessenen Aplitgänge und kleineren Granitstöcke übereinstimmt (Tafel I). Über die hohe Radioaktivität dieses Granits siehe Abschnitt 9.

Wenig weiter nördlich ist im Druckschacht wie im Zugangsstollen zum Wasserschloss eine rund 50 m mächtige Lage eines porphyrischen Granits angeschnitten. Wir hatten dieses Gestein in ebenso schmalem Zuge seinerzeit an der Oberfläche kartiert („Ortho-Augengneis“) und waren überrascht von der Regelmässigkeit, mit der es als dünne Platte in die Tiefe setzt. Das Charakteristikum dieses porphyrischen Granits sind eckige Kalifeldspäte mit orientiert eingewachsenen Plagioklasen (vgl. LABHART 1965, p. 30/31).

5. Die südlich an das Altkristallin anschliessenden Sedimente (in Tafel I als Kulissenprofil bis zum Rhonelauf ergänzt) gehören zur Urseren-Zone. Es sind die südwestlichsten Aufschlüsse dieser wichtigen Trennzone von Gotthard- und Aarmassiv (bzw. Gotthardmassiv und Tavetscher Zwischenmassiv östlich des Oberalppasses). In mechanischem Kontakt mit den Gneisen des südlichen Massivrandes findet man eine Platte grobkonglomeratischer Gneise von ca. 80 m Mächtigkeit. Seit HUTTENLOCHER (1946) und ZBINDEN (1949) werden diese Gesteine aus faziellen Gründen als Perm oder Permokarbon bezeichnet. Auch nach TRÜMPY (1966, p. 215) handelt es sich um „Verrucano“ s. l.²⁾. Südlich anschliessend folgt bis zur Rhone eine verschuppte Serie von Trias (Gips, Quarzit, Phyllit) und gotthardmassivischem Lias.

5. DAS PRÄALPINE GRUNDGEBIRGE

5.1. Die Struktur der Gneise

Altkristallin-Areale, die der alpinen Deformation weitgehend entgangen sind, liefern uns wertvolle Angaben über den Bau und die Zusammensetzung des alten Grundgebirges. Die Ursache der Konservierung eines derartigen Altkristallinblocks im Bereich unserer Stollen ist wohl am ehesten in seinem Baustil

¹⁾ Diese beiden Stollen liegen nicht genau in der Profilebene und sind daher auf Tafel I besonders gekennzeichnet.

²⁾ N. CHATTERJEE, Göttingen (schriftliche Mitteilung an den Autor, 22.12.65), weist darauf hin, dass dieses Perm nicht fossilbelegt ist und die darin gefundenen Biotite nicht unbedingt alpin neu gebildet sein müssten. Dazu ist zu sagen, dass unabhängig vom Alter dieser Sedimente ihr alpin monometamorpher Charakter sehr ausgeprägt ist, und dass die Biotitgeneration, die darin nach der alpinen Gefügeprägung gewachsen ist, mit Sicherheit jung ist.

zu suchen, der vom jüngeren alpinen räumlich völlig abweicht: die Gneise sind verfaltet, die Achsen der Falten im Meter- bis Dekameterbereich fallen mit 40–60° nach SW bis SSW ein. Kleinere Falten und Minerallineare sind sehr selten. Das Planargefüge (Stoffbänderung) streicht häufig ungefähr Nord, ordnet sich aber gesamthaft auf einem Grosskreis, dessen Achse identisch ist mit derjenigen der Falten. Vereinzelt verfaltete Minerallineare und Isoklinalfalten könnten Relikte einer älteren Faltungsphase sein.

Die früher an der Oberfläche gemessenen Gefügedaten stimmen mit den im Stollen gesammelten sehr gut überein (vgl. Diagramme A und B, Tafel I). Im Profilschnitt (Tafel I) konnten diese strukturellen Verhältnisse nicht dargestellt werden, da die Bänderung häufig ungefähr stollenparallel verläuft. Viel besser sind die Strukturen auf dem Horizontalschnitt (Tafel II/A) zu sehen. Bilder dieser alten Gefüge finden sich in den Photos 2–9 und 11.

5.2. Die Metatexis

Jünger als der Lagen- und Faltenbau der Gneise sind granitoide Massen verschiedenster Form und Grösse. Wir fassen sie unter dem Begriff „Neosom“ zusammen. Folgende, typische Fälle des Auftretens lassen sich unterscheiden:

- a) Granitoide Lagen verlaufen oft über längere Strecken mehr oder weniger parallel zur alten Bänderung (Photo 2). Es gibt fließende, fast unmerkliche Übergänge zu hellen Lagen der Gneise, aber auch Ausbuchtungen zu diskordanten Nestern.
- b) In mehreren Fällen haben wir synmigmatisch boudinierte Amphibolitbänke gesehen (LABHART 1965, p. 42, Fig. 31). Dieses Phänomen ist mehrfach aus dem Grundgebirge beschrieben worden; die helleren Lagen einer gebänderten Serie werden bei zunehmender Erwärmung schneller plastisch und schmelzen rascher als die dunklen Lagen. Der Beginn einer derartigen Boudinierung ist in Photo 3 festgehalten. Granitisches Neosom füllt dort eine (noch vereinzelt) Zerrspalte in einem gebänderten Amphibolit. Man fragt sich, ob man in den Fällen a und b nicht Zeugen einer Aufschmelzung an Ort, einer Ektexis, vor sich hat.
- c) Neosom tritt oft in unregelmässig geformten Nestern von Kubikdezi- bis Kubikmeter-Grösse auf. In diesem Bereich kommt es zuerst zu einer Breccierung des Altbestandes, zur Bildung von Agmatiten, in einem späteren Stadium zur Assimilation der eingeschlossenen Schollen.
- d) Sehr verbreitet sind gangförmige diskordante Massen mit meist erstaunlich scharfen Kontakten (Photo 4). Derartige „Neosomgänge“ können ganze Kluftsysteme abbilden (LABHART 1965, p. 37, Fig. 25). Hier muss man eine Wanderung des Neosoms annehmen, wobei natürlich über die Weglänge

wenig ausgesagt werden kann. Das Material dieser Gänge ist häufig grobkörnig-pegmatitisch; besonders auffallend sind die blaugrauen Feldspäte.

- e) Oft haben sich an derartigen Neosomlagen die beiden angrenzenden Gneisblöcke gegeneinander verschoben (Photo 5–8). Schleppungen der Gneisbänderung geben den Relativsinn der Verschiebung an und deuten zugleich darauf hin, dass der Gneis zumindest randlich plastisch aufgeweicht war. Mit zunehmender Durchbewegung werden die Neosomgänge dunkler (glimmerreicher), was wohl auf eine erhöhte Assimilation von Nebengestein schließen lässt. Das Gefüge wird lagig. Es entsteht ein Gestein, das im Handstück kaum von den umgebenden Gneisen zu unterscheiden ist. Wie an der Oberfläche sind es auch im Stollen mit wenigen Ausnahmen immer nordoststreichende Neosomlagen, an denen derartige Dislokationen zu beobachten sind. Im Aufschluss ist der Relativsinn der Bewegung meist konstant (Photo 5).
- f) Treten derartige Bewegungsflächen an Neosomlagen eng geschart auf, so kann es zu „Scher-Fliess-Falten“ kommen (Photo 8 und 9). Die Achsen dieser Falten sind im Stollen kaum je einzumessen. Die Bilder erinnern unter anderem an die von RAMSAY (1963) beschriebenen Phänomene aus den nordwestlichen Caledoniden.

Zwischen den verschiedenen typischen Erscheinungsformen des Neosoms gibt es alle Übergänge. Ein schönes Beispiel ist in Photo 5 festgehalten, wo diffuse Neosomnester und Neosomlagen mit Dislokationen in direktem Zusammenhang stehen.

Wir konnten seinerzeit nach Abschluss der Oberflächenuntersuchungen keine sicheren Angaben über das Ausmass der Migmatisation machen, insbesondere nicht über den räumlichen Anteil des Neosoms. Es war nicht einmal ganz auszuschliessen, dass die Biotit-Plagioklas-Gneise oder Teile davon Produkte einer intensiven migmatischen Durchmischung von Paläosom (im wesentlichen Amphibolite und Hornblendite) und Neosom seien. Hier haben uns die Stollenaufschlüsse einen wichtigen Schritt weiter gebracht: wenn auch Neosombildungen innerhalb der Gneise überall angetroffen werden können, so ist doch festzuhalten, dass der Raumanteil der Neubildungen insgesamt gering ist, und dass das prämigmatische Strukturgebäude der Gneise wohl vielfach durchsetzt, aber keinesfalls zerstört ist. Man hat den Eindruck, dass in dieser Gesteinsserie eine Anatexis in einem frühmetatektischen Stadium steckengeblieben ist. Die Temperatur-Druckverhältnisse reichten im Endstadium gerade aus, um an Stellen mit geeignetem Chemismus (vielleicht auch an Stellen mit lokal gering erhöhten Temperaturen) granitoides Metatekt entstehen zu lassen. Vorgegebene Kluftsysteme scheinen vielerorts die Wanderung des Materials begünstigt zu haben.

5.3. Die jüngeren Gänge

Mit scharfer Diskordanz setzen Aplit- und Lamprophyrgänge durch die Gneise mit den Metatektbildungen (Photo 4b, 10, 11). Wie aus Diagramm C auf Tafel I hervorgeht, bevorzugen die Aplitite eine Lage ungefähr senkrecht zu den Faltenachsen. Das steht in auffälligem Gegensatz zur Lage der Aplitite im südlichen Stollenteil (Diagramm D, Tafel I). Diese verschiedene Lage der Aplitgänge kann gut auf die verschiedene Struktur der betreffenden Kristallblöcke bei ihrem Eindringen zurückgeführt werden: hier der ausgeprägte Faltenbau, dort (aus den wenigen alten Strukturelikten zu schliessen) bereits in den alten Gneisen Vorherrschen der „alpinen“ Nordostrichtung.

6. DIE ALPINTEKTONISCHE ÜBERPRÄGUNG

Die Frage, was mit dem voralpin gebildeten Grundgebirgsblock des Aarmassivs bei der alpinen Gebirgsbildung geschehen ist, interessiert uns seit langem. Über die Methoden und Probleme derartiger Untersuchungen haben wir kürzlich berichtet (LABHART 1968).

Wie ist es möglich, alpine und präalpine Gefüge auseinander zu halten? In unserem Falle sind Gneisstrukturen, die von Gängen durchbrochen werden, sicher präalpin. Man kennt im Bereich aller schweizerischen Zentralmassive keine Anzeichen einer jungen magmatischen Tätigkeit. Zudem ist der Metamorphosegrad der Gneise für eine alpine Entstehung zu hoch. Jünger als die Gänge ist eine durchgreifende, wechselnd engständige Schieferung recht bedeutender Ausdehnung einerseits und Phyllonit-, Scher- und Lettenmylonit-Zonen beschränkter Mächtigkeit andererseits. Mit ihrem epimetamorphen Mineralbestand könnten diese Bildungen durchwegs alpin sein. Nun weiss man aber, dass es im Aarmassiv späthercynische Bruch- und Schwächezonen gibt, die sich in Ausbildung und Mineralbestand kaum von jüngeren, alpinen unterscheiden lassen. Wir haben früher darauf hingewiesen, dass wir uns die Häufung nordoststreichender Quarzporphyrgänge in der Umgebung von Blatten nur durch die Existenz einer alten Schwächezone erklären können. Diese Zone schneidet die Stollen etwa am Nordrand der alten Gneise im oberen Teil des Zuleitungsstollens bei hm 9–12. In diesen vorgezeichneten alten Schwächezonen sind dann sehr oft, wie in diesem Falle, auch die jüngeren alpinen Deformationen sehr intensiv. Für ein alpines Alter der meisten Schieferungen spricht eine charakteristische steilstehende Striemung oder Längung von Mineralien; es handelt sich mit grosser Wahrscheinlichkeit um die „erste alpine Schieferung“, die weitaus wichtigste alpine Deformation im Aarmassiv, die man übrigens an vielen Stellen aus der nur alpin verschieften Urseren-Zone direkt ins Massiv hinein verfolgen kann.

Der durch die Stollen erschlossene Massivquerschnitt bot die seltene Gelegenheit, die Art der jungen Tektonik zu studieren. Es zeigte sich einmal mehr, dass Oberflächenuntersuchungen gerade hier nur die grossen Züge erkennen lassen, indem die tektonisch stark mitgenommenen Partien meist schuttgefüllte Rinnen und Vertiefungen bilden. Als Beispiel seien die in unserer Karte (LABHART 1965, Tafel I) eingezeichneten „ausgeprägten, alpinen Störungsflächen“ erwähnt, die wir zum Teil als Brüche aufgefasst hatten, die aber in den Stollen als mächtige Phyllonitzonen entwickelt waren. Wir haben auf den Tafeln I und II versucht, die junge Durchbewegung möglichst genau wiederzugeben. Alle Projektionen beruhen auf Stollenmessungen des Streichens und Fallens. Für die Streichmessungen bot sich eine gute Kontrollmöglichkeit in den drei parallel verlaufenden Zugangsstollen zur Zentrale Bitsch (Tafel II C). Eine gewisse Schematisierung der Darstellung war natürlich unvermeidlich. So bedeutet die enggestrichelte Signatur isolierte, scharf abgetrennte Phyllonit-, Scher- oder Lettenmylonit-Zonen, eine mehr oder weniger regelmässige Strichelsignatur eine durchgreifende, aber auch dort wechselnd engständige Schieferung (vor allem im nördlichsten und südlichsten Stollenteil). Jedem Betrachter des Querprofils (Tafel I) fällt die ausserordentliche Selektivität der alpinen Deformationen auf. Das ist im Aarmassiv der Normalfall³⁾. Das Besondere am vorliegenden Fall ist, dass die präalpine Strukturanlage eines Kristallinblocks offenbar für die Art der alpinen Durchbewegung verantwortlich gewesen ist. Im mittleren Stollenteil *verlaufen die alpinen Strukturen völlig anders als die voralpinen*; sie sind einander in den Diagrammen B und C auf Tafel I gegenübergestellt. Im Horizontalschnitt (Tafel II/A) kommen die Diskordanzen zwischen den verfalteten Gneisen und den schmalen Zonen alpiner Deformation gut heraus. Die Gneise wurden meist unter intensiver Durchbewegung und völliger Zerstörung ihres alten Gefüges zu Chlorit-, Biotit- und Serizit-Schiefern umgewandelt. An der Verstellung resistenter Vorzeichnungen (Aplitgänge) lässt sich oft eine scheinbar ungeordnete Deformation ablesen, eine Art Zerhackung, die weder Scherfaltung noch Schieferung mit regelmässigem Rotationssinn ist (Photo 12). Gegen die angrenzenden, nicht alpin deformierten Massivblöcke zu lösen sich die Phyllonitzonen in einzelne Bewegungshorizonte auf.

Der Grund der Beschränkung der alpinen Deformation auf wenige, schmale Zonen ist wohl hier in einer armierenden Wirkung der alten Strukturen zu suchen.

Im nördlichen und südlichsten Stollenteil ist die alpine Schieferung viel durchgreifender entwickelt. *Hier verlaufen die präalpinen Strukturen, soweit sie noch erkennbar sind, den alpinen annähernd parallel*. Diagramm D enthält eine

³⁾ Man vergleiche etwa die alpine Deformation des Innerkirchner-Granits (LABHART 1966).

Zusammenstellung von Gefügemessungen aus den Zugangsstollen zur Zentrale Bitsch. Richtungsdivergenzen lassen sich nur noch in wenigen Fällen erkennen, etwa am südlichsten Schollenzug auf Tafel II/C, der als Ganzes deutlich schief zur alpinen Schieferung streicht. In diesen Fällen wird ein Studium der überlagerten Tektonik sofort viel heikler. Der Grund liegt vor allem in der Tatsache, dass bei einer annähernd parallelen, mechanischen Überprägung alte Planargefüge (Stoffbänderungen unter anderen) wieder als Bewegungsflächen benützt werden. Zudem hatten die Biotit-Serizit-Gneise vor und nach der alpinen Durchbewegung einen sehr ähnlichen Mineralbestand. Dass die alpinen Schieferungen die Gneise sehr intensiv verformt haben, ist an den teilweise völlig zerrissenen und boudinierten Aplitgängen schön zu sehen (Photo 13–15).

Wenig ist im Stollen von der Mehrphasigkeit der alpinen Bewegungen zu sehen. Die Schieferungsflächen fallen in den meisten Fällen steil nach Südosten, und ihrer Ausbildung nach handelt es sich um die erste, alpine Schieferung. Nur in den südlichsten 500 Metern des Massivs ist eine subvertikale, zweite Schieferung von einer gewissen Bedeutung. Sie bildet im Schnitt mit der ersten Schieferung ein leicht südwestfallendes Linear (B_2), das in den südlich anschliessenden Sedimenten der Urseren-Zone zur wichtigen Faltenachse wird.

Inwiefern einzelne West–Ost verlaufende Scherzonen im Zuleitungsstollen (Tafel II/A) mit der Deformation s_2 von STECK (1966, p.72) gleichzusetzen sind, kann nicht gesagt werden. Sie treten hier isoliert, das heisst ohne Schnitt mit anderen jungen Gefügen auf. Flache Rutschstreifen deuten auf jüngste Bewegungen hin. Auch die Lettenmylonitzonen am Südrand des Massivs könnten das Produkt jüngster, vielleicht sogar postglazialer Tektonik sein. Dr. T.J. PETERS und J.-P. JENNI hatten die Freundlichkeit, zwei Lettenproben im Tonlabor des Mineralogischen Institutes Bern zu untersuchen. Die eine Probe enthält 90% Illit, 5–10% Chlorit und < 5% Quarz, die andere 65% Illit und 30–35% Chlorit. Gegenüber den Nebengesteinen ergibt sich eine starke Anreicherung an Illit (= Muskowit/Serizit) und an Chlorit, während Quarz stark reduziert wird und Feldspäte und Biotit ganz verschwinden. Neben der mechanischen Zerkleinerung (die Proben haben einen hohen Anteil an Material der Korngrösse < 2μ) haben also sehr bedeutende Mineralumwandlungen stattgefunden.

7. GIPS- UND ANHYDRITVORKOMMEN IM ALTKRISTALLIN

Zu den grossen Überraschungen beim Bau der Stollen der Electra-Massa (wie auch des Riederhornstollens der Aletsch AG, welcher wenige Kilometer weiter östlich in N-S-Richtung verläuft) gehörte die Entdeckung von bis zu 40 cm dicken Gips- und Anhydritlagen und -nestern inmitten der altkristallinen Gesteine. FURRER (1948) war der hohe Sulfatgehalt der Quellen im Riederhornstollen aufgefallen. Er versuchte ihn durch aufoxidierte Sulfide zu erklären. Wir

untersuchten Anhydritlagen im selben Stollen anlässlich einer Begehung im April 1961 (unveröffentlichter Bericht Nr. 171 an den Arbeitsausschuss Atom-brennstoffe vom 30.4.61). SCHNEIDER (1965) beschrieb ebenfalls die Vorkommen im Riederhornstollen. In den Zugangsstollen zur Zentrale Bitsch wurden Gips und Anhydrit erstmals von NORBERT beobachtet (vor 1961); wir veröffentlichten einige Skizzen von Vorkommen aus dem Kabelstollen (LABHART 1965, p. 26).

Anhydritlagen und -klüfte findet man meist in alpin wenig deformierten Gesteinen. Vereinzelte Lagen waren im nördlichen Teil der Zugangsstollen zur Zentrale Bitsch aufgeschlossen, die grösste Häufung lag jedoch im nördlichen Teil des Riederhornstollens vor. Die Spaltenfüllungen bestehen praktisch nur aus weissen bis hellbläulichen, mehrere Millimeter grossen Anhydritkristallen, die kaum postkristallin deformiert sind.

Im Gegensatz zum Anhydrit ist der Gips ausschliesslich zusammen mit alpinen Schieferungen anzutreffen. Die Photos 12, 18 und 19 a-c geben einige typische Ansichten dieser schmalen, schieferungsparallel ausgeschmierten Gipslagen wieder. An einem günstigen Beispiel im Kabelstollen (Photo 19a-c) sieht man die unregelmässige Verteilung im Raume; es handelt sich um in der Schieferungsebene rasch anschwellende und wieder auskeilende Linsen. Dass diese Linsen meist in wichtigen Scherzonen angereichert sind und diese über grössere Distanzen begleiten, war in den drei Parallelstollen der Zentrale Bitsch zu sehen (Tafel II/C).

Die Calciumsulfat-Vorkommen sind im Massiv-Querprofil ganz unregelmässig verteilt (Tafel I): sehr verbreitet sind sie im südlichsten und nördlichsten Stollenteil, während sie im mittleren auf wenige Scherzonen beschränkt sind (Photo 12).

Zwei Beobachtungen sind hier besonders zu erwähnen, weil sie wichtige Hinweise auf die Genese der Vorkommen geben:

- An mehreren Stellen im Kabelstollen sind Gipslagen durch die zweite alpine Schieferung verfaltet worden (Photo 19).
- Die auf Photo 17 abgebildete schmale Anhydritlage durchsetzt einen Aplitgang. Es handelt sich also sicher nicht um Überreste alter, metamorpher Sedimente. Der praktisch nicht versetzte Aplitgang zeigt zugleich, dass der Anhydrit nicht etwa parallel zu einer Scherbahn eingeschleppt wurde, sondern dass es sich um eine Spaltenfüllung handelt.

Wie sind diese Vorkommen genetisch zu interpretieren? Folgende Deutung scheint die verschiedenen Feldbeobachtungen erklären zu können: Die Ca-Sulfatlösungen stammen aus der über dem aarmassivischen Grundgebirge abgelagerten Trias und sind irgendwann zwischen Trias und der alpinen Gebirgsbildung in Klüfte infiltriert. Der primäre Absatz erfolgte wahrscheinlich als

Anhydrit. Bei der alpinen Durchbewegung wirkten offenbar die Sulfatklüfte als ausgesprochene Schmierhorizonte. Man könnte sich sogar fragen, ob nicht Ansammlungen derartiger Klüfte die Ursache zur Anlage gewisser alpiner Scherzonen gewesen sind. Erhaltene Anhydritlagen sind alpin nicht oder wenig durchbewegt⁴). Eine postalpine Bildung, wie sie SCHNEIDER (1965) annimmt, ist für den Grossteil der Vorkommen ausgeschlossen (Verschleppung und Wiederfaltung durch alpine Schieferungen).

Eine offene Frage bleibt diejenige nach dem genauen Vorgang der Wanderung und des Absatzes der Ca-Sulfate und der Umwandlung Anhydrit/Gips, deren Bedingungen allerdings nicht einmal theoretisch genau bekannt sind (MOIOLA et al., 1965). Schon nur das Verhalten des Anhydrits gegen Wasser ist sehr eigenartig. Neben den von SCHNEIDER (1965) erwähnten Vorkommen mit schützendem Gipskut besitzen wir aus dem Riederhornstollen Proben von Anhydritfels, der 13 Jahre lang dem fließenden Stollenwasser ausgesetzt war und die keine Spur einer Gipsbildung zeigen, obschon sie vom Wasser rundgeschliffen sind.

Erwähnenswert scheint uns noch der Fund zahlreicher, wohlausgebildeter Gipskristalle (bis zu 15 cm Länge) in einer offenen, wasserführenden Gipsklüft (Unterwasserstollen m 660). Möglicherweise handelt es sich um ganz junge Bildungen.

In der Umgebung der Gips- und Anhydritvorkommen wurden für die Stollenverkleidung Sulfatzemente verwendet.

8. ZERRKLÜFTBILDUNGEN

Bei unseren Oberflächenuntersuchungen haben wir ausser geschlossenen Quarzgängen nie mineralführende Zerrklüfte gesehen. Die im Stollen angefahrenen Klüfte sind aus diesem Grunde besonders interessant.

Es ist vor auszuschicken, dass es sich bei den nachstehend beschriebenen Klüften (mit Ausnahme der Chloritklüfte) nicht um den im Aarmassiv sehr verbreiteten Typ der offenen alpinen Zerrklüft mit subhorizontaler Lage und randlicher Zersetzung des Nebengesteins handelt. Zu erwähnen ist vor allem die Vertikallage der grossen Quarzklüft im Druckschacht (Abschnitt 8.1) und das Fehlen eines Bleichrandes bei den Biotit- und Turmalinklüften (Abschnitt 8.2 und 8.4). Chlorit-, Biotit- und Turmalinklüfte sind aber genetisch an junge, höchstwahrscheinlich alpine, tektonische Durchbewegungen gebunden.

⁴) Die „alpine“ Richtung der meisten Anhydritspalten ist kein Argument für eine jüngere Genese (SCHNEIDER 1965), indem gerade in ihrer Umgebung auch die präalpinen Gefüge Nordoststreichen aufweisen. Wir haben mehrfach darauf hingewiesen, dass es im Aarmassiv unzulässig ist, aus „Richtungen“ ohne sorgfältige Gefügeuntersuchungen Alter herauszulesen.

8.1 Die Quarzkluft im Druckschacht

Beim Vortrieb des Druckschachtes wurde bei m 257 ein offener Riss mit grossen Quarzkristallen angefahren. Obschon ich Gelegenheit hatte, die Kluft wenige Stunden nach ihrer Entdeckung zu besichtigen, war sie durch die Sprengungen im Stollen und wohl auch durch unfachgemässe Ausbeutversuche weitgehend zerstört. Zu sehen war ein Hohlraum von 4–6 m³ Inhalt in einem vertikalen, nordoststreichenden Quarzgang von 50 bis 100 cm Mächtigkeit. In der stark verschmutzten Kluft fanden wir neben zerstörten Quarzkristallen und derbem Quarz nur Chloritsand und einige tafelige Calcite. Über die Ausbeute an Quarzkristallen lässt sich nichts Genaueres aussagen; lediglich das Volumen der Kluft gibt einen gewissen Anhaltspunkt. Eine Anzahl von Kristallen war anlässlich einer Ausstellung im September 1966 beim Schweizer Heimatwerk in Zürich zu sehen. Der grösste Einzelkristall (Photo 20)⁵⁾ war 73 cm hoch und zeigte einen ganz ausserordentlich regelmässigen prismatischen Habitus: die Breite der Prismenflächen schwankt nur zwischen 12 und 14 cm. Photo 21⁵⁾ zeigt eine für die erwähnte Ausstellung künstlich zusammengestellte Gruppe, deren grösster Kristall 60 cm hoch ist. Die Quarzkristalle sind zum Teil wolkig bis durchsichtig, zum Teil von Chlorit überwachsen. Ein besonders interessantes Exemplar von 25 cm Höhe und 40 cm Umfang hat uns Herr G. Gross geschenkweise überlassen. Der Kristall hat einen durchsichtigen, fast einschliessfreien Kern mit einer äusseren Begrenzung durch Prismen- und Rhomboederflächen. In einer zweiten Wachstumsphase wurden Biotitsand, Nebengesteinsbruchstücke und Papierspattafeln umwachsen und zwar asymmetrisch, nämlich nur auf drei benachbarten Prismen- und Rhomboederflächen. Aufgewachsen findet man hellgrünen, feinen Chloritsand, bis zentimetergrosse Adulare und Quarzkriställchen, kleine Titanite und ein filziges Gewebe von weissem Amiant. Auch an anderen Kristallen wurde ein asymmetrischer Phantombau festgestellt. Er deutet in dieser Ausbildung darauf hin, dass die Quarze mit horizontaler c-Achse in der Kluft angewachsen waren (POTY 1966). Das ist bei der Vertikallage der Kluftwände auch sehr wahrscheinlich, aber nachdem uns niemand über die Anordnung der Kristalle in der Kluft Auskunft geben konnte, ist es ein weiteres, sicheres Indiz. Wir haben schon eingangs erwähnt, dass die massivparallele und dabei vertikale Lage der Kluft ganz aussergewöhnlich ist. Man erinnert sich hier daran, dass in der Umgebung von Hegdorn (einem Weiler 1,5 km westlich unseres Stollentracés) im 18. Jahrhundert riesige Quarzkristalle gefunden worden sein sollen. GRUNER (1773) erwähnt Stücke von 600, 800 und 1400 Pfund! Wir haben seinerzeit die Fundortangabe Hegdorn aufgrund der an der Oberfläche fehlenden offenen Klüfte bezweifelt (LABHART

⁵⁾ Die beiden Fotografien wurden mir freundlicherweise von Herrn G. GROSS vom Schweizer Heimatwerk Zürich zur Verfügung gestellt, wofür ihm hier bestens gedankt sei.

1965, p. 55). Nun hat sich hier gezeigt, dass gleich orientierte Quarzgänge wie diejenigen der Umgebung von Hegdorn tatsächlich sehr grosse Kristalle enthalten können. Aus einer „Nebenkluft“ unbekannter Grösse und Ausbildung stammt eine Calcitstufe, die von den Strahlern Josef und Toni Imhof dem Naturhistorischen Museum in Bern verkauft wurde. Auf quadratdezimetergrossen Papierspäten mit ebenen, aber rauhen Basisflächen (Kontaktflächen mit Klufwand oder grossen Quarzen) sind rhomboedrische Kristalle aufgewachsen. Randlich sind die Rhomboeder wulstartig um die tafeligen Anwachsflächen herumgewachsen, was auf ein Loslösen der Stufe von ihrer Unterlage während des Wachstums hinweist. Dr. H. A. Stalder machte mich darauf aufmerksam, dass PARKER (1954, p. 31) aus dem Maderanertal eine analoge Calcit-Wachstumsfolge Papierspat/Rhomboeder beschrieben hat.

8.2 Biotit

An drei verschiedenen Stellen (Haupteingangsstollen m 325, Unterwasserstollen m 350 und Druckschacht m 245) wurde in glimmerreichen Gesteinen (Biotit-Schiefer bis -Felse) in subhorizontalen, geschlossenen Klüften ein dichtgepresster Sand feinen, ausserordentlich reinen Biotits gefunden. Mengemässig untergeordnete Begleiter waren Quarz, Chlorit und Calcit. Besonders interessant ist das Vorkommen im Unterwasserstollen, wo der Biotit in den typischen Schwänzen der Hohlraumfüllung zwischen den auseinandergerissenen Paketen eines boudinierten Aplits vorkommt (Photo 15).

Die Resultate einer Altersbestimmung von JÄGER et al. (1967) am Biotit aus dem Haupteingangsstollen werden im Abschnitt 10 diskutiert.

8.3 Chlorit

Im Zuleitungsstollen (zum Beispiel unterer Teil m 625 und oberer Teil m 60) fanden sich mehrfach flachliegende, chloritgefüllte Risse von wenigen Zentimetern Mächtigkeit. Es handelt sich offensichtlich um Zerrisse, denn sie treten stets in verhältnismässig massigen Gesteinen auf, die beidseitig von Scherzonen begleitet sind. Auffallend sind immer die symmetrischen, ausgebleichten Ränder, offenbar der Bereich, in dem durch Lösungen von der Kluf her der Biotit des Nebengesteins ausgelaugt und chloritisiert wurde (Photo 16).

8.4 Turmalin

Eine subhorizontale, offene Zerrkluf im Unterwasserstollen (m 262) enthielt lockeren Turmalinsand. Auf ein junges, wahrscheinlich alpines Alter deutet die Beobachtung, dass auch im südlich angrenzenden, alpin monometamorphen permischen Konglomeratgneis Turmalin auf Querrissen und diskor-

danten Quarzgängen vorhanden ist. Die permischen, klastischen Sedimente enthalten einen recht hohen Anteil detritischen Turmalins.

8.5 Chabasit

Herr Dr. H. A. STALDER machte mich auf zwei Stufen aufmerksam, die das Naturhistorische Museum Bern vom Strahler TONI IMHOF (Ried-Brig) erworben hat. Sie stammen aus dem Kabelstollen der Zentrale Bitsch. Einzelheiten über Fundstelle, Nebengestein und Lage der Kluft waren nicht erhältlich. Auf hellem, porösem Gestein (ausgelaugter Granitgneis?) und auf einem ca. 10 cm grossen Adular-Zwillingsstock sind klare, mm-grosse Chabasitwürfelchen und zentimetergrosse, milchige Chabasite mit komplizierteren Formen aufgewachsen. Kleine Calcite mit tafeligem Habitus sind die einzigen Begleitminerale.

9. RADIOAKTIVITÄT

Wie alle im Laufe der letzten 14 Jahre neuerstellten, unterirdischen Bauten der Schweiz wurden auch die Stollen der Electra-Massa durch Mitarbeiter des „Arbeitsausschuss Atombrennstoffe“ (in diesem Fall durch den Autor mit verschiedenen Gehilfen) radiometrisch vermessen. Die Messung erfolgte mit dem in ELBEL et al. (1962) beschriebenen, tragbaren Geigerzähler. Gemessen wurde auf beiden Stollenwänden in Abständen von 5 m im Stillstand, die dazwischenliegende Strecke, um keine lokalen Anomalien zu übersehen, langsam gehend. Im Druckschacht erfolgten die Messungen aus technischen Gründen in unregelmässigen Abständen (ca. alle 4–8 m).

Unsere Messresultate sind in Tafel II aufgetragen. Als Bezugswert „1“ der γ -Logs wurden 100 Skalenteile auf unserem Gerät gewählt, ein Wert, der etwa der durchschnittlichen Radioaktivität der Biotit-Plagioklas-Gneise entspricht (ungefähr $15\mu r/h$).

Innerhalb der Altkristallin-Gneise schwanken die Messwerte wenig. Extrem tiefe Werte zeigten Hornblendit, Serpentin, Gips/Anhydrit und Biotit-Schiefer und -Felse. Aus den γ -Logs gehen auffällige Erhöhungen der Radioaktivität an granitischen Gesteinen hervor. Neben einigen kleineren Granitplatten im Haupteingangsstollen ist das besonders schön am feinkörnigen Granit im Druckschacht zu sehen, der die vier- bis sechsfache Aktivität der umgebenden Gneise besitzt. Erhöhungen an dünnen, scharf diskordanten Aplitgängen sind häufig, wogegen die Neosomgänge nie Erhöhungen aufweisen.

Grundsätzlich anderer Natur als diese hohen Gesteinsaktivitäten sind die Anomalien im Haupteingangsstollen (m 152) und im Unterwasserstollen (m 200). Hier haben wir es mit diffusen Pechblende-Vererzungen in Biotit-Serizit-Gneisen zu tun. Das Stollensystem schneidet hier die von uns untersuchte Ver-

erzungszone von Naters, eine Folge vielfach aussetzender Uranindikationen, die sich auf etwa 10 km Länge in immer gleicher geologischer Position (ca. 200 m vom südlichen Massivrand) verfolgen lässt. Für alle weiteren Angaben siehe LABHART (1967).

21 Proben verschiedener Gesteine wurden von Dr. L. Rybach (Zürich) γ -spektrometrisch auf ihre Uran-, Thorium- und Kaliumgehalte untersucht: Methodisches siehe RYBACH et al. (1966). Die Resultate sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Sie sind geordnet nach steigenden Urangehalten; lediglich die Messungen an Proben des Aplitgranits aus dem Druckschacht sind am Schluss der Tabelle zusammengefasst worden.

Dass auch die Th-Gehalte mit wenigen Ausnahmen mit den Urangehalten ansteigen, betont einmal mehr die nahe geochemische Verwandtschaft der beiden Elemente.

Die niedrigsten Gehalte an Uran und Thorium weisen die Gneise des Altkristallins auf. Von Probe 824 an liegen die Werte deutlich über den Durchschnittsgehalten für granitische Gesteine, die von CLARK et al. (1966) mit 4.7 ppm U und 20 ppm Th angegeben werden. Es handelt sich durchwegs um Gesteine, die auch im Stollen durch ihre hohe Radioaktivität aufgefallen sind.

Bemerkenswert ist das sehr ungewöhnliche Th/U-Verhältnis der Proben 810 und 557 (0,52 und 0,32), die beide Aplitgängen entstammen. Die Probe 557 hat auch ein aussergewöhnliches Rb/Sr-Verhältnis (239 : 85; LABHART 1965, p. 27).

Messungen an fünf verschiedenen Proben des Aplitgranits aus dem Druckschacht ergaben ähnliche Gehalte und Th/U-Verhältnisse, wie das in einem homogenen Granitkörper zu erwarten war. Die etwas höheren U- und Th-Werte der Proben AGB 1/1, 1/2 und 941, die aus den kontaktnahen Partien des Granits stammen, weisen möglicherweise auf eine zonare Verteilung der beiden Elemente im Granit hin; eine Anreicherung von U und Th in den Randzonen granitischer Körper ist in der Literatur mehrfach beschrieben worden. Die Probe 942 stammt aus einer porösen, ausgelaugten Partie des Granits, die im Stollen durch ihre hohe Radioaktivität aufgefallen war. Typisch ist hier die relative Anreicherung des Urans gegenüber dem Thorium. Das Uran scheint infolge seiner leichten Oxidierbarkeit (durch wässrige Lösungen) bevorzugt aus dem Granit ausgelaugt worden zu sein und hat sich in den porösen Partien abgelagert. Ob diese Stoffumlagerungen autohydrothermale Erscheinungen oder eine Folge postintrusiver, metamorpher Überprägung sind, kann nicht entschieden werden. Vielleicht haben wir mit diesem überdurchschnittlich radioaktiven Granit mit seinen lokalen, sekundären Urankonzentrationen die Uranquelle der oben erwähnten Vererzungen von Naters gefunden. Auch das räumliche Zusammentreffen ist sehr auffallend: im Süden nordoststreichende Schiefer, in denen sich auf mehrere Kilometer immer wieder Uranvererzungen finden, knapp einen Kilometer nördlich davon ein ebenfalls nordoststreichender Zug des besagten

Tabelle 1. γ -spektrometrisch bestimmte U/Th/K-Gehalte an 21 Proben aus den Stollen der Electra-Massa

Nr. der Probe	Gestein	Fundort (Zst = Zuleitungsstollen)	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	K (%)
815	Biotit-Plagioklas-Granat-Gneis	Zst, unterer Teil	0,2	0,5	0,2	0,65
813	Biotit-Fels		0,4	0,7	0,6	4,26
812	Biotit-Gneis		1,6	1,3	0,6	0,90
796	Biotit-Plagioklas-Gneis	Druckschacht m 130	1,7	3,1	0,6	0,72
944	Biotit-Gneis, augig		1,8	6,5	0,7	2,06
827	Biotit-Plagioklas-Gneis	Zst, unterer Teil	1,9	2,9	0,6	1,48
798	Lamprophyrgang		2,0	6,5	0,7	3,33
805	Neosomlage, granitisch		2,7	11,6	0,8	4,21
910	Quarzporphyrgang	Zst, oberer Teil m 1185	4,1	14,0	0,9	3,41
824	Granit	Haupteingangsstollen m 290	6,9	24,5	1,0	3,55
940	Granit	Unterwasserstollen m 326	7,2	25,9	1,1	3,61
825	Porphyrischer Granit	Druckschacht m 955	9,1	26,7	0,3	2,93
823	Granit, verschiefert	Haupteingangsstollen m 575	9,3	40,1	1,3	4,29
810	Granitgang	Zst, unterer Teil m 570	12,7	6,5	1,0	0,52
557	Aplit	Kabelstollen m 558	14,4	4,6	0,6	0,32
AGB 2/3	Aplitgranit	Druckschacht m 545	9,3	35,2	1,8	3,79
AGB 2/2	Aplitgranit	Druckschacht m 545	10,9	33,3	1,6	3,06
AGB 1/1	Aplitgranit	Fenster Eichen m 245	11,5	38,0	0,3	3,28
AGB 1/2	Aplitgranit	Fenster Eichen m 245	13,0	38,7	1,7	2,98
941	Aplitgranit	Fenster Wasserschloss	13,4	36,7	1,8	2,75
942	Aplitgranit, zersetzt	Druckschacht m 536	30,6	49,6	1,4	1,62

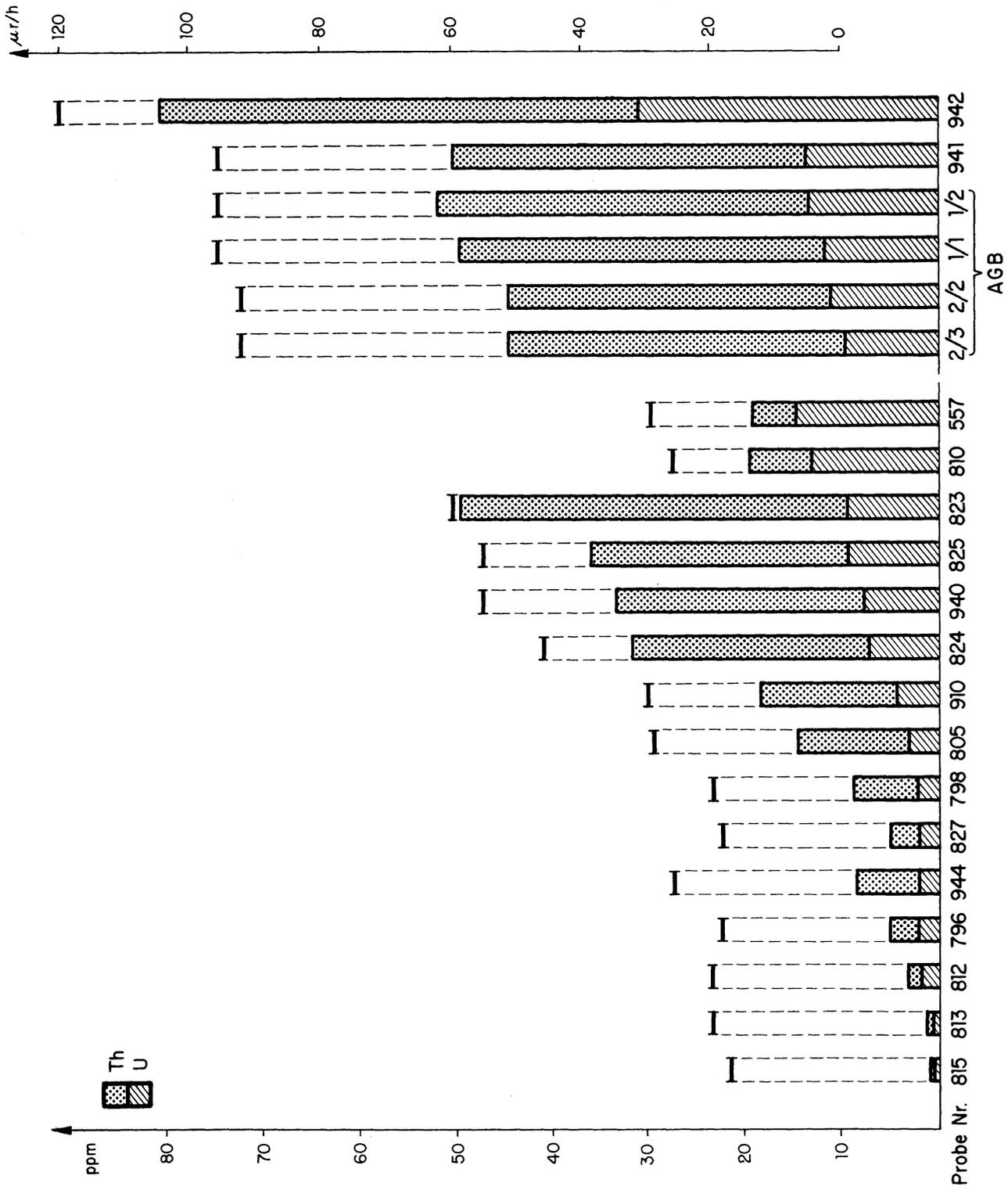


Fig. 2. Gegenüberstellung der Th- und U-Gehalte der γ -spektrometrisch untersuchten Proben und der Stollen-Radioaktivität: (in $\approx \mu r/h$) am Entnahmestort.

Granits (siehe Tafel I). Sogar die grösste Mächtigkeit der Granitplatte und die stärksten Uranvererzungen scheinen an den gleichen Raum gebunden zu sein. Genetische Zusammenhänge zwischen Graniten und Uranvorkommen werden in der neueren Literatur sehr häufig beschrieben (PAGE 1960, HEIER et al. 1966).

In Fig. 2 sind die Uran- und Thoriumgehalte der untersuchten Proben den Stollen-Radioaktivitätsmessungen am Entnahmeort gegenübergestellt. Wenn man bedenkt, dass die Messungen mit nichtabgeschirmter Sonde erfolgten und dass die gemessenen Gesteinspartien gelegentlich von sehr geringer Ausdehnung waren (zum Beispiel Gänge von 30–50 cm Breite), darf die Übereinstimmung der Werte als gut bezeichnet werden.

10. Rb-Sr-ALTERSBESTIMMUNGEN AN BIOTIT

(Diskussion von Resultaten aus JÄGER et al. 1967)

Im Labor für radiometrische Altersbestimmung des mineralogischen Instituts der Universität Bern wurde von Prof. E. JÄGER das Rb-Sr-Alter der Biotite dreier Proben gemessen (JÄGER et al. 1967, p. 19, 58/59).

Tabelle 2

Probe	Rb 87 ppm	Sr 87 rad. ppm	%- radio- gen	Sr. comm. ppm	Alter Mio. J.	Korr. Alter Mio. Jahre
KAW 314	116	0,0169	14,7	1,16	9,9 ± 1,4	
	116	0,0168	16,9	1,20	9,9 ± 1,3	
KAW 315	132	0,0198	3,9	7,04	10,2 ± 5,5	9,5 ± 4,2
KAW 359	135	0,206	7,9	3,48	10,4 ± 2,9	10,3 ± 2,3

KAW 314: Kluftglimmer (Haupteingangsstollen, m 325).

KAW 315: Glimmer des Nebengesteins obenerwählter Kluft (Biotit-Serizit-Gneis).

KAW 359: Glimmer aus Biotit-Plagioklas-Gneis mit präalpiner Bänderung (Zuleitungsstollen, oberer Teil, m 293).

Die Alter sind als Abkühlungsalter zu interpretieren, das heisst sie geben an, zu welchem Zeitpunkt der Biotit bei seiner Abkühlung eine Temperatur von ca. 300° durchlaufen hat. Wie aus den Darstellungen von JÄGER et al. (1967, Tafel I) hervorgeht, gehören diese Biotitalter zusammen mit solchen von der Simplon-Nordseite zu den niedrigsten bisher in den Alpen gefundenen. Warum die Abkühlung gerade in diesem Abschnitt so spät erfolgte, ist noch nicht plausibel erklärt worden.

Die Messungen lassen keine Aussage zu, ob der betreffende Glimmer bei der alpinen Metamorphose neu gebildet wurde, oder ob ein älterer Glimmer über die kritische Temperatur hinaus aufgeheizt wurde. Beim Kluftglimmer dürfte ersteres der Fall sein, bei seinem Nebengestein (KAW 315) mit seiner starken alpinen Durchbewegung möglicherweise auch. Der sehr ähnliche Alterswert der beiden Proben KAW 314 und 315 lässt lediglich den Schluss zu, dass die Kluftbildung nicht jünger ist als die Abkühlung des Nebengesteins auf 300°. Das alpine Alter der Kluftbildung wird aber durch tektonische Argumente (Verknüpfung mit alpiner Schieferung und Boudinage, Photo 15) wahrscheinlich gemacht.

Die Probe KAW 359 hat äusserlich ihr voralpines Gefüge völlig unverändert bewahrt; sie entstammt auch einem Stollenstück ohne jede alpine Durchbewegung. Der Biotit, der mit grosser Wahrscheinlichkeit voralpin gebildet wurde, zeigt aber heute dieselben niedrigen Alter wie die beiden andern Proben. Das ist ein schönes Beispiel dafür, dass die alpinmetamorphe Erwärmung und die darauffolgende Abkühlung unabhängig von der tektonischen Durchbewegung gewesen ist. Bei der mikroskopischen Untersuchung zeigt der Glimmer als Folgen der Aufwärmung Ausscheidungen von Mineralien wie Rutil, Titanit und eine Farbänderung von rotbraun zu gelb und gelbgrün. Auch die Plagioklase sind mit einem Klinozoisitfilz gefüllt.

Herzlichen Dank allen, die die vorliegende Arbeit durch ihre Mitarbeit gefördert haben: Herr Prof. Dr. Th. Hügi (Bern) hat mir seine volle Unterstützung zukommen lassen. Herrn Dr. L. Rybach (Zürich) und seinen Mitarbeitern danken wir für die Durchführung der γ -spektrometrischen Messungen.

Herrn Dr. H. A. Stalder (Bern) verdanke ich Anregungen und Hinweise für den Abschnitt über Zerrkluftminerale.

Bei den Stollenaufnahmen begleiteten mich abwechslungsweise die Herren Tristan Bloch, Jean-Pierre Jenni, Hansruedi Keusen und Sirius Schafighi.

Die Herren Dr. Tj. Peters und J.-P. Jenni haben in verdankenswerter Weise zwei Lettenmylonitproben untersucht.

Herr G. Gross vom Heimatwerk in Zürich stellte Material aus der Kluft im Druckschacht zur Verfügung und vermittelte uns die Fotografien 20 und 21 (Foto Peter Grunert, Zürich). Herr F. Zumbrunn, Fotograf (Wabern), vergrösserte alle übrigen Fotografien.

Die Stollenaufnahmen wurden durch den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaften im Rahmen eines Kredits des „Arbeitsausschusses Atombrennstoffe“ finanziert. Die γ -spektrometrischen Messungen wurden ermöglicht durch einen Bundeskredit des „Delegierten für Fragen der Atomenergie“.

Der Schweizerischen Geotechnischen Kommission (Präsident Prof. F. de Quervain) sind wir für einen Druckkostenbeitrag und die Aufnahme der Arbeit in die Reihe der „Kleinen Mitteilungen“ zu Dank verpflichtet.

Die Electra-Massa bezeugte ihr Interesse an dieser Stollenuntersuchung durch einen namhaften Kostenbeitrag, nachdem sie bereits den Druck meiner Dissertation finanziell unterstützt hatte.

11. LITERATURVERZEICHNIS

SMPM = Schweiz. Mineralogische und Petrographische Mitteilungen

- CLARK, S. P. jr., PETERMAN, Z. E. and HEIER, K. S. (1966): Abundances of Uranium, Thorium and Potassium. In: Handbook of physical constants. Geol. Soc. Amer. Mem. 97.
- ELBEL, A. W., HÜGLI, TH. und LABHART, T. (1962): Ermittlung radiometrischer Anomalien mit einem speziellen Zählrohr-Suchgerät. SMPM 42/2, 647–653.
- FURRER, H. (1948): Das Sackungsgebiet von Greich-Goppisberg N Mörel und der Riederhornstollen. Eclogae geol. Helv. 41/2, 291–296.
- GRUNER, G. S. (1773): Die Naturgeschichte Helvetiens in der alten Welt und Anzeige der schweizerischen Mineralien. Beiträge zur Naturgeschichte des Schweizerlandes I.
- HEIER, K. S. and Rhodes, J. M. (1966): Thorium, Uranium and Potassium Concentrations in Granites and Gneisses of the Rum Jungle Complex. Economic Geol. 61/3, 563–571.
- HUTTENLOCHER, H. F. (1946): Konglomerate und konglomeratähnliche Bildungen aus der Umgebung von Naters (Wallis). SMPM 26/2, 257–272.
- JÄGER, E., NIGGLI, E. und WENK, E. (1967): Rb-Sr-Altersbestimmungen an Glimmern der Zentralalpen. Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 134.
- LABHART, T. P. (1965): Petrotektonische Untersuchungen am Südrand des Aarmassivs. Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 124.
- (1966): Mehrphasige alpine Tektonik am Nordrand des Aarmassivs. Eclogae geol. Helv. 59/2, 803–830.
- (1967): Die Uranvererzungen am Südrand des Aarmassivs bei Naters (Kt. Wallis, Schweiz). Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Ser. 43.
- (1968): Der Bau des nördlichen Aarmassivs und seine Bedeutung für die alpine Formungsgeschichte des Massivraumes. SMPM 48/2, p. 525–537.
- MOIOLA, R. J. and GLOVER, E. D. (1965): Recent anhydrite from Clayton Playa, Nevada. Amer. Mineral. 50, 2063–2069.
- NIGGLI, C. R. (1965): Petrographie und Petrogenese der Migmatite und Gneise im südlichen Aarmassiv zwischen Obergesteln und Furkapass. Diss. Bern.
- PAGE, L. R. (1960): The source of Uranium on ore deposits. Int. Geol. Congress Copenhagen, XXI Session Norden, Part XV, 149–164.
- PARKER, R. L. (1954): Die Mineralfunde der Schweizer Alpen. Wepf, Basel.
- POTY, B. (1966): Inclusions solides et „fil de plomb minéralogique“. L'âge du filon de la gardette (Isère). Sci. de la Terre II, 41–53.
- RAMSAY, J. G. (1963): Structure and Metamorphism of the Moine and Lewisian rocks of the north-west Caledonides. Aus: The British Caledonides. Editors Johnson, M. R. W. and Stewart, F. H., Oliver and Boyd Ltd., Edinburgh.
- RYBACH, L., VON RAUMER, J. and ADAMS, J. A. S. (1966): A gamma spectrometric study of Mont Blanc granite samples. Pure and applied Geophysics 63, 153–160.
- SCHNEIDER, T. R. (1965): Zwei eigenartige Sulfatvorkommen. SMPM 45/1, 153–165.
- STECK, A. (1966): Petrographische und tektonische Untersuchungen am Zentralen Aaregranit und seinen altkristallinen Hüllgesteinen im westlichen Aarmassiv. Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 130.
- TRÜMPY, R. (1966): Considération générales sur le „Verrucano“ des Alpes suisses. Atti del Symposium sul Verrucano, Pisa.
- ZBINDEN, P. (1949): Geologisch-petrographische Untersuchungen im Bereich südlicher Gneise des Aarmassivs. SMPM 29/2, 221–356.

Manuskript eingegangen am 27. Juni 1969.

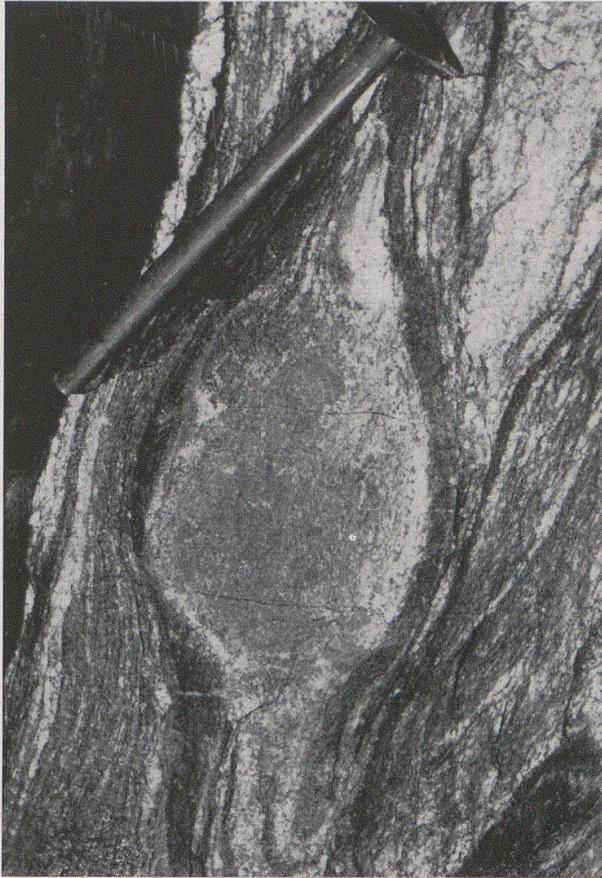


Photo 1. Kalksilikatfelslinse in Biotit-Plagioklas-Gneisen (Hammerstiel = 35 cm). Zuleitungsstollen, unterer Teil, m 708.

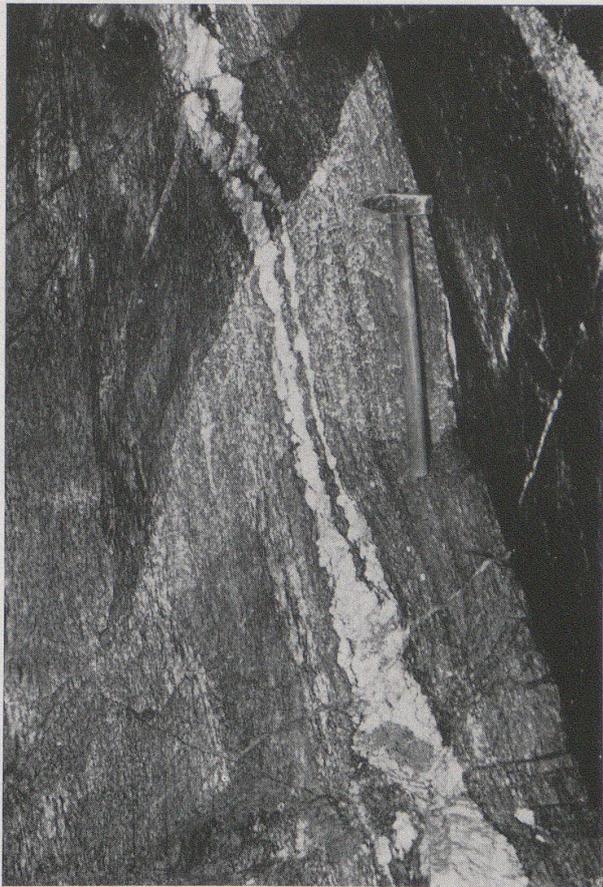


Photo 2. Lage granitischen Neosoms ungefähr parallel zur Bänderung der Gneise. Zuleitungsstollen, oberer Teil, m 304.



Photo 3. Synmigmatisch aufgerissene und mit Neosom gefüllte Zerrspalte in gebändertem Amphibolit. Zuleitungsstollen, oberer Teil, m 498.



Photo 4a. Diskordanter Neosomgang mit Nebengesteinsscholle und vermutlich recht viel assimiliertem Material. Rechts unten zweigt ein bänderungsparalleler Ast ab (First).

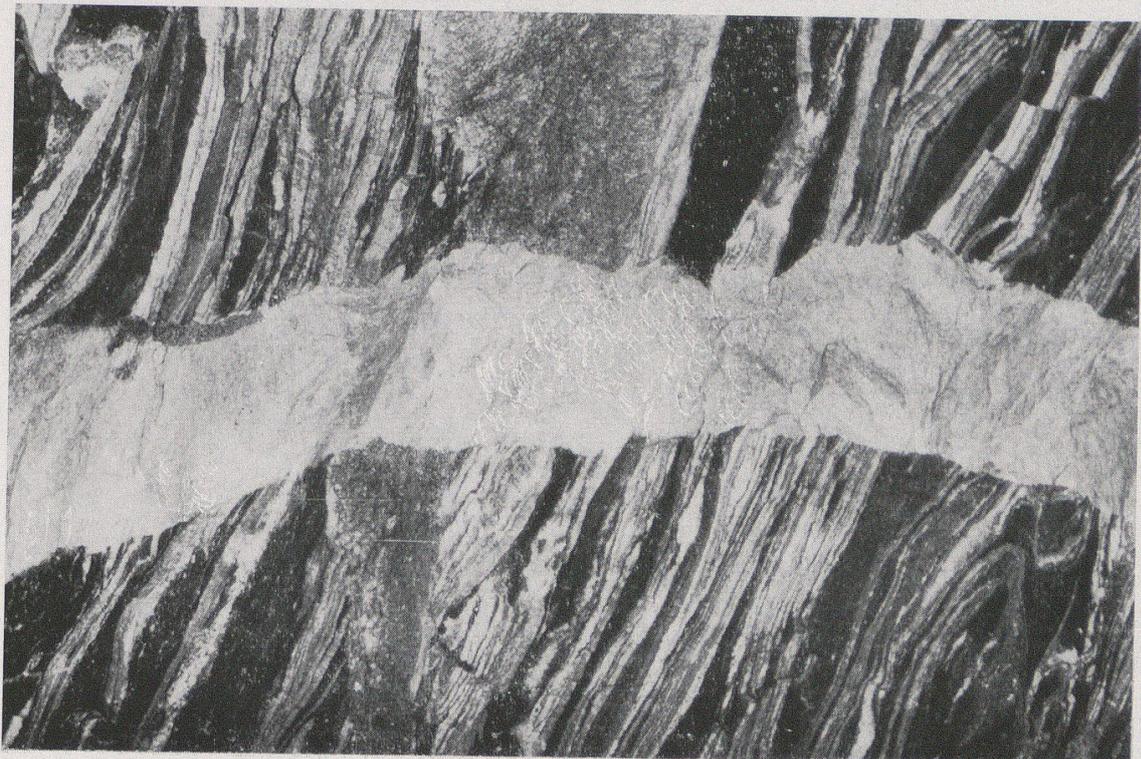


Photo 4b. Das Ganze wird von einem jüngeren Aplitgang diskordant durchsetzt (Weststoss). Zu leitungsstollen, unterer Teil, m 512.



Photo 5a und b: Nord-Süd-gebänderte Gneise mit einer hellen Bank als Bezugshorizont werden von nordoststreichenden Neosomgängen durchsetzt. Viermal ist derselbe Relativsinn der Versetzung festzustellen. Die zum Teil ptygmatisch verfalteten Neosomnester am linken Bildrand hängen mit den Bewegungszonen zusammen, sind aber infolge geringerer Durchmischung mit Nebengestein heller. Breite von Photo 5a: ca. 1,5 m. 5b ist eine Ausschnittvergrößerung von 5a. Norden ist für beide Bilder oben. Zuleitungsstollen, oberer Teil, m 396 (First).



Photo 6. Ähnlicher Bewegungshorizont wie in Photo 5, mit recht grossem Versetzungsbetrag. Breite des Bildes ca. 1,5 m. Zuleitungsstollen, oberer Teil, m 548 (First).

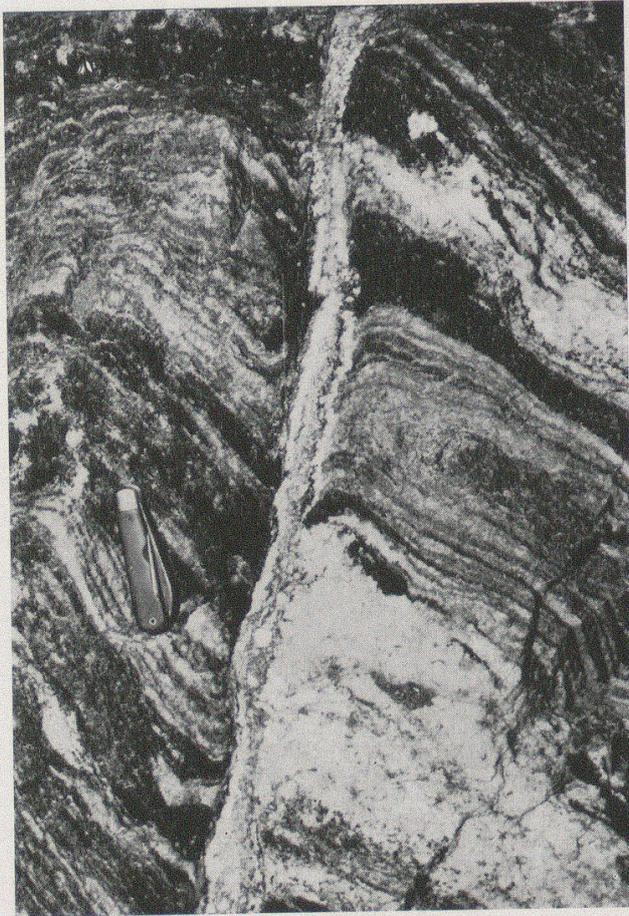
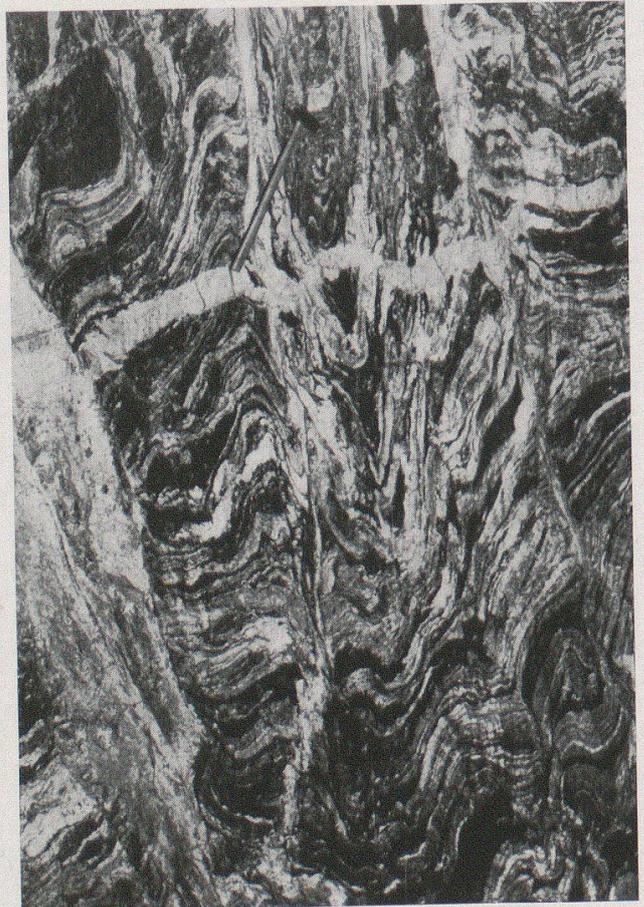


Photo 7. Schmale Neoschicht als Bewegungshorizont mit deutlicher Schleppung der Bänderung. Zuleitungsstollen, unterer Teil, m 541.

Photo 8 und 9. Scharung schmaler Neoschichten mit Differentialbewegungen erzeugt scherfaltungähnliche Bilder. Zuleitungsstollen, unterer Teil, m 462 (Photo 8), m 360 (Photo 9).

8

9



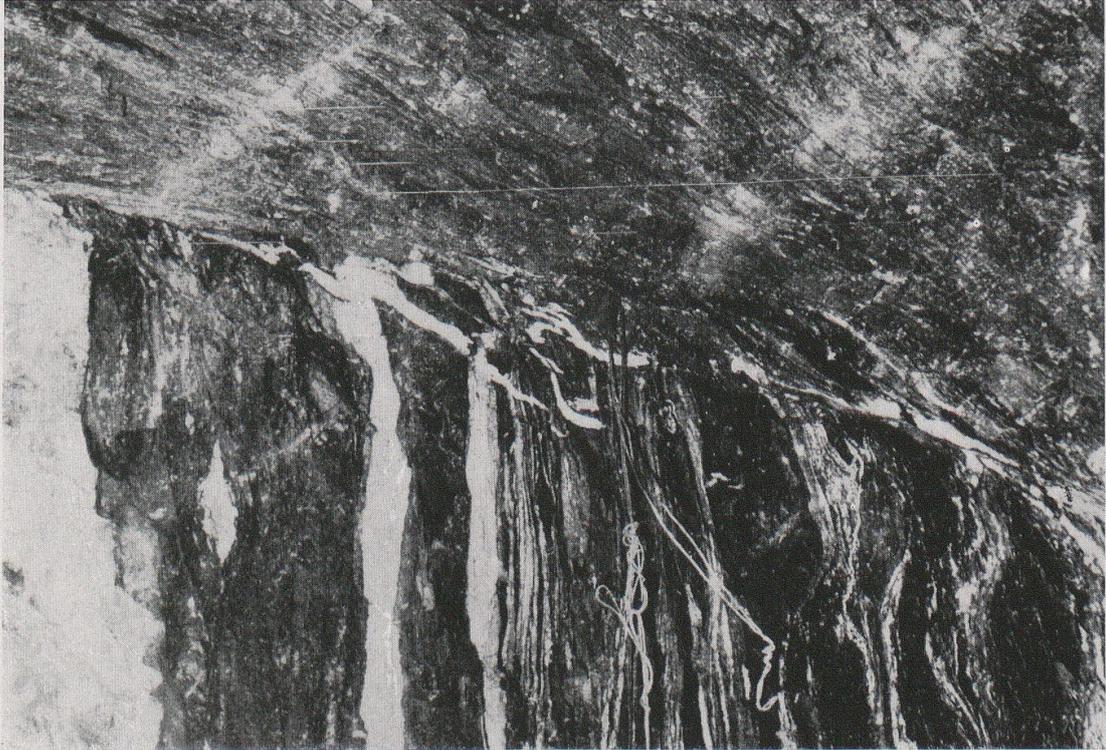


Photo 10. Diskordanter Lamprophyrgang in Nord-Süd-gebänderten Gneisen (Norden = oben). Zuleitungsstollen, unterer Teil, m 467 (First).



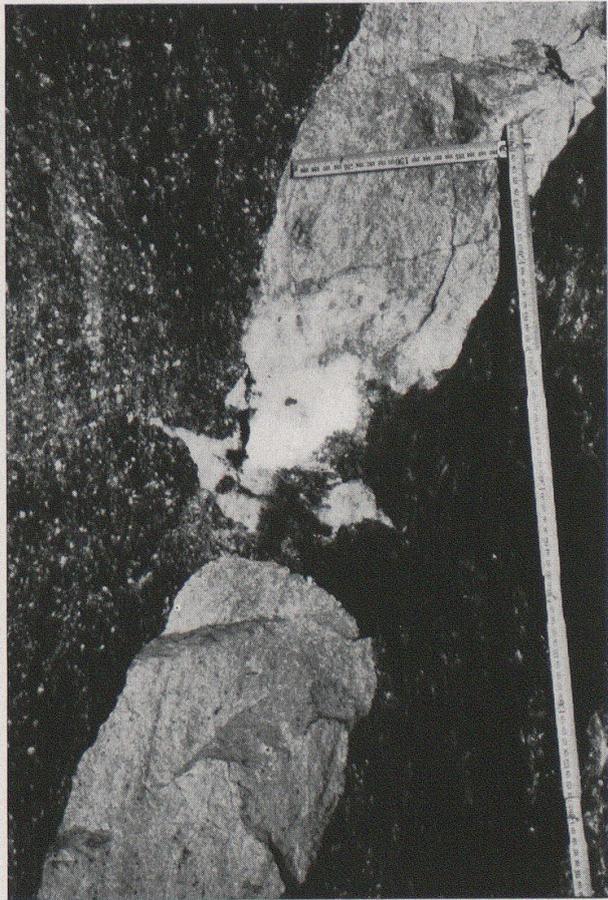
Photo 11. Diskordanter Aplitgang Zuleitungsstollen, oberer Teil, m 650.



Photo 12. Subhorizontaler Aplitgang, von jüngerer, steiler, alpiner Schieferung zerrissen. Auf mehreren Bewegungsflächen findet sich ein cm-mächtiger Gipsbelag. Zuleitungstollen, oberer Teil, m 24.



13



14

15



Photo 13, 14 und 15. Drei Beispiele alpinktonischer Boudinage steilstehender Aplitgänge: Photo 13 (Kabelstollen, m 537) zeigt modellhaft schön das Einkurven der Schieferung in den durch das Auseinanderdriften der Boudins entstandenen Hohlraum. Photo 14 (Kabelstollen, m 545) zeigt die klassische Ausbildung der Hohlraumfüllung in Form zweier „Schwänzchen“; diese bestehen hier aus Quarz, in Photo 15 (Unterwasserstollen, m 350) aus Biotit.

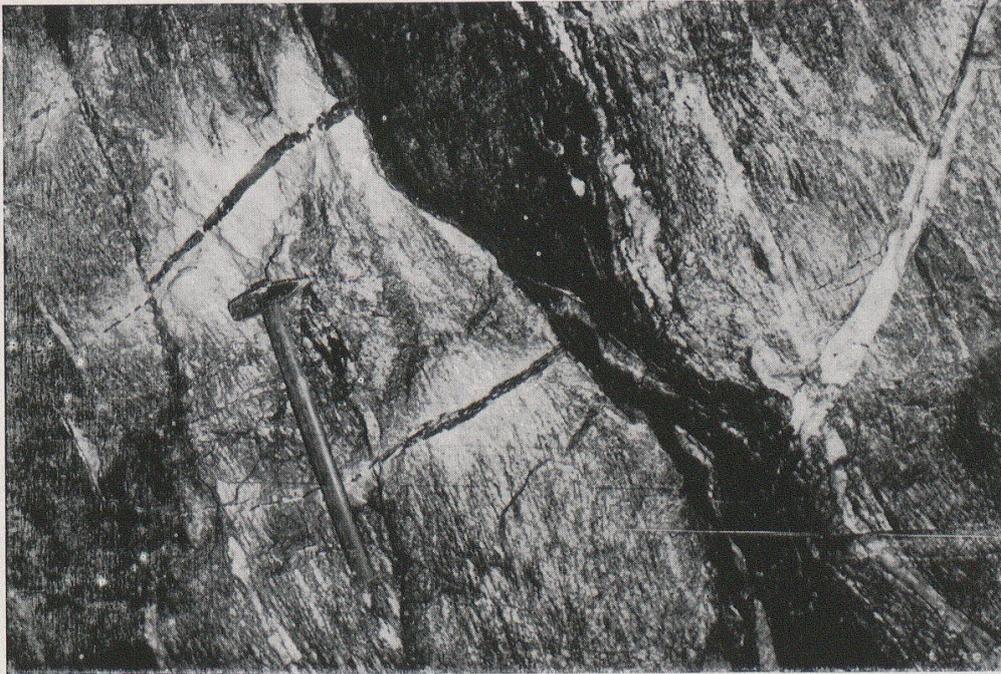


Photo 16. Flachliegende Zerrisse mit Chloritfüllung. Deutlich ist ein Bleichsaum ausgebildet. Die Risse treten in einem Gneispaket auf, das beidseitig von alpinen Bewegungsbahnen (primär sehr glimmerreichen Lagen) begrenzt wird. Zuleitungsstollen, unterer Teil, m 695.

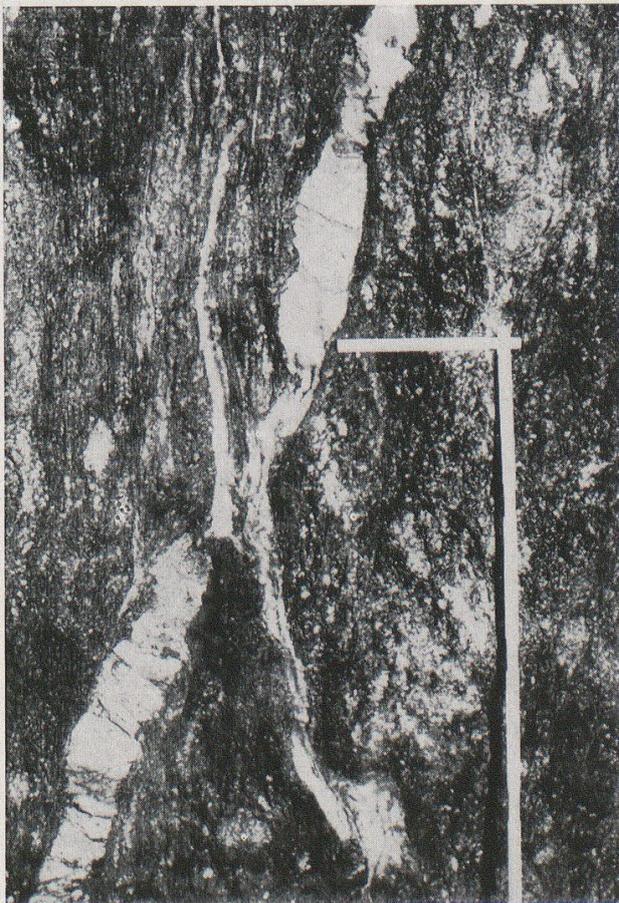


Photo 17. Anhydritlage durchsetzt einen Aplitgang. Kabelstollen, m 585.

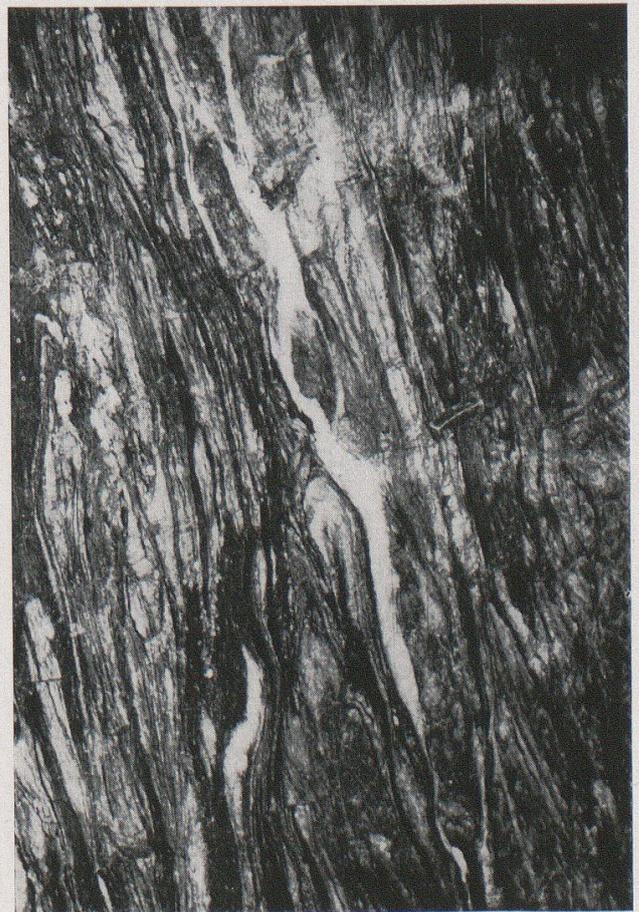
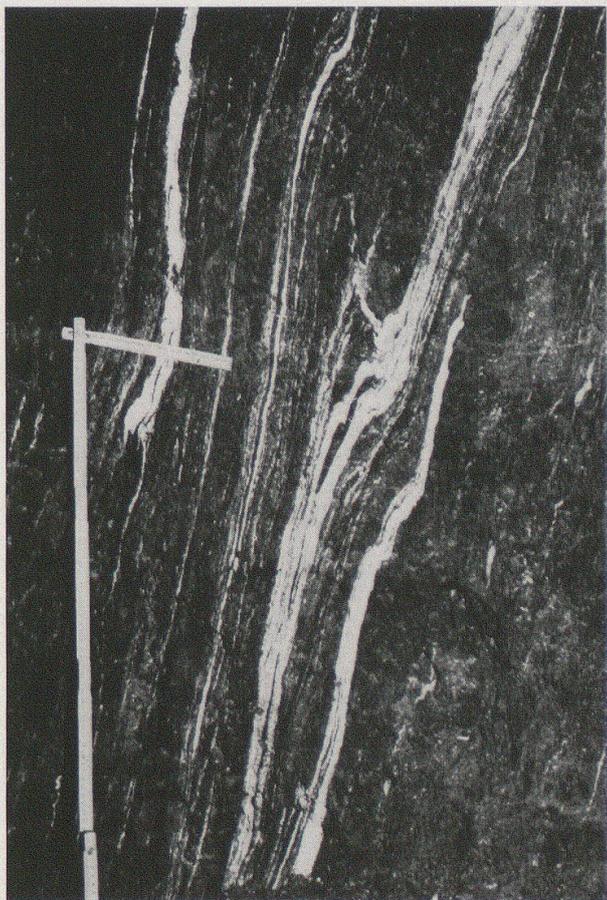


Photo 18. Gipslagen parallel zur alpinen Schieferung. Zuleitungsstollen, oberer Teil, m 30.



a



b

Photo 19a, b und c. Drei Aufnahmen ein und derselben Gipslage auf der Westseite des Stollens (a), der Stollenfirst (c) und der Ostseite (b). Kabelstollen, m 539.



c

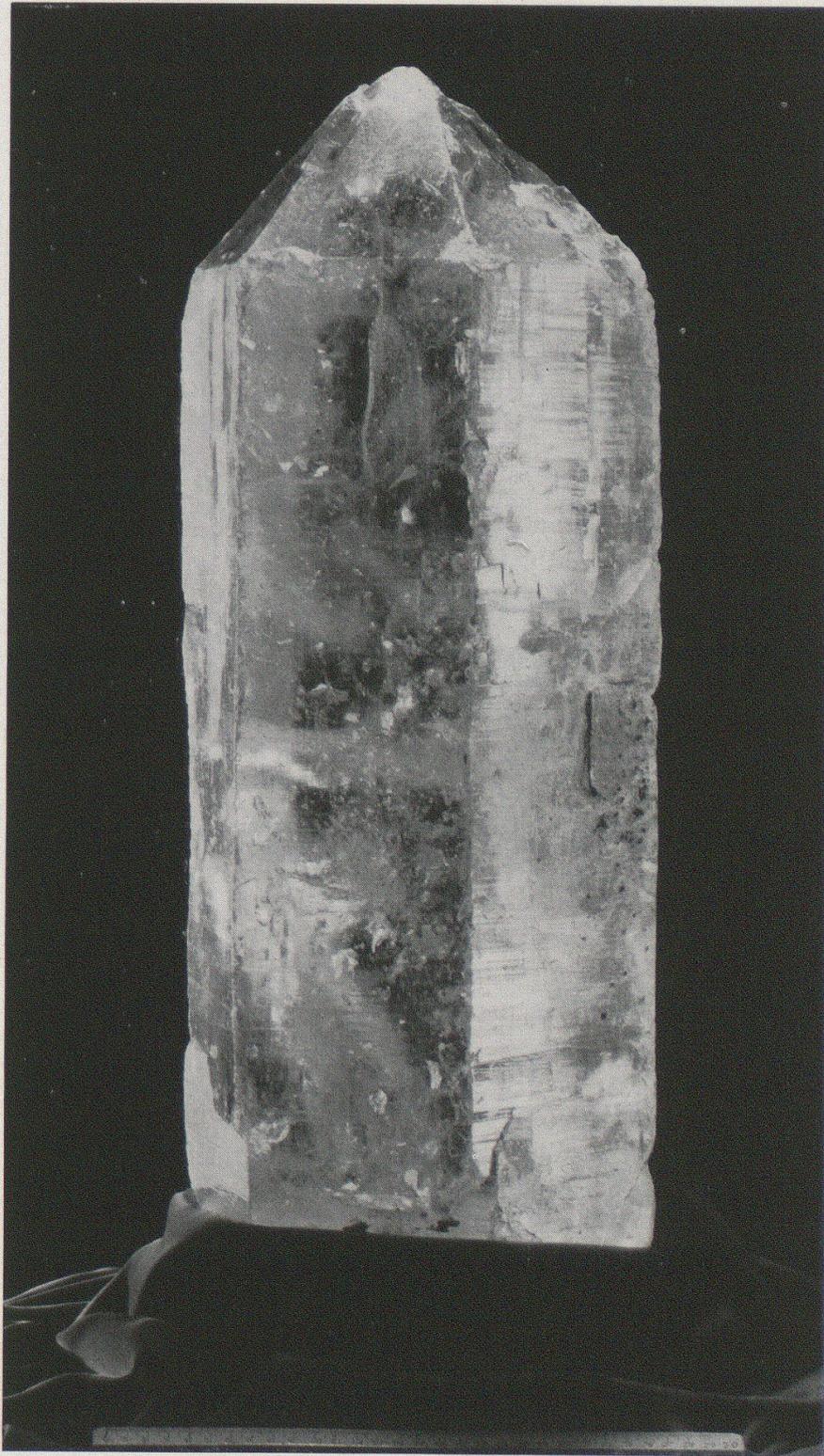


Photo 20. Grösster Einzelkristall aus der Kristallkluft im Druckschacht. Höhe 73 cm; ausserordentlich regelmässige Prismenflächen, deren Breite zwischen 12 und 14 cm schwankt. Die Spitze des Kristalls ist beschädigt (Foto P. Grunert, Zürich).

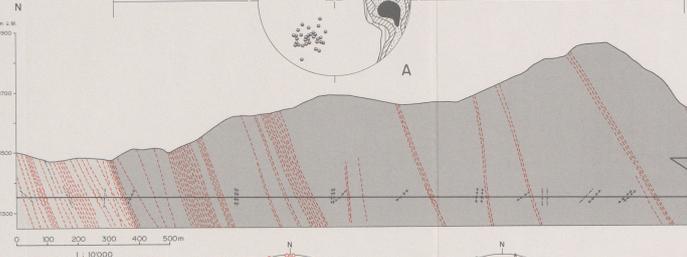
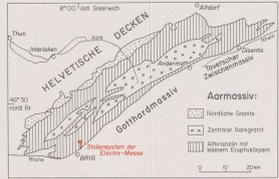


Photo 21. Künstlich zusammengestellte Gruppe von Quarzkristallen aus der Kristallkluft im Druckschacht. Der grösste Kristall ist 60 cm hoch. Mineralienschau des Schweizer Heimatwerks Zürich im September 1966 (Foto P. Grunert, Zürich).

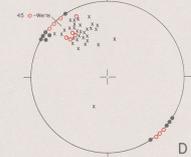
Leere Seite
Blank page
Page vide

TAFEL I Geologisches Profil durch die Stollen der Electra-Massa

Gefügemessungen an der Oberfläche
über dem Zuleitungstollen
geologisches Profil
256 Werte (Umriss 5,3,3,2,1 % pro 1% - Fläche
aus Labhart (1965, Fig. 38 und 40)



Gefügemessungen in den
Stollen der Zentrale Bitsch



Legende zu TAFEL I und II

URSBEREN - ZONE

- GL Gletscherabwässerung Linie, Kalkschiefer
- Tr Trass, Pyrit, Quarz
- Perm Permianer Konglomerat

AARMASSIV

- Antiklinale
- Gangschieferung
- Gangschieferung
- Gangschieferung, 2 diskordante granitische Massen (Neuwald)

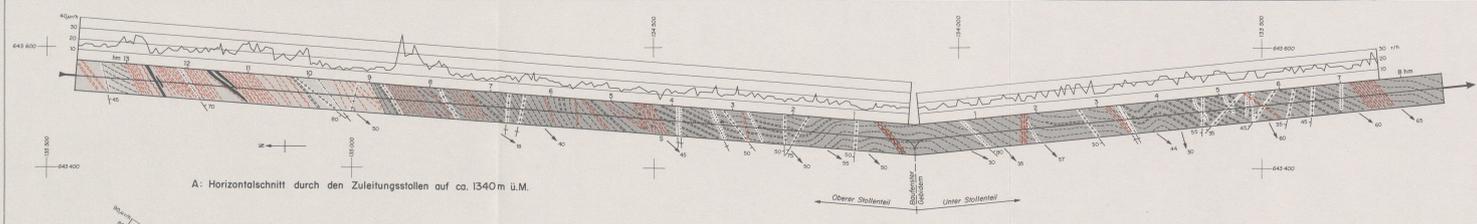
S

- Felsringige Granite
- Porphyrische Granite
- Sibirisch-Arktischer Granit, unregelmäßig, durchsetzt von batholithen Gängen und Schloten
- Loggelschicht-Phanokrit-Graue (mit einer Unterabteilung 4 Porphyrischer)
- Anorthit- und Hornfels-Lagen und -Schichten
- granitische Bunt-Phanokrit-Graue
- Bunt-Fels-Lagen und -Schichten
- Sappirite-Schichten
- Kalkschiefer-Schichten
- Sibirisch-Arktischer Granit und -Schiefer mit westlichen Gängen im Nordwest
- Bunt-Fels-Schichten
- Graue Quarz-Fels-Schichten
- Amphibol- und Hornfels-Schichten
- Alpine Schieferung
- Vorpaläozoische Antiklinale
- Vorpaläozoische Postalpinale
- U Unternehmung
- von Zuleitung unter Aufnahme beiderseits Schichten

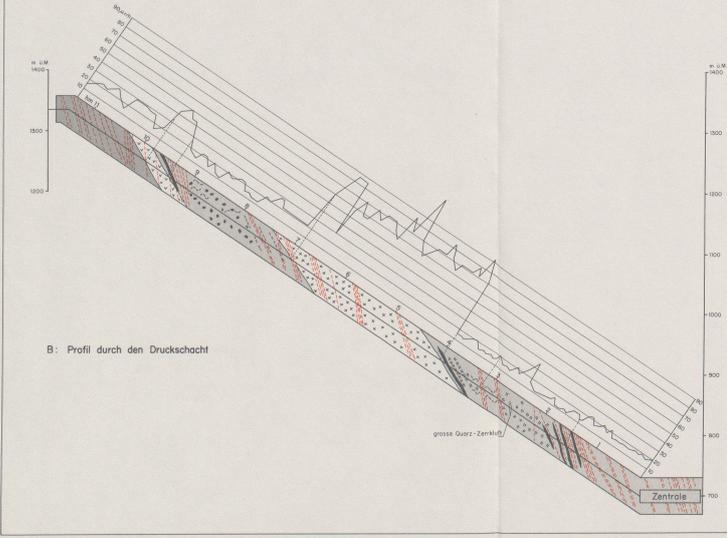
LEGENDE DIAGRAMME
Gefügemessungen hier, unter anderem mit

- Vorpaläozoische Postalpinale
- Vorpaläozoische Antiklinale
- Antiklinale
- Alpine Schieferung

Leere Seite
Blank page
Page vide



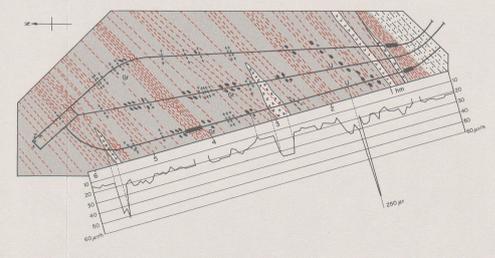
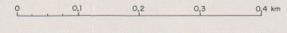
A: Horizontalschnitt durch den Zuleitungsstollen auf ca. 1340m ü.M.



B: Profil durch den Druckschacht

TAFEL II

Stollen der Electra-Massa
Detaildarstellungen (Horizontalschnitte und Profil) mit γ -logs
Legende siehe Tafel I



C: Horizontalschnitt durch die Zentrale Bitsch auf ca. 700m ü.M.