

Vorwort der Schweizerischen Geotechnischen Kommission  
und des Arbeitsausschusses für die  
Untersuchung schweizerischer Mineralien und Gesteine

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ

Geotechnische Serie, Lieferung 42

Herausgegeben mit Subvention der Eidgenossenschaft von der

Schweizerischen Geotechnischen Kommission

Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

UNTERSUCHUNGEN ÜBER RADIOAKTIVE MINERALIEN UND GESTEINE  
IN DER SCHWEIZ

**Die Uranvererzungen bei Isérables (Wallis)**

VON

TH. HÜGI

V. KÖPPEL

F. DE QUERVAIN

E. RICKENBACH

KOMMISSIONSVERLAG: KÜMMERLY & FREY, GEOGRAPHISCHER VERLAG, BERN

1967

DRUCK VON ASCHMANN & SCHELLER AG, BUCHDRUCKEREI ZUR FROSCHAU, ZÜRICH

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

An der Sitzung vom 22. Januar 1966 lag der Kommission ein Manuskript vor: «Die Uranvererzungen bei Iséribles (Wallis)» von Th. Hügi, V. Köppel, F. de Quervain und E. Rickenbach. Es enthält die Ergebnisse der Untersuchungen, die der Arbeitsausschuß unter Leitung von Prof. Hügi und Dr. Rickenbach seit 1957 südlich Iséribles, zuerst in Stollen der Kraftwerkunternehmung Grande Dixence S.A., anschließend an der Oberfläche ausführte, worüber Näheres im einleitenden Kapitel von E. Rickenbach berichtet wird. Gemäß der seinerzeitigen Vereinbarung, die Ergebnisse des Arbeitsausschusses in die Publikationsserien der Geotechnischen Kommission unter dem Titel «Untersuchungen über radioaktive Mineralien und Gesteine in der Schweiz» einzureihen, wurde die Arbeit zum Druck in der Geotechnischen Serie der Beiträge angenommen.

Die Grande Dixence S.A. erleichterte in sehr zuvorkommender Weise das Zustandekommen dieser Untersuchung. Sie bekundete von Anfang an großes Interesse dafür, erwarb vom Kanton Wallis die Schürfkonzession für das ganze Gebiet, beteiligte sich selbst an den Arbeiten im Stollen und an der Oberfläche und stellte ihre Ergebnisse dem Arbeitsausschuß zur Verfügung. Es ist dem Unterzeichneten ein Bedürfnis, auch im Namen von Prof. Th. Hügi und Dr. E. Rickenbach dem Präsidenten des Verwaltungsrates der Grande Dixence S.A., Herrn Dr. h. c. E. Choisy, den Herren Direktoren L. Favrat und J. Desmeules und ihrem Geologen Herrn G. Welti für die stets angenehme Zusammenarbeit den besten Dank auszusprechen. Für mancherlei Hilfe und Unterstützung gebührt aufrichtiger Dank den leitenden Ingenieuren und Mitarbeitern der örtlichen Bauleitung der Grande Dixence S.A. und der Unternehmerfirma Losinger AG. Die Untersuchung wurde tatkräftig gefördert durch den kürzlich verstorbenen seinerzeitigen Delegierten für Fragen der Atomenergie, Herrn Dr. O. Zipfel.

Die Kommission dankt den Autoren und allen weiteren, im Text einzeln genannten Beteiligten vielmals für die große Forschungsarbeit an dieser neuartigen alpinen Uranvererzung. Die Laborarbeiten wurden im Wesentlichen an der Abteilung für Geochemie am Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Bern und am Lehrstuhl für Technische Petrographie der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich durchgeführt.

Der Arbeitsausschuß wurde finanziell unterstützt, bis Ende 1958 durch die Schweiz. Studienkommission für Atomenergie (SKA) und durch einen Spezialkredit des Bundes zur Ausführung des Sondierstollens, anschließend durch die Kommission für Atomwissenschaften des Schweizerischen Nationalfonds und nach deren Auflösung durch den Forschungsrat des Nationalfonds selbst. Diesen Stellen sei für ihre große Förderung der Untersuchung des Landes auf radioaktive Elemente vielmals gedankt. Speziell sind wir verbunden den Herren Prof. Dr. P. Scherrer, Prof. Dr. A. von Muralt und Prof. Dr. P. Huber für ihre vielfachen Bemühungen.

Die Kosten für die Druckvorbereitung und für den Druck übernahm die Schweizerische Geotechnische Kommission.

Für den Inhalt von Text und Figuren sind die Verfasser allein verantwortlich.

Zürich, Dezember 1966.

Für die Schweizerische Geotechnische Kommission  
und den Arbeitsausschuß

Der Präsident: Prof. F. de Quervain

# Inhalt

<b>Résumé – Summary</b> . . . . .	8
<b>Kapitel I: Entdeckung und Gang der Untersuchung</b> (E. Rickenbach) . . . . .	13
<b>Kapitel II: Die geologischen Verhältnisse</b> (E. Rickenbach) . . . . .	19
<b>Kapitel III: Die Uranvererzungen, ihre Lage und Erscheinungsform</b> (E. Rickenbach) . . . . .	23
A. Vererzungen unter Tag . . . . .	23
1. Beobachtungen im Hauptstollen . . . . .	23
2. Beobachtungen im Sondierstollen . . . . .	23
3. Ergebnisse der Sondierbohrungen . . . . .	25
B. Vererzungen über Tag . . . . .	27
<b>Kapitel IV: Die Erzminerale und ihre Begleitgesteine. Vergleich mit weiteren Lagerstätten</b> (F. de Quervain und V. Köppel) . . . . .	33
A. Einleitung. . . . .	33
B. Übersicht der für die einzelnen Vorkommen typischen Erscheinungen . . . . .	33
1. Die Stollenaufschlüsse . . . . .	33
2. Die Oberflächenvorkommen Col des Mines, Les Plans, Le Fou . . . . .	40
3. Das Oberflächenvorkommen Grand Alou. . . . .	43
C. Einzelcharakterisierung der Erzminerale und ihrer gegenseitigen Beziehungen. . . . .	46
1. Die Uranminerale . . . . .	46
2. Die verbreiteten Begleiterze . . . . .	50
3. Untergeordnete bis seltene Erzminerale . . . . .	52
D. Vergleich der Vorkommen Isérables mit pechblendefreien Erzvorkommen der Casannaschiefer des Wallis . . . . .	57
E. Vergleich der Paragenesen von Isérables mit weiteren Pechblendevorkommen der Alpen . . . . .	58
<b>Kapitel V: Chemische und radiometrische Daten</b> (Th. Hügi) . . . . .	63
1. Einleitung . . . . .	63
2. Methodisches . . . . .	63
3. Die Gehalte an Uran und Begleitelementen im Sondierstollen . . . . .	66
4. Die Untersuchung an Schlitzproben von Grand Alou . . . . .	71
5. Die Gehaltsermittlungen an Einzelproben. . . . .	71
6. Löslichkeitsversuche . . . . .	73
7. Anreicherungsversuche . . . . .	73
8. Der Aussagewert der gefundenen Gehalte an Uran und andern Elementen . . . . .	74
<b>Kapitel VI: Die Genese der Uranvererzungen bei Isérables</b> (F. de Quervain und Th. Hügi) . . . . .	76
A. Die geologischen Altersbeziehungen von Gesteins- und Erzminerale . . . . .	76
B. Physikalische Altersbestimmungen . . . . .	76
C. Genetische Deutung . . . . .	78
<b>Kapitel VII: Beurteilung der Lagerstätte. Schürfmöglichkeiten</b> (E. Rickenbach) . . . . .	81
A. Natur und Ausdehnung der Lagerstätte . . . . .	81
B. Schürfmöglichkeiten . . . . .	82
<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	84

## Résumé

Au cours de mesures systématiques de la radioactivité des roches on a découvert, en 1957, une zone de roche uranifère au SSE du village d'Isérables (Valais) à env. 1400 m d'altitude, dans une galerie en construction pour une usine hydro-électrique. Au moyen de plusieurs carottages et d'une galerie de recherche partant de la galerie d'eau, l'allure de la zone minéralisée, son épaisseur, les rapports entre le minerai et la roche encaissante ainsi que la répartition des parties plus fortement minéralisées furent étudiés. En vue de la détermination des teneurs en uranium et autres éléments rares, 35,9 tonnes de roche plus ou moins minéralisée furent extraites de la galerie de recherche, et 9,6 tonnes de deux niches creusées dans les parties les plus riches rencontrées dans cette galerie. La zone uranifère fut recherchée et retrouvée à la surface du terrain accidenté sous forme de nombreux affleurements situés à env. 2200–2400 m d'altitude et groupés surtout en trois localités de terrain rocheux séparées par des surfaces considérables où la roche en place est cachée sous une forte couverture d'éboulis.

Les parties de roche minéralisée appartiennent à un complexe de roches cristallines d'âge carbonifère à permien et faisant partie de la nappe de recouvrement du Gd St-Bernard. Ces roches cristallines peuvent être divisées en plusieurs séries définies par leur nature pétrographique et leur position tectonique et qui, dans la région en question, accusent un pendage SE à ESE. La minéralisation observée dans la galerie d'eau est liée aux niveaux supérieurs de la «Série de Nendaz», tandis que les affleurements de roche minéralisée en surface apparaissent aussi dans les niveaux inférieurs et moyens de la «Série de Siviez», qui est superposée à la première. (Voir chapitres I et II.)

Au chapitre III les minéralisations en galerie et en surface sont décrites de manière détaillée quant à leur apparence et leur position stratigraphique. L'emplacement et la situation stratigraphique des différents affleurements ressortent des cartes, des profils et des photos aériennes qui accompagnent ce volume.

Le chapitre IV donne une description, surtout microscopique, des différents minéraux composant le minerai et des roches encaissantes, qui sont, dans la Série de Nendaz comme dans la Série de Siviez, des gneiss à schistes albitiques chlorito-sériciteux avec passage à de vrais quartzites et phyllites. Leur structure et la constitution quantitative de leurs éléments varient beaucoup. Il s'agit de roches de caractère typiquement para. Dans la Série de Nendaz on reconnaît des structures de brèche résiduelles. Le minerai de loin le plus fréquent est la pechblende, en partie sous forme de gel, en partie comme uraninite. La pechblende forme des grains de < 0,002 mm à plus de 1 mm, souvent concrétionnés dans des formations plus grandes et enrichis par bandes. Le plus souvent la pechblende se trouve incluse dans la chlorite, mais assez fréquemment aussi dans les autres minéraux des roches minéralisées. Une gangue proprement dite fait défaut. Toutefois, dans la galerie les échantillons accusant une radioactivité élevée (Série de Nendaz) sont plus riches en albite et en chlorite que la roche encaissante et contiennent souvent aussi de la calcite. Par endroits la pechblende montre des formes de transformation («para-pechblende»), qu'il n'est pas possible d'attribuer à une influence superficielle. Le plus souvent elle est accompagnée de pyrite en quantité considérable et d'une minéralisation sulfureuse de cuivre, d'arsenic et de plomb, faible en quantité, mais typique et comprenant quelques espèces qui se trouvent rarement dans les Alpes. Sporadiquement de l'or natif a été observé. La composition de cette minéralisation accessoire présente des différences locales.

Dans un bref paragraphe, la minéralisation d'uranium d'Isérables est comparée, à l'aide de tableaux, avec de petites minéralisations non-radioactives (avec Ni, Co, Bi, Cu, Pb, Zn) des Schistes de Casanna de la région du Gd St-Bernard et avec les autres minéralisations alpines d'uranium peu nombreuses qui ont déjà fait l'objet d'une description détaillée. Ces dernières se trouvent, pour la plupart, dans des sédiments, en partie métamorphiques, d'âge permien sûr ou probable. Il existe des analogies structurales et de composition minéralogique avec plusieurs de ces minéralisations, mais jamais une identité complète.

Le chapitre V traite de la composition chimique des roches minéralisées. Les méthodes photométriques, de fluorescence de rayons X et radiométriques ont été employées. La plupart des déterminations d'U ont été réalisées au moyen du procédé  $\text{NH}_4\text{CNS}$ , le complexe coloré étant mesuré à 3900 Å. Pour les travaux de fluorescence de rayons X on utilisait un appareil Philips PW 1520. Quelques valeurs d'U données en ppm eU sont basées sur une méthode radiométrique décrite par L. Rybach (1961, 1962).

Les teneurs en U des échantillons P et Q de 6,0 resp. 3,6 t provenant des deux niches faites depuis la galerie de recherche et analysés sans aucun enrichissement préalable, furent déterminées à 0,15 resp. 0,07% U en poids. Ces moyennes résultent de données analytiques obtenues à différents laboratoires par des techniques photométriques variées et des méthodes de fluorescence de rayons X. Pour les mêmes échantillons les teneurs en Ag, As, Ba, Ca, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Th, Ti, Y, Zn et Zr obtenues par la fluorescence de rayons X sont données sous forme de tableau. Les échantillons par mètre,  $m_1$  à  $m_{19}$ , de la même galerie furent également analysés pour l'U et les autres éléments énumérés ci-dessus. Le total des 35,9 tonnes de roche non-assortie de cette galerie ( $m_1$ - $m_{19}$ , sans le matériel des niches P et Q) accuse une teneur en U de 0,03% en poids. Les teneurs en U et autres éléments mentionnés ci-dessus d'autres échantillons minéralisés, grandeur d'un poing jusqu'à plus de 10 kg, sont également réunies dans un tableau. Il convient de remarquer que la teneur en Th ne dépasse jamais 40 ppm. D'autres tableaux donnent les valeurs pour les éléments prépondérants des échantillons P et Q déterminées par analyse rapide et analyse modale. Des essais de lessivage à l'acide  $H_2SO_4$  (80 °C/8 h) indiquent la présence d'une portion soluble d'U de 71 à 93% en poids. Au moyen d'un compteur de scintillations il a été possible de produire, en partant du matériel non-assorti de l'échantillon P représentant un minerai de 0,15% U en poids, un minerai de 0,61% U en poids. Un paragraphe spécial porte sur la signification des teneurs d'U observées.

Au chapitre VI on discute la genèse difficile à expliquer. Suivant les constatations géologiques, minéralogiques et pétrographiques, très probablement la formation primaire de minerai a eu lieu dans des dépôts clastiques du Permien. Pendant la métamorphose alpine au Tertiaire ce minerai aurait subi une remise en marche considérable, accompagnée d'une migration en solution suivant des chemins s'offrant à l'intérieur des Schistes de Casanna, ce qui a conduit à la formation partielle de pechblende et de minéraux accessoires aussi dans des couches voisines se trouvant en dehors de la Série permienne de Nendaz.

Des déterminations d'âge suivant la méthode  $U^{238}Pb^{206}$  n'ont pas confirmé, dans chaque cas, l'âge géologique présumé. L'influence du métamorphisme et de l'effet tectonique est discutée. Les roches considérées ont ou bien un âge permo-triasique ou permo-carbonifère ou même plus grand, tandis que l'âge maximum trouvé était  $395 \pm 25$  millions d'années, et l'âge minimum  $15 \pm 3$  millions.

Le dernier chapitre traite des possibilités d'exécuter des travaux de fouille à envisager pour l'étude de la valeur économique du gisement. Comme l'exécution d'une galerie d'accès au corps minéralisé de la galerie d'eau ou à son prolongement NE et SW à un niveau légèrement plus élevé se défend à cause des distances trop grandes et comme l'aire des affleurements les plus nombreux de roche minéralisée se trouve sur une pente d'accès difficile et exposée à des chutes de pierres, un emplacement relativement favorable pour une galerie de quelques centaines de mètres traversant toute la zone minéralisée est indiqué au N du replat appelé «Les Plans», situé cependant env. 700 m à l'W et presque 800 m au-dessus du niveau de la galerie d'eau. Un autre point de départ d'accès favorable pour des travaux de fouille est signalé à l'endroit «Les Eaux», à env. 1600 m d'altitude seulement, mais à 4 km de distance de la minéralisation de la galerie d'eau. Des travaux géologiques supplémentaires sont prévus pour combler certaines lacunes dans la connaissance de la zone minéralisée.

## Summary

In the course of systematic measurements of rock radioactivity a uranium bearing rock zone was detected in 1957 SSE of Isérables village in the Rhone Valley, at about 1400 m above sea level, in a gallery under construction for a hydro-electric power station. By means of a number of core drill holes and a research gallery started from the water gallery the development of the mineralized zone, its width, the connections between the wall rock and the ore, and the distribution of the stronger mineralized rock portions were studied. For the determination of the content of uranium and other elements 35,9 tons of more or less mineralized rock were extracted from the first 19 meters of the research gallery, and 9,6 tons from two excavations, P and Q, made in the richest parts of it. The uranium bearing zone was looked for and detected on the surface of the mountainous territory in the form of numerous outcrops generally situated at 2200 to 2400 m above sea level, mainly arranged in three areas separated from each other by wider surfaces covered by quaternary deposits.

The mineralized rock portions belong to a system of crystalline rocks of presumably carboniferous to permian age constituting part of the nappe of St. Bernhard. They can be divided into a number of series defined by their petrographic properties and tectonic position and which, in this region, are generally inclined toward SE to SEE. The mineralization observed in the water gallery is bound to higher horizons of the 'Série de Nendaz', whereas the surface occurrences also occupy the lower and middle portions of the overlying 'Série de Siviez'. (See chapters I and II.)

In chapter III the ore occurrences of the gallery and the surface are described in detail as to their appearance and stratigraphical position, reference being made to the plans, sections and aerial views accompanying the volume.

Chapter IV gives a (mostly microscopical) description of the ore minerals and their accompanying rocks. In the 'Série de Nendaz' as well as in the 'Série de Siviez' the rocks accompanying the ore are chlorite-sericite-albite gneisses to schists of most varying structure and relative proportions of components, with transition to quartzites and true phyllites. They are typical para rocks. In the 'Série de Nendaz' relict breccia structures can be recognized. By far the most frequent uranium mineral is pitchblende, partly in the gel form, partly as uraninite. The pitchblende forms individual grains from  $< 0,002$  mm up to  $> 1$  mm, frequently aggregated into major structures and concentrated in veins. It is mostly included in chlorite, but rather frequently also in the other minerals of the accompanying rocks. A real gangue is missing, however the high-radioactive samples from the gallery (Série de Nendaz) contain more albite and chlorite than the surrounding rock layers, and, in addition, frequently also calcite. Sometimes the pitchblende shows forms of transformation ('para pitchblende') which cannot be attributed to surface influence. It is generally accompanied by plenty of pyrite and a quantitatively small but typical sulfidic copper-arsenic-lead mineralization, with some minerals uncommon for the Alps. Locally also native gold has been observed. The various individual occurrences differ somewhat with regard to this accompanying mineralization.

In a short section, by means of tables the uranium mineralization of Isérables is compared with small non-radioactive ore occurrences (with Ni, Co, Bi, Cu, Pb, Zn) from the Casanna Schists body of the St. Bernhard region, and further with the few closely described uranium occurrences from the Alpine region, which mostly belong to, partly metamorphic, formations of ascertained or supposed permian age. Some of these occurrences show analogies of appearance and in mineral composition, but never full identity.

Chapter V deals with the chemical composition of the mineralized rocks. Photometric, X-ray-fluorescence and radiometric methods have been used. Most of the U-determinations have been carried out by means of the  $\text{NH}_4\text{CNS}$ -procedure, measuring the coloured complex by 3900 Å. For the X-ray-fluorescence work a Philips PW 1520 instrument was available. Some U-values given in ppm eU are based on a radiometric method described by L. Rybach (1961, 1962).

The U-contents of the samples P and Q of resp. 6,0 and 3,6 t from the two excavations in the research gallery, which have been analyzed without any preliminary enrichment, were found to be resp. 0,15 and 0,07 weight % U. These mean values result from analytical data determined by various laboratories using different photometric techniques and X-ray-fluorescence methods. Values of Ag, As, Ba, Ca, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Th, Ti, Y, Zn, and Zr are tabulated for the same samples (X-ray-fluorescence technique). Samples

from the meter sections ( $m_1$  to  $m_{19}$ ) of the same gallery have been individually analyzed for U and the other elements just enumerated as well. The total of 35,9 t of non-assorted rock material from this gallery ( $m_1$ – $m_{19}$ , P and Q not included) shows a mean of 0,03 weight % U. Values for U and other elements mentioned above are tabulated also for some other mineralized rock samples, the size of which varied from hand specimen up to some ten kg. It is interesting to note that Th does not exceed 40 ppm in any case. Other tables give the data for major elements of the samples P and Q found by means of rapid analysis and modal analysis. Acid-leaching experiments by means of  $H_2SO_4$  (80 °C/8 h) show a soluble rate of U ranging from 71 to 93 weight %. Using a scintillation counter, non-assorted rock material of the sample P was enriched from a 0,15 to a 0,61 weight % U-ore. A special paragraph deals with the significance of the mean U-values found.

In chapter VI the genesis, rather difficult to explain, is discussed. According to the geological, mineralogical and petrographical facts it appears most probable that an original ore formation has taken place in clastic permian deposits. During the tertiary Alpine metamorphism this ore would then have undergone a considerable mobilization connected with a solution migration along paths within the Casanna Schists, which also led to the formation of pitchblende and associated minerals in neighbouring strata outside the permian 'Série de Nendaz'.

Age determinations based on the  $U^{238}Pb^{206}$  method did not confirm the believed geological age of the rocks in each case. The influences of strong metamorphic and tectonic action are discussed. Occurring rocks are either of permo-triassic or permo-carboniferous or even older geological age, while the maximum age found was  $395 \pm 25$  million years, and the minimum age  $15 \pm 3$  million years.

The last chapter treats of the possibilities of prospecting work to be carried out in view of an estimation of the ore deposit as to its economic importance. As a horizontal approach of the ore body of the gallery and its NE and SW extensions at that level or somewhat higher does not come into question for the great distances to cover and as the surface area containing the majority of mineralized rock outcrops is on a steep slope exposed to rock fall, a comparatively favourable starting point for a gallery of some hundred meters crossing all of the mineralized zone is indicated N of the terrace of 'Les Plans', easy to approach, however situated about 700 m W and almost 800 m above the level of the ore body in the water gallery. Another point of attack, which would be most favourable with regard to approach, is mentioned at 'Les Eaux', at 1600 m, but not less than 4 km NE from the water gallery occurrence. Complementary geological survey is planned to fill some gaps in the knowledge of the mineralized zone.

# Kapitel I

## Entdeckung und Gang der Untersuchung

Eines der ersten Untersuchungsobjekte des am 24. Oktober 1956 gegründeten Arbeitsausschusses waren die Stollenbauten der Grande Dixence S.A. im Gebiet zwischen dem Val de Bagnes und dem Rhonetal. Ein über 16 km langer Zuleitungsstollen war damals im Bau begriffen, der in etwas über 1400 m Höhe das Wasser von Fionnay nach Norden zum Druckstollen der ca. 1 km E Riddes im Berginnern liegenden Zentrale leitet

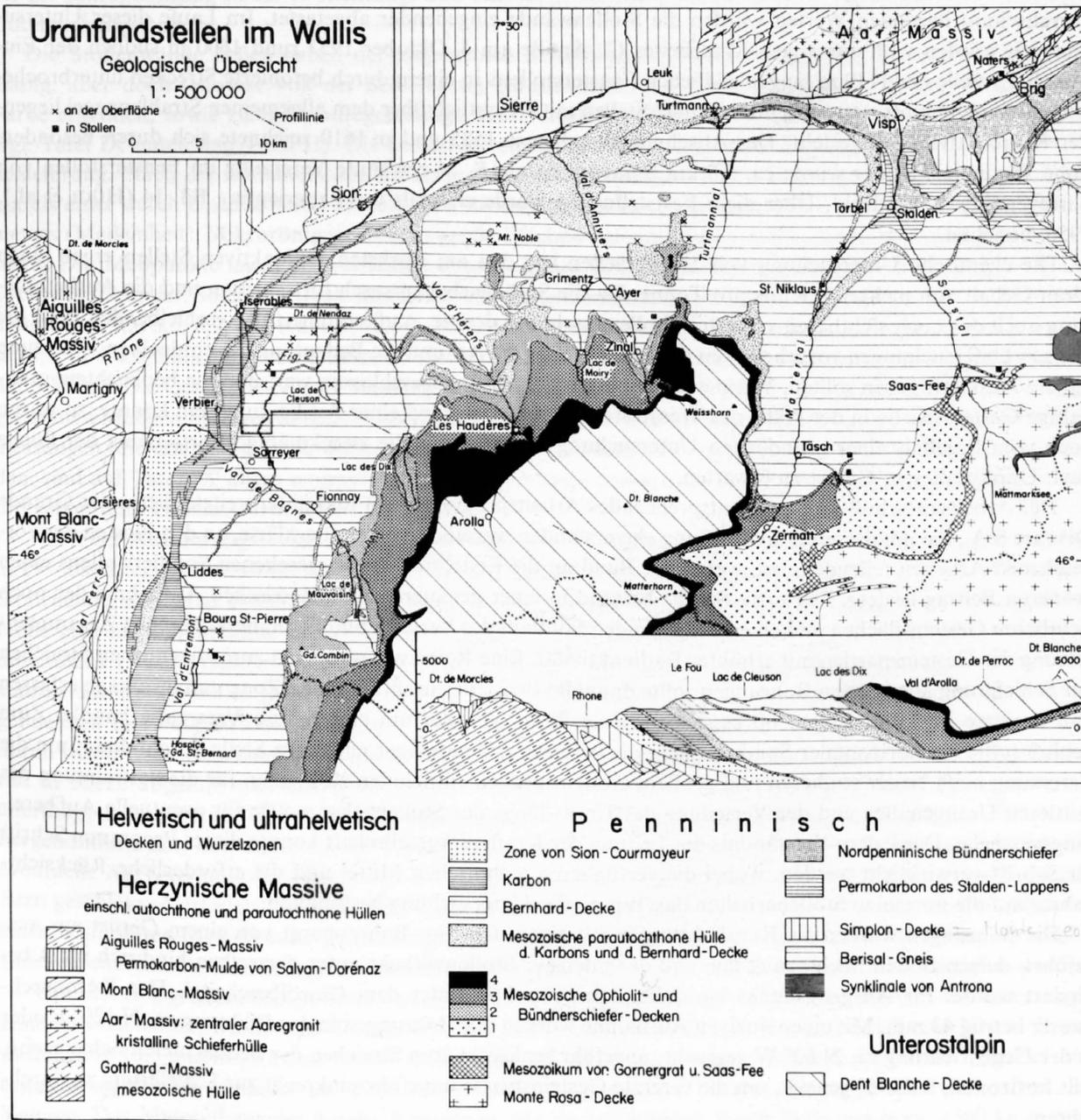


Fig. 1. Übersicht über die Uranfundstellen im Wallis, 1:500 000. Erstellt unter Benützung der Erläuterungen zu Blatt 6 (Sion) der Geologischen Generalkarte der Schweiz.

(vgl. Fig. 1 und 2). Dieser als Zuleitungsstollen Fionnay-Rhône bezeichnete Stollen besaß einen Durchmesser von 5,75 m und wurde mit einer 70 cm dicken Betonauskleidung versehen. Das Mittelstück war beim Beginn der Untersuchungen des Arbeitsausschusses noch nicht durchgeschlagen; indessen waren große Abschnitte bereits mit einer ersten Betonschale verkleidet, die dick genug war, um diese Abschnitte der Radioaktivitätsbeobachtung zu entziehen. Von der Baustelle Drotse, 2,5 km SE von Isérables, die durch eine Werkseilbahn mit dem Dorfe Riddes am Südrand der Rhoneebene verbunden war, führten zwei Fensterstollen zum Hauptstollen (vgl. Tafel IV).

Die Grande Dixence S.A. gestattete die Begehung der Stollen und die Vornahme von Radioaktivitätsmessungen mit einem tragbaren Szintillometer. Der ständige Geologe der Gesellschaft, Herr G. Welti, überwachte die Untersuchungen und unterstützte den Arbeitsausschuß in allen Stadien derselben in wirkungsvoller Weise.

Die Radioaktivitätsbeobachtungen wurden so durchgeführt, daß von der Stollenmitte aus die Sonde in Abständen von 10 m mit ausgestrecktem Arm gegen die Westwand, die Ostwand und den First des Stollens gerichtet und die jeweilige Radioaktivität am Instrument abgelesen wurde. Bei der Beobachtung von über dem Durchschnitt liegenden Werten wurden die Stollenwände eingehender abgetastet. Im Laufe dieser Untersuchungen wurden vom damaligen Mitarbeiter Cl. Antille am 4. Oktober 1957 rund 1600 m südlich der Einmündungsstelle des 1110 m langen südlichen Fensterstollens in einem durch betonierte Strecken unterbrochenen Stollenabschnitt von etwa 70 m Länge Stellen mit wesentlich über dem allgemeinen Strahlenpegel liegender Radioaktivität festgestellt. Der Abschnitt zwischen m 1585 und m 1610 zeichnete sich durch besonders hohe Werte aus. Später wurde ca. 5,8 km S davon die auf S. 76 erwähnte Vererzung im Fensterstollen von Sarreyer (Fig. 1) entdeckt. Über diese Feststellungen wurde erstmals in «Experientia» Bd. 14 (HÜGI et al.), 1958, berichtet.

Die chemische Untersuchung von Handstücken aus den am stärksten radioaktiven Stellen ergab einen Uran-Gehalt von mehreren Kilos pro Tonne. Da die Stollenarbeiten rasch fortschritten und die Ausbetonierung auch der noch sichtbaren vererzten Stollenabschnitte drohte, mußten innert der verbleibenden Frist die nötigen Untersuchungen vorgenommen werden, die über die Art und die Bedeutung der entdeckten Vererzung nähere Auskunft geben sollten. Wenn es auch zum vornherein ausgeschlossen war, daß die beobachtete uranhaltige Gesteinspartie in der Nähe des Wasserstollens je Gegenstand einer Ausbeutung sein könnte, so waren doch vom Ergebnis einer gründlichen Untersuchung Hinweise für die zweckmäßige Fortsetzung der Suche nach Uran in diesem Gebiet zu erwarten.

Der Arbeitsausschuß stellte ein entsprechendes Arbeitsprogramm auf und unterbreitete dieses der Grande Dixence S.A., die mit dessen Durchführung einverstanden war und sich bereit erklärte, an den Kosten der vorgesehenen Arbeiten teilzunehmen, wobei der Bund an die Erstellung des vorgesehenen Sondierstollens einen größeren Beitrag leistete. Der erste Schritt bestand in einer genaueren radiometrischen Aufnahme der noch sichtbaren Gesteinsflächen und einem eingehenden Studium des Verlaufs und der mineralogischen Zusammensetzung der Gesteinspartien mit erhöhter Radioaktivität. Eine Reihe von senkrecht zum allgemeinen Streichen der Schieferung angesetzten Bohrungen sollte dann die Breite der uranführenden Zone und ihre Lage erfassen und darüber Auskunft geben, ob es sich um eine flözartige oder um eine diffuse Vererzung handle. Zum Schluß sollte ein horizontaler Sondierstollen die vererzte Zone an einer günstigen Stelle durchfahren, um die Vererzung noch besser studieren und größere Gesteinsproben entnehmen zu können für die Bestimmung des mittleren Urangehaltes und der Verteilung des Urans längs der Stollenachse, sowie für eventuelle Aufbereitungsversuche. Dank dem Verständnis der Leitung der Kraftwerkgesellschaft konnte dieses Programm Schritt für Schritt verwirklicht werden, wobei die verfügbaren technischen Mittel und die erforderliche Rücksichtnahme auf die normalen Stollenarbeiten das Tempo der Untersuchung bestimmten.

Die Bohrungen wurden als Kernbohrungen mit einem Craelius-Bohrapparat von einem Gerüst aus ausgeführt, dessen Boden hoch genug lag, daß der intensive Stollenverkehr unter demselben hindurch nicht behindert wurde. Ihr Ausgangspunkt lag daher nur etwa 1 m unter dem Gewölbescheitel. Der Kerndurchmesser betrug 43 mm. Mit einer einzigen Ausnahme wurden alle Bohrungen in der Richtung ca. N 120° E oder in der Gegenrichtung ca. N 60° W gemacht, ungefähr senkrecht zum Streichen der beobachteten Schieferung, teils horizontal, teils 45° geneigt, um die vererzte Gesteinsmasse ungefähr senkrecht zur Schieferung zu durchfahren.

Eine vorläufige radiometrische Prüfung der Kerne auf der Baustelle orientierte über die Lage vererzter Bohrabschnitte. Es ergab sich, daß die vererzten Partien zusammen genommen eine ca. N 30° E streichende,

E-fallende, bis 45 m breite und mindestens über 150 m im Streichen verfolgbare unregelmäßig erzführende Zone definierten. Fig. 7 zeigt Beispiele von Radioaktivitätskurven (Gamma-Logs), die bei einer späteren, genaueren Untersuchung der Kerne mittels eines Geigerzählers gewonnen wurden. Tafel VIII zeigt die Lage der zur Ausführung gelangten Bohrungen, links im Plan, mit entsprechender Verkürzung der Schrägbohrungen, rechts in der Form einer Profilsérie mit Blickrichtung N 28½° E. Längs den Bohrachsen sind die Abschnitte mit erhöhter Radioaktivität angegeben.

Auf Grund der Ergebnisse der Kernbohrungen wurde nun an einer verhältnismäßig günstigen, noch nicht betonierten Stelle in der E-Wand des Hauptstollens der vorgesehene Sondierstollen angesetzt. Leider war es wegen der Betonierung nicht mehr möglich, ihn etwa 10 m weiter nördlich beginnen zu lassen, um auch die hochradioaktive Gesteinspartie zwischen m 1585 und m 1590 zu erfassen. Der Stollen wurde 29 m vorgetrieben und im hintersten Teil so ausgeweitet und erhöht, daß von hier aus weitere Bohrungen gemacht werden konnten. Eine derselben durchfuhr als Schrägbohrung die ganze im Stollen beobachtete Gesteinspartie; eine weitere lief als Schrägbohrung in ca. N-Richtung, und eine letzte Bohrung bildete eine 30 m lange Fortsetzung des Untersuchungsstollens.

Die Stollenwände ließen neben der allgemeinen Schieferung braunviolett gefärbte Bänder und unregelmäßig, aber doch teilweise von der Schieferung parallel laufenden Linien begrenzte Flächen von gleicher Farbe erkennen, sowie ziemlich unregelmäßige, teils verfälschte Züge von weißem oder rosafarbenem Quarz (vgl. Tafel IX unten und Tafel II). Die beiden Seitenwände am Stollenende zeigten ein interessantes Bild der Schieferung. Nach der zeichnerischen Erfassung dieser Verhältnisse wurden durch gezielte Messungen, d. h. mittels einer durch einen konisch zulaufenden Bleimantel auf ca. 2 cm<sup>2</sup> abgeschirmten Sonde eines Szintillometers (Meßeinheit: Mikroröntgen/Stunde) große Flächen der nördlichen Stollenwand radiometrisch untersucht. Die Meßpunkte lagen auf vertikalen über die ganze Stollenhöhe laufenden Linien in Abständen von je 10 cm übereinander. Solche vertikale Meßlinien wurden in Abständen von 1 dm aufgenommen von m 0 bis m 5, dann bei m 5,3, 5,6, 5,9, 6,0, 6,2, 6,5, 7,0, in Abständen von 50 cm bis m 13,0, wieder im Abstand von 1 dm bis m 14,5, und schließlich um den Dezimeter von m 15,0 bis 16,0, der letzte Meter aus praktischen Gründen auf der S-Wand. Die Gesamtheit dieser Messungen lieferte das Radioaktivitätsbild von Tafel IX Mitte. Unter den genannten Meßbedingungen haben die beobachteten Radioaktivitätswerte nur Relativbedeutung. Einige Einzelmessungen, die unabhängig von dieser systematischen Messung zu verschiedenen Zeitpunkten gemacht wurden, sind auf Tafel IX unten angegeben. Es sind dies nicht-gezielte, d. h. nicht abgeschirmte Messungen mit direkt auf dem Gestein aufliegender Sondenstirn.

Nach der Ausführung einiger Schlitz- und Pickproben für Analysenzwecke wurde auf der Strecke m 0 bis m 19 – die Strecke ab m 19 bis zur Stollenbrust hatte sich, abgesehen von unbedeutenden vererzten Stellen am Stollenende, als erzfrei erwiesen – mittels einer einzigen Sprengung von der linken Stollenwand in der ganzen Höhe eine im Durchschnitt ca. 35 cm dicke Gesteinsmasse abgesprengt, so daß pro Laufmeter durchwegs mindestens 1 Tonne Gestein anfiel. Diese Gesteinsmasse wurde meterweise in Kisten gesammelt und zur Talstation der Werkseilbahn gebracht. Dort wurde jede Meterprobe für sich in einer eigens zu diesem Zwecke gemieteten und aufgestellten Brech- und Siebanlage auf ca. 2 cm gebrochen. Von jeder Probe wurden dann durch wiederholte Kegelung und Teilung Mittelproben von je ca. 10 kg gewonnen, während das restliche Material in Säcke abgefüllt und etikettiert in einem nahegelegenen unbenützten Stollen eingelagert wurde, wo allerdings die Feuchtigkeit die Säcke, Etiketten und Drahtverschnürungen in verhältnismäßig kurzer Zeit derart hergenommen hat, daß eine saubere Trennung dieses Materials heute nicht mehr möglich ist, das aber für eventuelle Aufbereitungsversuche noch zur Verfügung steht. Die Mittelproben wurden zur Untersuchung nach Bern geschickt. Natürlich hat sich beim Lossprengen und Aufschaukeln des Gesteins im Stollen Material einer bestimmten Meterstrecke in einem gewissen Maße mit solchem der angrenzenden Strecken vermischt. Eine wesentliche Verfälschung der Analysenergebnisse ist aber dadurch wohl kaum hervorgerufen worden.

Um sich eine größere Menge vererzten Gesteins aus den am stärksten radioaktiven Partien der Vererzungszone zu verschaffen, wurde zum Schlusse auf der N-Wand noch zwischen m 0 und m 1,5 eine Nische P und zwischen m 13,5 und m 14,5 eine Nische Q ausgesprengt. Die erste wurde 1,40 m tief, die zweite 1,0 m tief und etwas weniger hoch gemacht. Der Anfall aus Nische P betrug ca. 6 Tonnen, derjenige aus Nische Q ca. 3,6 Tonnen. Das Material aus der Nische P wurde in vier ungefähr gleich große Teile von je ca. 1500 kg zerlegt. Durch wiederholte Kegelung erhielt man aus jeder dieser Teilmengen je eine für die Laboruntersuchung bestimmte Mittelprobe von ca. 10 kg. Es sind dies die Proben P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> und P<sub>4</sub>. Genau entsprechend verfuhr man

mit dem Material der Nische Q und erhielt die vier Analysenproben Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub> und Q<sub>4</sub> von je 10 kg. Eine völlig gleichartige Zusammensetzung der vier Einzelproben aus einer Nische ist natürlich nicht zu erwarten, doch darf man annehmen, daß das arithmetische Mittel der Analysenzahlen der Einzelproben jeder Nische angenähert die mittlere Zusammensetzung des gesamten aus der Nische P bzw. der Nische Q stammenden Materials wiedergibt. Die Mittelproben wurden zur Untersuchung nach Bern gesandt, der Rest in dem schon erwähnten Stollen abgelegt. Von diesem Material wurde später jener Teil, der sich noch identifizieren ließ, zur weiteren Untersuchung in eine unbenützte Kaverne in der Umgebung von Burgdorf verbracht, die dem Arbeitsausschuß als Materialdepot dient.

Die Kernbohrungen wurden während den Monaten März bis Juli 1958 ausgeführt. Der Sondierstollen wurde im Juni-Juli 1958 geschlagen und die Entnahme der großen Proben erfolgte im März 1959. Kurz darauf wurde der Eingang des Sondierstollens verschlossen und die Betonierung des Wasserstollens vollendet.

Die Vermutung lag nahe, daß ähnliche Vererzungen wie im Stollen auch an der Oberfläche in derselben Gesteinszone, allerdings in beträchtlicher Höhe, auftreten könnten. Eine erste nur 10 Tage dauernde Untersuchung des Arbeitsausschusses durch O. SACHS (Bericht Sept. 1958), Mitte August 1958, im Gebiet zwischen Dent de Nendaz und Col des Mines (vgl. Tafel IV) lieferte bereits einige Erzfundte im südlichsten Teil des Gebietes: eine 6 m lange, 50 cm mächtige radioaktive Gesteinspartie in sicher anstehendem Gestein SE des Col des Mines, in 2380 m Höhe, einen 400 × 80 cm messenden stark radioaktiven Aufschluß nördlich davon, auf 2100 m, einen hochaktiven Block in der Mulde von Chassoure und eine starke Vererzung von Quarz mit Malachit und Kupferkies von allerdings geringer Aktivität auf der Crête de Mounin. Eine gründlichere Untersuchung ließ weitere Uranindikationen erwarten. Die Arbeiten wurden im September 1958 von B. DE RIVAZ (Berichte vom 13. 10. 1958 und 15. 12. 1958) wieder aufgenommen. Die Suche konzentrierte sich diesmal auf das nördliche Gebiet. In der Mulde von Rosey entdeckte man dabei in der Fara zunächst eine Reihe vererzter radioaktiver Blöcke. Durch Aufwärtsverfolgen der verschiedenen Bachrungen fand man dann in 2200 m Höhe drei Stellen anstehenden vererzten Gesteins. Im Oktober wurde unter Zuziehung eines Bergführers die Suche am steilen, felsigen, steinschlaggefährdeten Nordhang von «Le Fou» fortgesetzt. Dabei fand man eine ganze Reihe von einige Dezimeter bis über 1 m mächtigen, 0,5 bis 3 m langen vererzten Lagen. Vererzte Blöcke entdeckte man auch auf beiden Flanken der Crête de Mounin, was auf ein anstehendes Vorkommen in ungefähr 2400 m Höhe schließen ließ.

In ähnlicher Weise fand B. de Rivaz Vererzungen im Gebiet von «Grand Alou» (vgl. Tafel IV). Ausgangspunkt war der Fund eines eisenschüssigen, stark radioaktiven Blocks beim Pont de Planhouet an der Printse (vgl. Fig. 2). Höher steigend fand man im Bach und über demselben zahlreiche radioaktive Blöcke im Wald von Les Eaux, zwischen 1580 und 1650, und einen kleinen Aufschluß von anscheinend anstehendem radioaktivem Gestein bei 1600 m am rechten Hang. Weitere Blöcke fanden sich zwischen 1800 und 1900 m und von Punkt 2097 bis gegen 2200 m, und schließlich gelangte man zu sicher anstehendem vererztem Gestein am Grat, der die Dent de Nendaz mit dem Mt. Gond verbindet, in ungefähr 2330 bis 2360 m Höhe, mit zum Teil sehr hohen Radioaktivitätswerten. Es handelt sich dabei wie bei «Le Fou» um eine Mehrzahl teils zusammenhängender Lagen in verschiedenen Gesteinsniveaux.

Auf Tafel IV sind die Blockfunde durch Kreise angegeben. Ihre Zahl ist im Gebiet von «Grand Alou», verglichen mit der Zahl der bekannt gewordenen Fundstellen im Anstehenden, verhältnismäßig hoch, namentlich wenn man berücksichtigt, daß das vererzte Gestein keineswegs widerstandsfähiger ist als das Nebengestein. Bei den Funden im Wald von Les Eaux handelt es sich vielleicht zum Teil um Blöcke aus der hier durchziehenden östlichen Fortsetzung der Zone radioaktiven Gesteins.

Im folgenden Jahre, 1959, führte dann die Grande Dixence S.A. unter der Leitung ihres Geologen G. Welti, nachdem sie eine Schürfbewilligung für ein großes, sich vom Val de Réchy im Osten bis zum St. Bernhardpaß im Westen erstreckendes Gebiet erhalten hatte, eine eigene Meßkampagne durch. Sie führte die Untersuchungen in den Gebieten Grand Alou, Le Fou und Col des Mines weiter, um möglichst alle zugänglichen Aufschlüsse zu erfassen und topographisch festzulegen (Grande Dixence S.A., 1959). Das Gebiet von Le Fou erwies sich als besonders ergiebig. Zum Abschluß dieser Untersuchung wurden durch die Grande Dixence S.A. 106 Schlitzproben (Grand Alou 27, Le Fou 68, Col des Mines 11) möglichst senkrecht zur Schieferung entnommen, von denen die kleinste 30 cm, die größte 1,80 m lang war. Die durchschnittliche Länge der vom obern zum untern Rand der vererzten Gesteinslage reichenden Proben betrug 73 cm. Bei der Beurteilung der Analysen von solchen Proben ist zu beachten, daß es nicht möglich war, die Proben auf sorgfältig vorbereiteten

ebenen Felsflächen zu gewinnen, sondern daß sie meistens einfach möglichst gleichmäßig über die ganze Höhe der vererzten Gesteinspartie der unregelmäßigen natürlichen Gesteinsoberfläche entlang mit Meißel und Hammer geschlagen werden mußten. Grundsätzlich wurde allerdings versucht, die Proben 3 cm tief und 10 cm breit zu nehmen.

Alle beim Abschluß der Untersuchung von 1959 bekannten eingemessenen Fundstellen radioaktiven Gesteins sind auf den Tafeln V bis VII angegeben, wobei aber die Ausdehnung der sich z. T. über Abstände von mehreren Metern verfolgbaren Vererzungen mangels detaillierter Unterlagen nicht wiedergegeben werden konnte. In den Figuren 9 bis 11, welche von der Grande Dixence S.A. zur Verfügung gestellten Helikopter-Flugaufnahmen entnommen sind, ist durch Kreise und den Tafeln V bis VII entsprechende Nummern eine große Zahl der im Blickfeld liegenden Fundstellen eingetragen. Im übrigen geben diese Fotos eine gute Vorstellung von den topographischen Verhältnissen der Fundgebiete.

Im Sommer 1961 führte der Arbeitsausschuß im Gebiet zwischen Dent de Nendaz und Mt. Gond eine weitere Untersuchung durch, deren Zweck aber nicht in erster Linie im Aufsuchen weiterer Aufschlüsse von vererztem Gestein bestand, sondern vielmehr der Abklärung der Frage dienen sollte, ob eine detailliertere und über größere Strecken verfolgbare petrographische Gliederung des uranführenden Gesteinskomplexes möglich sei. Daran anschließend wurde dann noch eine kurze ergänzende Untersuchung zur Ausfüllung einer Beobachtungslücke zwischen Col des Mines und Le Fou vorgenommen, welche einen weiteren Aufschluß vererzten Gesteins bei Les Plans lieferte (vgl. Tafeln I und IV), der als Bindeglied zwischen den größeren Aufschlußgruppen erscheint. Es scheint durchaus möglich, daß eine genaue Untersuchung des steilen W-Hanges von Le Fou noch weitere Fundstellen vererzten Gesteins liefern würde.

Eine große Zahl der gesammelten Gesteinsproben wurde nach physikalischen und chemischen Methoden auf ihren Gehalt an Uran untersucht. Für bestimmte Probenserien wurde auch der Gehalt an andern metallischen Elementen ermittelt. Die angewandten Methoden, die ausgeführten Untersuchungen und ihre Ergebnisse sind im Kapitel V eingehend dargestellt.

Sämtliche von der Grande Dixence S.A. entnommenen Schlitzproben von Le Fou und Col des Mines wurden in ihrem Auftrag von der Somiren S.p.A., Mailand, radiometrisch untersucht (s. S. 71).

Eine Dünnschliffuntersuchung besorgte im Auftrag des Arbeitsausschusses A. W. GÜNTHERT (1959). Die erzmikroskopische Untersuchung erfolgte im Labor des Lehrstuhles für Technische Petrographie durch F. de Quervain und V. Köppel. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bilden den Gegenstand von Kapitel IV.

In verschiedenen kürzeren Publikationen, meist in Verbindung mit allgemeinen Darstellungen des Standes der Uranforschung in der Schweiz, wurde auch über die Ergebnisse der Untersuchungen im Gebiet von Iséables von Zeit zu Zeit berichtet (vgl. das Literaturverzeichnis).

Die Uranfundstellen sind eingetragen in der «Übersichtskarte der Uran- und Thorium-Mineralisationen der Westalpen» 1:500000 (HÜGI et al. 1962), auf Blatt Lyon der «Carte des gîtes minéraux de la France 1:320000» (1963) und auf Blatt 3 der «Geotechnischen Karte der Schweiz 1:200000» (1965).

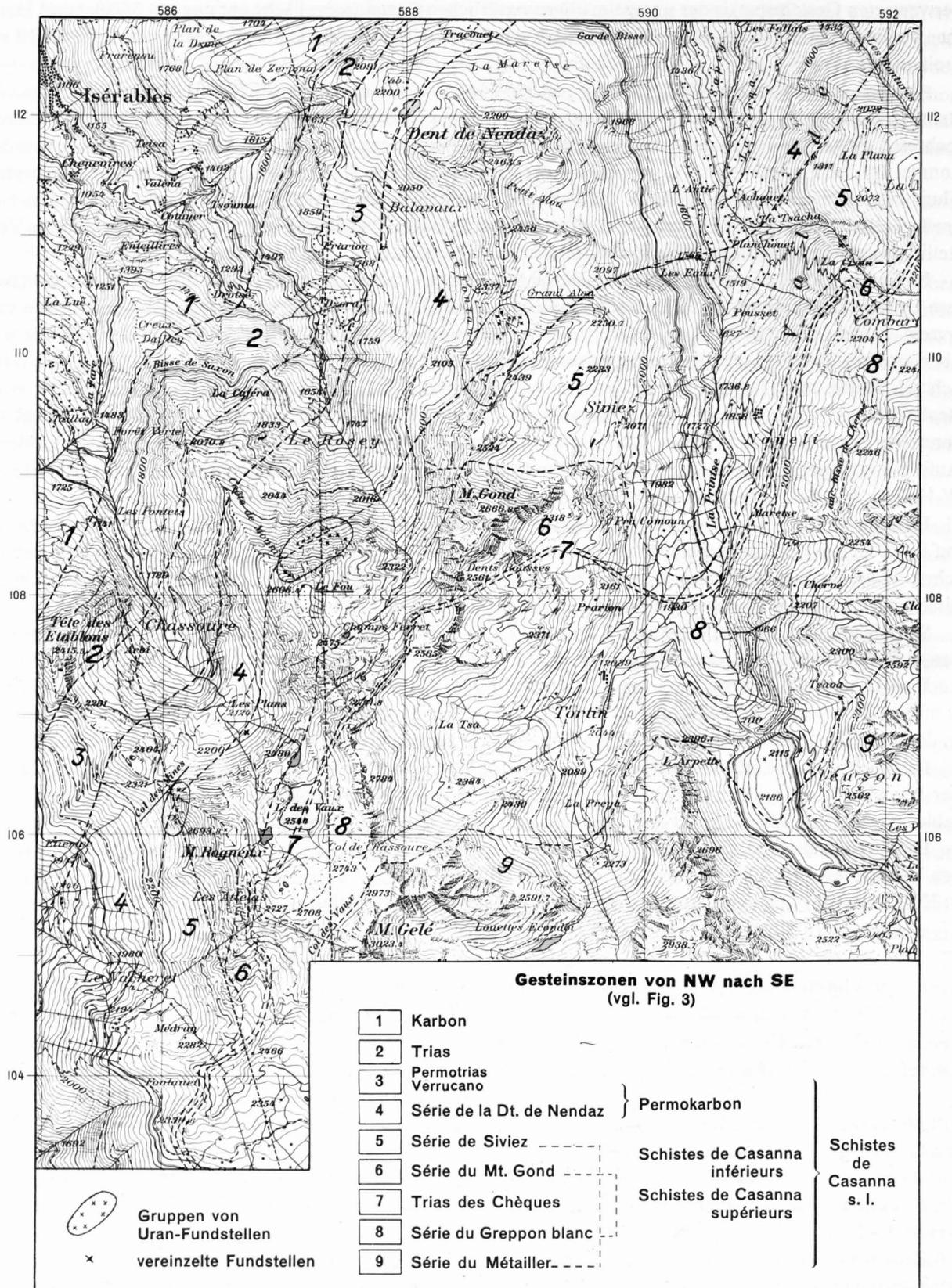


Fig. 2. Geologische Gliederung im Gebiet südlich von Iséables. 1: 50000. (Topographie reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 18. 6. 65)

## Kapitel II

### Die geologischen Verhältnisse

(vgl. Fig. 1–3, Tafel IV)

Figur 1 zeigt die geologischen Elemente im Gebiet zwischen Martigny und Simplon: N und W der Rhône das Mont-Blanc-, das Aiguilles-Rouges- und das Aarmassiv mit der autochthonen Sedimenthülle sowie die helvetischen Decken mit ihren Wurzelzonen. Gegen diese Elemente stößt von S und SE her die Masse der penninischen Decken mit kristallinen Kernen und sie umhüllenden und trennenden, mehr oder weniger metamorphen Sedimentkomplexen. Die größte Fläche davon wird von der Bernhard-Decke eingenommen. Über den penninischen Massen liegt die Dent-Blanche-Decke, die zum Unterostalpin gerechnet wird. Die bogenförmige Stirn der Bernhard-Decke folgt im W dem Val Ferret, quert bei Sembrancher das Gebirge zwischen Val de Bagnes und Rhonetal und folgt dann diesem, zwischen Riddes und Sierre nördlich über die Rhôneebene hinausgreifend, bis gegen Visp.

In den Figuren 1 und 2 sind die beobachteten Uran-Fundstellen eingetragen, wobei die einzelnen Zeichen vielfach ganze Gruppen oder Zonen von Vererzungen vertreten. Man erkennt, daß alle bekannten Fundstellen S der Rhone im Kristallin der Bernhard-Decke, z. T. auch in der Permotrias liegen (z. B. im Matteredtal, in Fig. 1 in der Signatur für die mesozoische Hülle enthalten). In den in der Dent-Blanche-Decke verlaufenden Teilen des Stollensystems der Grande-Dixence-Werke wurden, soweit Radioaktivitätsmessungen ausgeführt werden konnten, keine Uranvererzungen beobachtet.

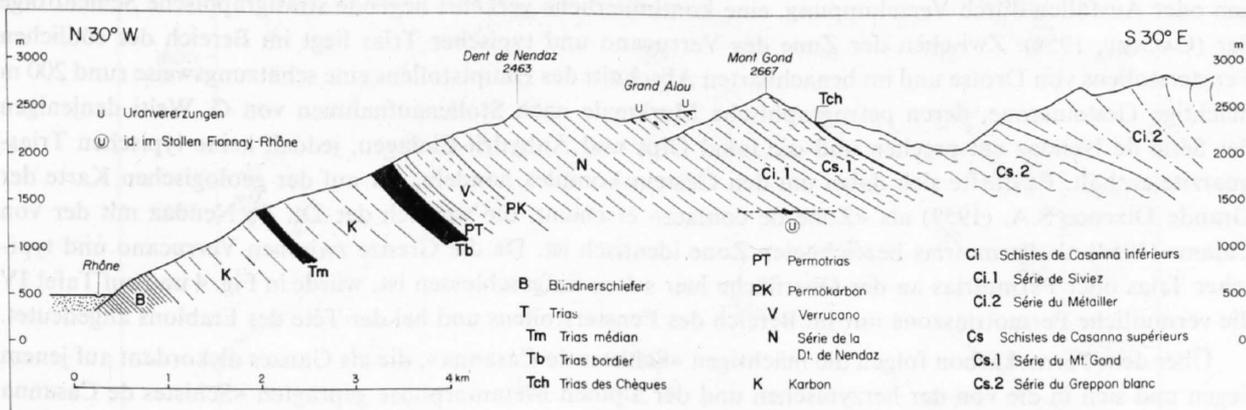


Fig. 3. Geologisches Profil durch Dent de Nendaz und Mont Gond, mit den Uranvererzungen bei Grand Alou und im Stollen Fionnay – Rhône.

Aus dem Profil Figur 3 durch die Bernhard-Decke im Gebiet von Iséables und südlich davon sind die verschiedenen Elemente zu ersehen, aus denen sich die Decke in diesem Abschnitt aufbaut. Obwohl die Uranvererzungen von Iséables nur einen kleinen Ausschnitt aus dem ganzen Profil der Bernhard-Decke beschlagen, geben wir hier eine Aufstellung und summarische Charakterisierung aller im Profil von Figur 3 vorkommenden Gesteinszonen (nach SCHAER, 1959):

- Schistes de Casanna inférieurs (Karbon oder älter, polymetamorph): Chloritserizitgneise, viel Grüngestein (Prasinit u. a.).
- Série de Siviez: Gneise, Prasinit, Gabbro etc., lokal saure Eruptiva.
- Série du Métailler: Gneise, Prasinit, Gabbro, Amphibolit, Kissenlava etc. – Diese Serie ruht diskordant auf der Série du Greppon blanc.
- Schistes de Casanna supérieurs (Karbon bis unterstes Perm, monometamorph): vorwiegend quarzitisches Serizitquarzit usw., Serizitschiefer (z. T. mit Chloritoid, Stilpnomelan). – Keine Prasinite.
- Série du Mont Gond: grobdetritisch.

Série du Greppon blanc: detritisch, alle Übergänge von Quarzit zu Serizitalbitgneis; stratigraphisch an der Basis, topographisch zu oberst: Quarzporphyr (Tuffe).

Karbon: Quarzit, quarzitreicher Schiefer, Konglomerate, Tonschiefer, Kohlschiefer.

Permokarbon: liegt stratigraphisch diskordant auf den Schistes de Casanna inférieurs.

Série de la Dt. de Nendaz (vorwiegend Karbon): Chloritserizitschiefer und Gneise, teilweise konglomeratisch.

Verrucano (Perm): Serizitschiefer und Serizitquarzit mit dolomitischen Kalklinsen und Geröllen.

Permotrias: meist grüne Serizitquarzite, schiefrig oder massig.

Trias: Quarzit, Gips, Anhydrit, dolomitischer Kalk, Dolomit, Rauhwacke.

Bündnerschiefer: Tonschiefer, Kalkphyllite etc.

Von NW nach SE fortschreitend folgen sich zunächst eine Bündnerschieferzone, zwei durch eine Triaszone, die sog. «mittlere Trias» (Trias médian) getrennte Karbonzonen und eine «innere Triaszone» (Trias bordier). Der darauffolgende Deckenkern läßt sich in mehrere Zonen gliedern, die sich durch den petrographischen Gesamthabitus, d. h. durch das Vorherrschen oder Fehlen bestimmter Gesteinstypen, unterscheiden. Die tektonisch-stratigraphische Gliederung des Bernhardkristallins als Ganzes ist mangels genügender Detailuntersuchungen noch nicht in jeder Beziehung geklärt. Für das Gebiet S und E von Iséables bis zum Val d'Hérémence liegen an jüngeren Publikationen jene von J.-M. VALLET (1950), J.-J. CALAME (1954) und J.-P. SCHAER (1959) vor, deren Einteilung des Bernhardkristallins unserer Darstellung zugrunde liegt.

Über der innern Trias (Trias bordier) liegt zunächst ein wechselnd metamorpher Komplex, der als permokarbonisch betrachtet wird und sich in die wahrscheinlich permische Zone des «Verrucano» und die «Série de la Dt. de Nendaz» (zuweilen zu «Série de Nendaz» verkürzt) von vorwiegend karbonischem Alter aufteilen läßt. Die Folge Série de la Dt. de Nendaz – Verrucano – Trias stellt, abgesehen von möglichen Verdoppelungen oder Ausfällen durch Verschuppung, eine kontinuierliche verkehrt liegende stratigraphische Schichtfolge dar (CALAME, 1954). Zwischen der Zone des Verrucano und typischer Trias liegt im Bereich des südlichen Fensterstollens von Drotse und im benachbarten Abschnitt des Hauptstollens eine schätzungsweise rund 200 m mächtige Gesteinszone, deren petrographische Merkmale nach Stollenaufnahmen von G. Welti denjenigen der Série de Nendaz entsprechen und die lokal Gips und Anhydrit-Einlagen, jedoch keine typischen Triasquarzite enthält. Es dürfte sich dabei um den Gesteinskomplex handeln, der auf der geologischen Karte der Grande Dixence S.A. (1959) als «Zone de contact» erscheint, die westlich der Dt. de Nendaz mit der von Calame (1954) als Permotrias bezeichneten Zone identisch ist. Da die Grenze zwischen Verrucano und typischer Trias oder Permotrias an der Oberfläche hier selten aufgeschlossen ist, wurde in Fig. 4 und auf Tafel IV die vermutliche Permotriaszone nur im Bereich des Fensterstollens und bei der Tête des Etablons angedeutet.

Über dem Permokarbon folgen die mächtigen «Schistes de Casanna», die als Ganzes diskordant auf jenem liegen und sich in die von der herzynischen und der alpinen Metamorphose geprägten «Schistes de Casanna inférieurs» mit der «Série de Siviez» und der «Série du Métailler» und die dazwischen liegenden, nur von der alpinen Metamorphose erfaßten «Schistes de Casanna supérieurs» mit der «Série du Mt. Gond» und der «Série du Greppon blanc» gliedern, die ihrerseits noch eine unregelmäßig vorhandene Triaszone, die sog. «Trias des Chèques» (nach einem weiter östlich liegenden Aufschluß derselben) einschließen. Ob es sich bei dieser sehr stark tektonisierten Zone, die gewöhnlich als «Synclinal des Chèques» bezeichnet wird, um den Kern einer nach SE tauchenden, in der Tiefe geschlossenen Synklinale oder um den Kern einer «verkehrten Syklinale» (im Sinne E. Argands) mit erodiertem Scheitel handelt, scheint noch nicht endgültig entschieden zu sein. Nach dem letzten Autor, der sich zu diesem Punkt äußert (SCHAER, 1959), hätte man es hier mit dem Kern einer verkehrt liegenden Synklinalstruktur zu tun, die längs einer N des Mt. Gond verlaufenden Linie auf einer verkehrt liegenden einfachen Serie aufgeschoben ist. Die Grenze zwischen der «Série de Siviez» und der «Série du Mt. Gond» ist auf dem die Dt. de Nendaz und den Mt. Gond verbindenden Gratrücken durch eine 1–2 m breite Zone von quarzitischen Myloniten gekennzeichnet, die mit rund 60° in Richtung SE bis ESE eintaucht (WIENER, 1961).

Im ganzen Gebiet fehlen irgendwelche Leithorizonte, und irgendwie auffallende charakteristische Lagen lassen sich immer nur über kurze Strecken verfolgen. Die im Sommer 1961 durchgeführte Untersuchung im Gebiet Dt. de Nendaz–Mt. Gond (WIENER, 1961) hat durch minutiöse lithologische Beobachtungen und zahlreiche Messungen interessante Feststellungen über Klein- und Mikrofaltung, Schichtung, Schieferung und

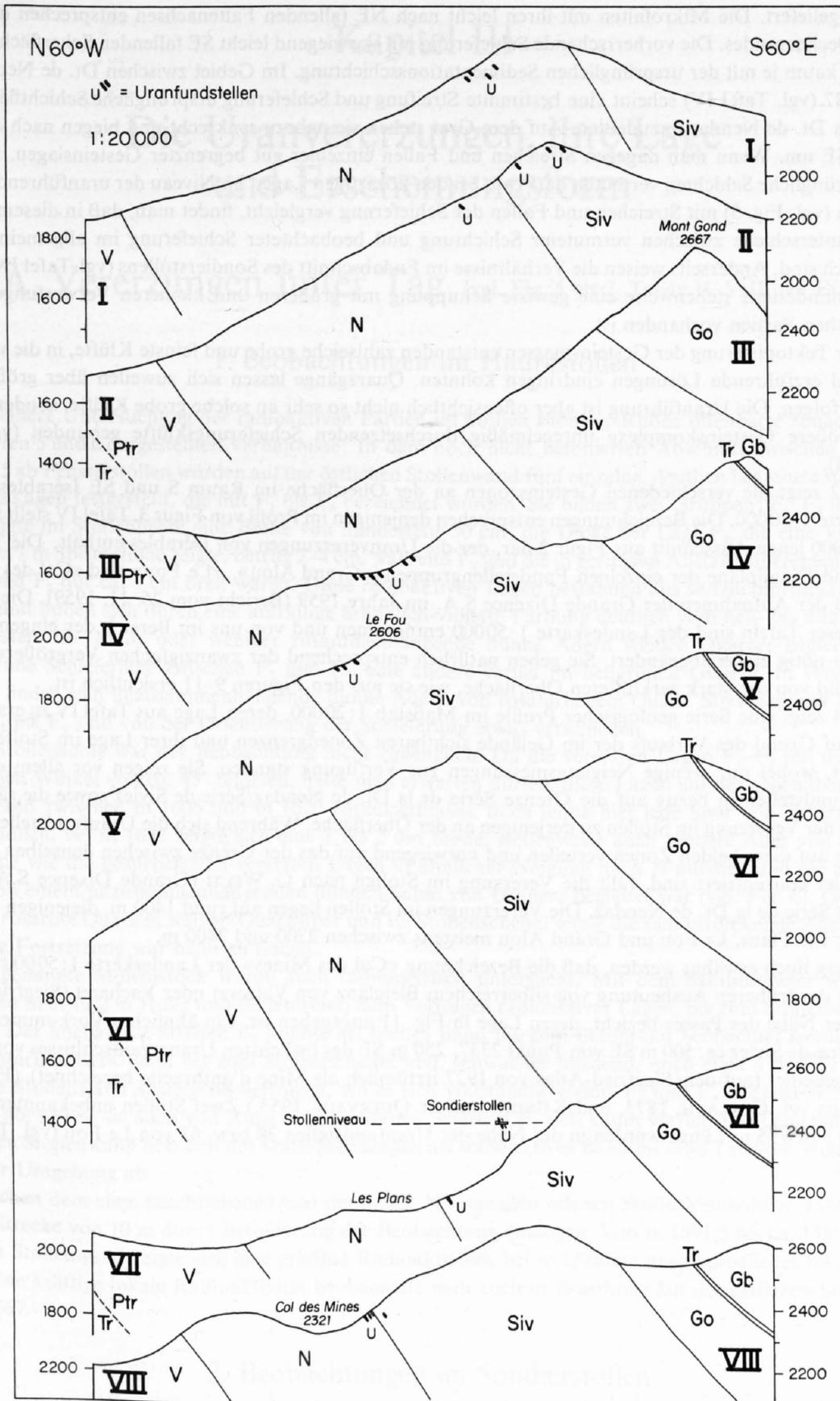


Fig. 4. Geologische Profile durch die Uranvererzungen von Isérables 1:20000. Für die Lage der Profile vgl. Tafel IV.  
 Tr = Trias, Ptr = Permotrias, V = Verrucano, N = Série de Nendaz, Siv = Série de Siviez, Go = Série du Mont Gond, Gb = Série du Greppon blanc.

Klüftung geliefert. Die Mikrofallen mit ihren leicht nach NE fallenden Faltenachsen entsprechen dem Verlauf des Deckenrandes. Die vorherrschende Schieferung mit vorwiegend leicht SE fallenden Scherflächen deckt sich wohl kaum je mit der ursprünglichen Sedimentationsschichtung. Im Gebiet zwischen Dt. de Nendaz und Punkt 2337 (vgl. Tafel IV) scheint eine bestimmte Streifung und Schieferung ursprüngliche Schichtflächen der Série de la Dt. de Nendaz anzudeuten. Auf dem Grat stehen sie nahezu senkrecht und biegen nach der Tiefe zu nach SE um. Wenn man dagegen Streichen und Fallen einzelner gut begrenzter Gesteinslagen, in denen man ursprüngliche Schichten vermuten darf (wie bei den flözartigen Lagen im Niveau der uranföhrnden Zone im Stollen (vgl. Fig. 5) mit Streichen und Fallen der Schieferung vergleicht, findet man, daß in diesem Bereich die Lageunterschiede zwischen vermuteter Schichtung und beobachteter Schieferung im allgemeinen nicht beträchtlich sind. Andererseits weisen die Verhältnisse im Endabschnitt des Sondierstollens (vgl. Tafel IX) darauf hin, daß mindestens stellenweise eine gewisse Schuppung mit größeren und kleineren Verwerfungen sowie mylonitischen Partien vorhanden ist.

Bei der Tektonisierung der Gesteinsmassen entstanden zahlreiche grobe und feinste Klüfte, in die vor allem Quarz und erzführende Lösungen eindringen konnten. Quarzgänge lassen sich zuweilen über größere Abstände verfolgen. Die Uranführung ist aber offensichtlich nicht so sehr an solche grobe Klüfte, sondern an die feinen, größere Gesteinskomplexe unregelmäßig durchsetzenden Schieferungsklüfte gebunden (vgl. dazu Kapitel VI).

Figur 2 zeigt die verschiedenen Gesteinszonen an der Oberfläche im Raum S und SE Isérables auf der Landeskarte 1:50000. Die Bezeichnungen entsprechen denjenigen im Profil von Figur 3. Tafel IV stellt im Maßstab 1:10000 jenen Ausschnitt aus Figur 2 dar, der die Uranvererzungen von Isérables enthält. Die Tafeln V bis VII sind Detailpläne der einzelnen Fundstellengruppen («Grand Alou», «Le Fou» und «Col des Mines») auf Grund der Aufnahmen der Grande Dixence S.A. im Jahre 1959 (Bericht vom 25. 11. 1959). Die Höhenkurven dieser Tafeln sind der Landeskarte 1:50000 entnommen und von uns im Bereich der eingemessenen Punkte wo nötig etwas abgeändert. Sie geben natürlich entsprechend der zwanzigfachen Vergrößerung kein genaues Bild von der stark zerklüfteten Oberfläche, wie sie aus den Figuren 9–11 ersichtlich ist.

Figur 4 zeigt eine Serie geologischer Profile im Maßstab 1:20000, deren Lage aus Tafel IV zu ersehen ist. Sie sind auf Grund des Verlaufs der im Gelände sichtbaren Zonengrenzen und ihrer Lage im Stollenniveau konstruiert, wobei nur wenige Neigungsmessungen zur Verfügung standen. Sie zeigen vor allem die Lage der Uranfundstellen in bezug auf die Grenze Série de la Dt. de Nendaz/Série de Siviez sowie die räumliche Beziehung der Vererzung im Stollen zu derjenigen an der Oberfläche. Während sich die Uranfundstellen an der Oberfläche auf diese beiden Zonen verteilen und vorwiegend auf das der Grenze zwischen denselben benachbarte Gebiet konzentriert sind, fällt die Vererzung im Stollen nach G. WELTI (Grande Dixence S.A., 1959) ganz in die Série de la Dt. de Nendaz. Die Vererzungen im Stollen liegen auf rund 1400 m, diejenigen von Col des Mines, Les Plans, Le Fou und Grand Alou meistens zwischen 2200 und 2400 m.

Hier mag noch erwähnt werden, daß die Bezeichnung «Col des Mines» der Landeskarte 1:50000 sich auf die Stollen der früheren Ausbeutung von silberreichem Bleiglanz von Vatzeret oder Vacheret (Siegfried-Atlas 1927) in der Nähe des Passes bezieht, deren Lage in Fig. 11 angegeben ist. Ein ähnliches Vorkommen wurde auf der Alpe de Siviez ca. 500 m SE von Punkt 2337, 250 m SE des östlichsten Uranerzaufschlusses von Grand Alou, ausgebeutet (auf dem Siegfried-Atlas von 1927 irrtümlich als Mine d'anthracite bezeichnet). (Für diese Vorkommen vgl. GERLACH, 1873, und KÜNDIG und DE QUERVAIN, 1953.) Zwei Stollen unbekannter Bedeutung von 15 bzw. 5 m Länge wurden in der Nähe der Uranfundstellen 36 bzw. 63 von Le Fou (vgl. Tafel VI) festgestellt.

## Kapitel III

# Die Uranvererzungen, ihre Lage und Erscheinungsform

### A. Vererzungen unter Tag (vgl. Fig. 5 bis 7, Tafeln II, VIII und IX)

#### 1. Beobachtungen im Hauptstollen

Die nähere Untersuchung der radioaktiven Partien im Stollen Fionnay-Rhône offenbarte zunächst die in den Figuren 5 und 6 dargestellten Verhältnisse: In dem noch nicht betonierten Abschnitt zwischen m 1601,5 bis 1638,5 ab Fensterstollen wurden auf der östlichen Stollenwand fünf einzelne, deutlich begrenzte stark aktive flözartige Lagen festgestellt, die mit  $F_1$  bis  $F_5$  bezeichnet wurden. Sie bildeten zwei Gruppen:  $F_1$ – $F_3$  und  $F_4$ – $F_5$ .

$F_1$  zeigte im Stollenprofil eine Breite von mindestens 50 cm; die Dicke der Lage  $F_2$ , die eine Verwerfung von gegen 1 m Sprunghöhe zeigte, betrug 2–4 cm, während  $F_3$  und die in geringem Abstand übereinanderliegenden  $F_4$  und  $F_5$  nur ca. 1 cm breit waren. Diese radioaktiven Lagen bestanden aus serizitchloritquarzitischem Gestein und hoben sich durch eine auffällige bräunlich-violette Färbung deutlich vom hell- bis dunkelgrünen Nebengestein ab. Mehr oder weniger zusammenhängende dünne Adern weißen Quarzes begleiteten eine dunkelgrüne Schieferlage zwischen  $F_1$  und  $F_2$ , eine andere verlief im hellgrünen Gestein. In verschiedenen Niveaux finden sich unzusammenhängende dünne Adern von rosafarbenem Quarz. Streichen und Fallen der Lagen  $F_1$  bis  $F_5$  sind von der Orientierung der Schieferung etwas verschieden.

Die Stollensohle war der Beobachtung nicht zugänglich. Da die vererzten Lagen  $F_1$ – $F_3$  mit der Stollenachse einen Winkel von ca.  $45^\circ$  bildeten, hätte man erwarten dürfen, diese Lagen auf der gegenüberliegenden Stollenwand zwischen m 1606 und m 1620 zurückzufinden, doch fehlte hier jede Spur von Vererzung. Erst weiter südlich, bei m 1633 zeigte sich eine 1 bis 2 dm breite, stellenweise auch breitere Ader von rosarotem Quarz, die wie die besprochenen vererzten Lagen in ähnlicher Neigung nach N aufstieg und die auf beiden Seiten von einem unzusammenhängenden dünnen Saum von Uranerz begleitet war (vgl. Fig. 6). Gegen oben ging der rosarote Quarz in weißen Quarz über und im Stollenscheitel setzte die sich verdickende Ader plötzlich aus. Eine Fortsetzung war nicht zu finden.

Das genannte Stollenstück wurde auch radiometrisch untersucht. Mit dem Szintillometer wurden die Wände bis in etwa 2 m Höhe und stellenweise, zum Verfolgen radioaktiver Lagen, bis zum Stollenscheitel abgetastet. Der hochaktive Streifen  $F_1$  konnte als breites Band bis zum Betonrand beobachtet werden.  $F_2$  ließ sich als stark aktives Band bis zum Stollenscheitel und, schwächer werdend, noch etwa 4 m weit gegen die westliche Stollenwand absteigend verfolgen, wo es sich vollständig verlor.  $F_3$  und  $F_4$  bildeten sich ebenfalls deutlich ab, soweit sie auch von Auge sichtbar waren, während  $F_5$  sich kaum verriet. Die Quarzader auf der westlichen Stollenwand hob sich mit Unterbrechungen als stark aktives Band bis etwa 1 m vom Stollenscheitel von ihrer Umgebung ab.

Zwischen dem eben beschriebenen und dem nach N folgenden offenen Stollenabschnitt m 1584,6–1591,5 ist eine Strecke von 10 m durch Betonierung der Beobachtung entzogen. Von m 1591,5 bis ca. 1585,5 auf der östlichen Stollenwand zeigte sich eine erhöhte Radioaktivität, bei m 1586 ein ausgesprochenes lokales Maximum. Eine kräftige lokale Radioaktivität beobachtete man auch in Brusthöhe auf der östlichen Stollenwand bei m 1567.

#### 2. Beobachtungen im Sondierstollen

Im untersten Teil von Tafel IX sind die Wände des Stollens, mit einer Lücke zwischen m 20 und m 26, seitlich auswärts in die Horizontale geklappt, dargestellt. Das Gestein ist, wie im benachbarten Abschnitt des

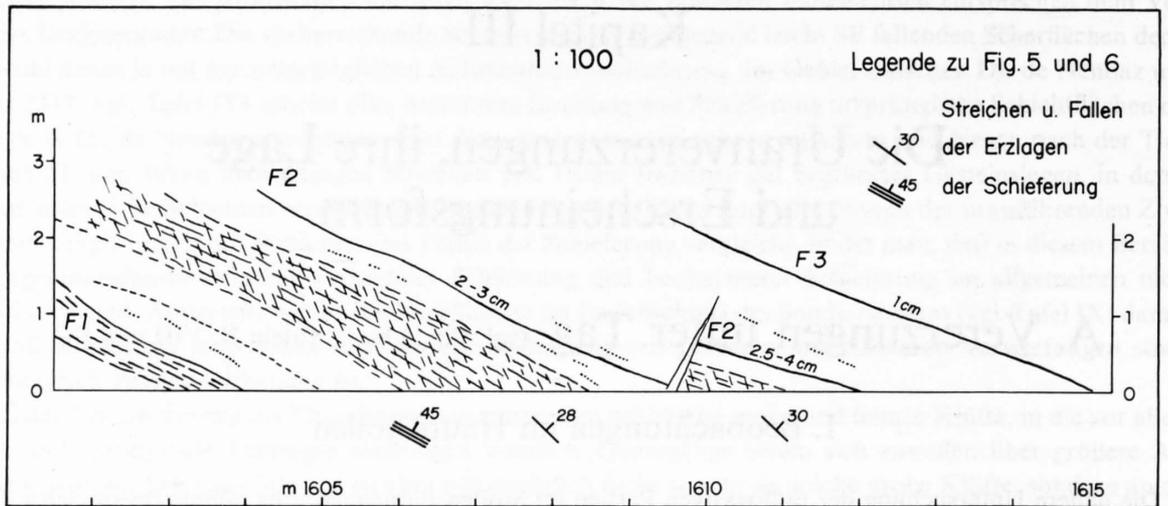


Fig. 5. Vererzung in der E-Wand des Stollens Fionnay-Rhône zwischen m 1601,5 und m 1615 ab Fensterstollen.  
(NB. Die Fallzeichen sind wie in Fig. 6 in Bezug auf die Stollenachse orientiert).

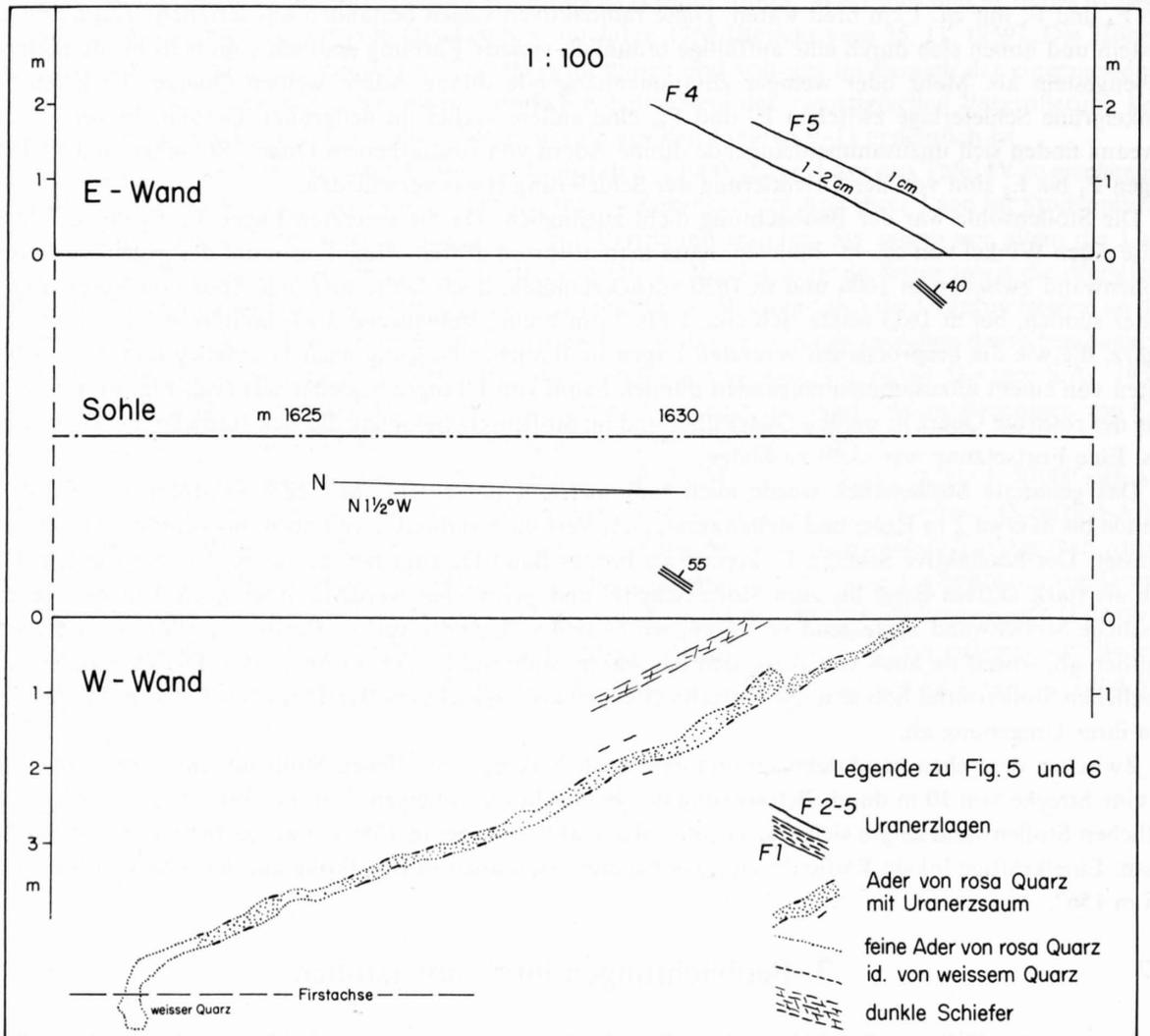


Fig. 6. Vererzung im Stollen Fionnay-Rhône zwischen m 1622 und m 1635.

Hauptstollens, ein grünlicher Serizit-Chlorit-Schiefer bis -Gneis, stellenweise mit auffallenden dunkleren grünen Zonen. Streichen und Fallen der deutlichen Schieferung bleiben ziemlich konstant, das Streichen im Mittel etwas nach E gegen die Richtung senkrecht zur Stollenachse gedreht, das Fallen zwischen 42 und 57° SE. Wo die dunkelgrünen Partien gut begrenzt sind, folgen sie der Schieferung. Lokal sind leicht schief zur Schieferung verlaufende scharfe Gleitflächen mit Kluftlettenmaterial zu erkennen (vgl. Tafel II b).

Besonders in die Augen fallend sind unregelmäßig begrenzte Flächen und Züge von braunvioletter Farbe, denen ein höherer Urangehalt entspricht, wobei die Färbung wesentlich durch braunen Chlorit bedingt ist (vgl. S. 34 unten). Auch sie lassen als Ganzes deutlich eine mit der Schieferung gleichsinnige Orientierung erkennen. Im einzelnen kann aber die Begrenzung äußerst unregelmäßig sein, und von der einen zur andern Stollenwand, auf nur 1,20 m Abstand, wechselt das Bild fast vollständig. Eine Ausnahme macht einzig eine schmale hochaktive Zone um m 18, die flözartig von der einen Stollenwand über den Stollenscheitel zur andern Wand läuft, die aber radiometrisch nicht detailliert aufgenommen wurde. Besonders deutlich ist der Wechsel der Gesteinsbeschaffenheit auf den gegenüberliegenden Wänden am Stollende, wo der Abstand 4 m beträgt: auf der linken Wand zwei verschiedene, einen spitzen Winkel bildende Liniensysteme, wovon das eine der Schieferung im übrigen Stollenteil parallele «Bänke» von mehreren Dezimetern Dicke begrenzt, während sich der Verlauf des andern, der durch einen Wechsel von dünnen Streifen eines weißlichgrünen und eines bläulichgrünen Gesteins hervortritt, sich der Stellung einer steilen Verwerfung nahe der Stollenbrust nähert. Eine dünne Vererzungslinie folgt einer Fläche der gröberen Schieferung. Auf der gegenüberliegenden Wand zeigt sich dagegen ein steiles schmales Quarzband, das in 3 m Höhe unregelmäßig gefaltet ist und dort stellenweise einen radioaktiven Erzsaum aufweist.

Quarz bildet meist unregelmäßige, kurze, der Schieferung parallele Adern und Nester. Die auffallendsten sind im Stollenbild von Tafel IX unten angegeben. Rosaquarz wurde am Stollenanfang beobachtet.

Das ganze Stollenbild weist jedenfalls auf eine unregelmäßige Verteilung der radioaktiven Substanz, mit einer höchsten Konzentration am Stollenanfang und einer zweiten Partie relativ hoher Konzentration um m 14-15.

Die gezielten Radioaktivitätsmessungen mit abgeschirmter Sonde zwischen m 0 und m 16 lieferten das in Tafel IX wiedergegebene Radioaktivitätsbild. Die von Auge erkennbaren braunviolett getönten Partien erscheinen hier als stärker radioaktive Flächen (vgl. Tafel II).

Man erkennt ein ausgesprochenes Maximum im ersten Meter des Untersuchungsstollens mit rasch abnehmender Intensität stolleneinwärts. Ein zweites, ebenso unregelmäßig begrenztes Maximum liegt zwischen m 13,5 und m 16. An diesen beiden Stellen hoher Radioaktivität wurden die im 1. Kapitel erwähnten Nischen P und Q geschlagen, die an der Stirnwand, 1,4 m von der Stollenwand bei P, 1 m bei Q, ein ähnliches Radioaktivitätsbild lieferten wie an der Eintrittsfläche.

Angesichts der Tatsache, daß die Verteilung der radioaktiven Substanz im ganzen sehr unregelmäßig und die Gesteinsmasse stark verschiefert ist, ist nicht zu erwarten, daß die vererzten Lagen  $F_1$ - $F_5$  mit bestimmten Partien im Sondierstollen in Beziehung gesetzt werden können. Während die auffallende dunkelgrüne Gesteinspartie von m 11 des Sondierstollens der zwischen m 1601,5 und m 1611 im Hauptstollen beobachteten Partie gleicher Beschaffenheit entsprechen dürfte, ist zwischen den vererzten Gesteinspartien von Haupt- und Sondierstollen keine Korrelation möglich. Was sich an einer Stelle dem Auge als gut begrenzte Lage darstellt, kann offenbar in geringer Entfernung in eine nestartige oder diffuse Vererzung übergehen, je nach der Beschaffenheit des Gesteins. Obwohl im Sondierstollen, abgesehen von der Vererzung bei m 18, flözartige Lagen nicht erkannt wurden, sind im ausgebrochenen Gestein Bruchstücke von harten Lagen sehr feinkörnigen Materials mit der typischen braunvioletten Färbung und mit hoher Radioaktivität häufig.

### 3. Ergebnisse der Sondierbohrungen

Die Lage der Sondierbohrungen und das Ergebnis der Radioaktivitätsmessung an den Bohrkernen sind in Tafel VIII dargestellt. Figur 7 zeigt in größerem Maßstab Beispiele von Radioaktivitätskurven aus ausgewählten Kernabschnitten einzelner Bohrungen. Beim Betrachten dieser Kurven ist zu berücksichtigen, daß die Messungen nicht kontinuierlich, sondern in Abständen von meistens 20 cm vorgenommen wurden, ferner, daß durch Kernverluste in stark schiefrigem Gestein vielleicht einzelne vererzte Partien im Kurvenbild nicht sichtbar werden. Die Breite der Radioaktivitätsgipfel ist mindestens teilweise durch die Zufälligkeit der Lage der

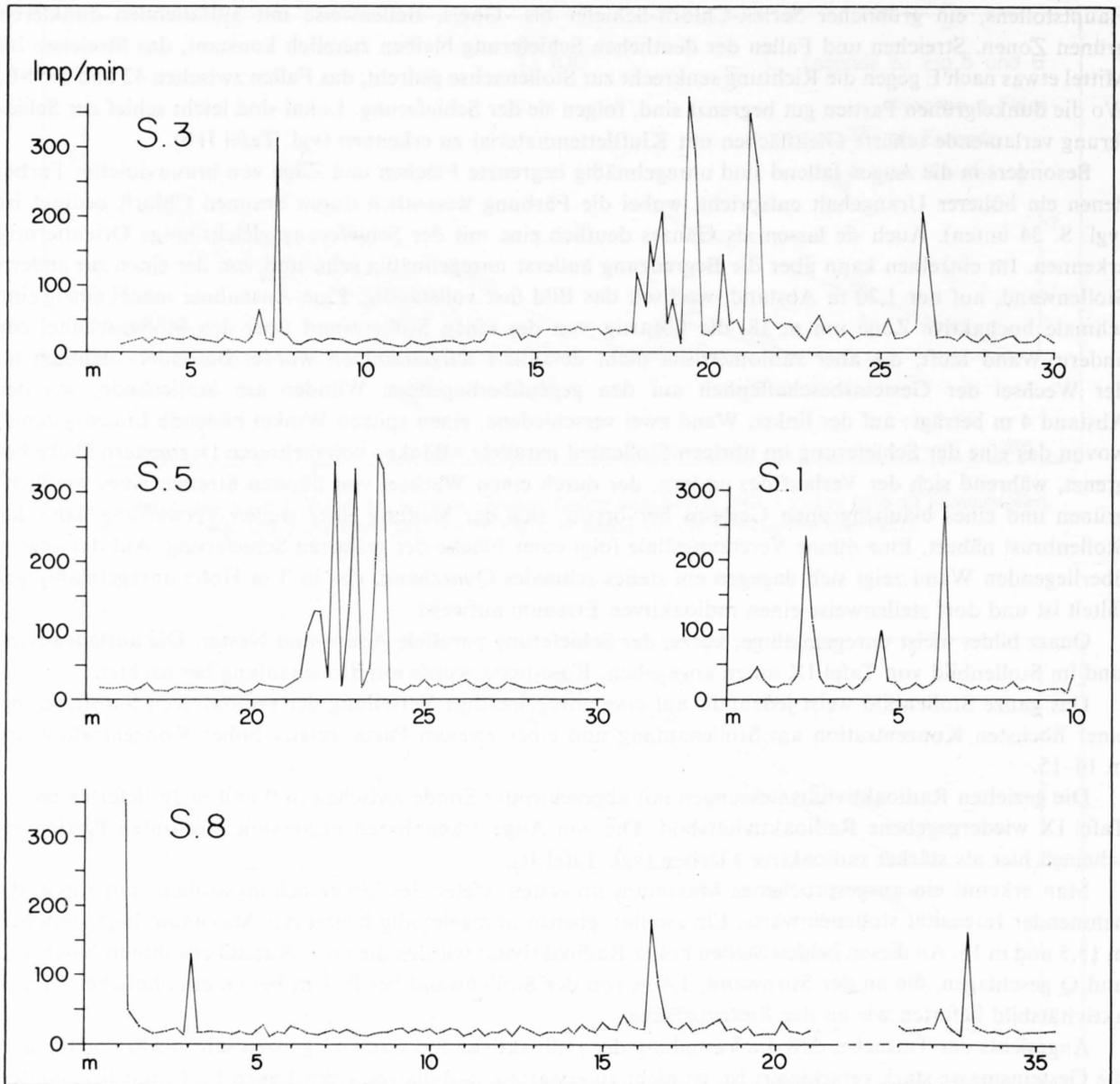


Fig. 7. Radioaktivitätskurven von Bohrkernen der Sondierbohrungen S. 1, S. 3, S. 5 und S. 8.

Meßpunkte bedingt. Nur eine Bohrlochmessung mit geeigneter Ausrüstung hätte wirklich zuverlässige Ergebnisse in der Form von Gamma-Logs liefern können. Immerhin zeigen diese Kurven doch das charakteristische Bild der Verteilung der radioaktiven Substanz, wie wir es schon an den Stollenwänden beobachtet hatten: lokale, schmale Zonen erhöhter Radioaktivität, sowie Zonen von mehreren Metern Mächtigkeit mit allgemein erhöhter Radioaktivität und lokalen mehr oder weniger breiten Radioaktivitätsgipfeln. Deutlicher als im Radioaktivitätsbild von Tafel IX kommt hier der oft sprunghafte Wechsel von hohem und minimalem Uran-gehalt im Meßprofil zum Ausdruck, der bei der Messung am Fels übersehen wird.

Die Ergebnisse der detaillierten Radioaktivitätskurven sind in Tafel VIII in viel kleinerem Maßstab durch Angabe der Abschnitte erhöhter Radioaktivität dargestellt, jedoch ohne Unterscheidung der Intensität. Gleichzeitig wurden auch die Radioaktivitätsbeobachtungen an den Stollenwänden angedeutet, um eine Übersicht über die Begrenzung der Uranführung zu erhalten. Zu diesem Zwecke wurden ferner im Plan die Beobachtungen in Schrägbohrungen parallel der allgemeinen Schieferung in die Zeichnungsebene projiziert.

Angesichts der unregelmäßigen Vererzung ist es nicht verwunderlich, daß eine sichere Korrelation selbst unter benachbarten Bohrprofilen nicht möglich ist. Auch ist die Begrenzung der uranführenden Gesteinszone

offenbar sehr unregelmäßig und unscharf. Von isolierten kleinen Vererzungen abgesehen, mag die Breite der Zone in der Horizontalebene ca. 40 m, senkrecht zur Schieferung rund 25 m betragen.

Nach G. Welti liegt die Grenze zwischen der Série de la Dt. de Nendaz und der Série de Siviez bei ca. m 2100 des Stollens Fionnay-Rhône und somit die ganze Vererzung im Stollenniveau im obersten Teil der erstgenannten Serie.

Es wurde versucht, durch eine sorgfältige lithologische Beschreibung der Bohrkerne nach Farbe, Quarzgehalt, Vorherrschen von Chlorit und Serizit etc. eine lithologische Korrelierung der Bohrungen zu erzielen. Es hat sich aber gezeigt, daß die makroskopische Beschreibung zu einer eindeutigen Abgrenzung bestimmter lithologischer Komplexe nicht genügt. (Vgl. T. LABHART, 1962.)

## B. Vererzungen über Tag (vgl. Fig. 8–11, Tafeln I, III–VII)

Tafel IV gibt eine Übersicht über sämtliche Aufschlüsse von uranvererztem Gestein im Gebiet SE und S Isérables. Um die Häufigkeit radioaktiver Gesteinsblöcke zu illustrieren, wurden durch Kreise auch die im Kartengebiet beobachteten Blöcke dieser Art angegeben. Die Lage der Fundstellen im Anstehenden ist koordinatenmäßig bestimmt, die Lage der losen Blöcke ohne Vermessung so gut als möglich mit Höhenmesser und nach dem Kurvenbild der Landeskarte ermittelt. Die Felsaufschlüsse radioaktiven Gesteins liegen auf einer NE–SW laufenden Gesteinszone, welche den höchsten Teil der Série de la Dt. de Nendaz und den untersten Teil der Série de Siviez umfaßt. Diese Gesteinszone ist gut aufgeschlossen im Gratabschnitt SW der Geländemulde von Grand Alou, am steilen N-Hang des Kopfes Le Fou und im Bereich des Col des Mines, am Grat, der die Wasserscheide zwischen Rhonetal und Val de Bagnes bildet. Zwischen diesen Örtlichkeiten und in ihrer östlichen und südlichen Fortsetzung ist die Zone meistens unter ausgedehnten Schuttmassen verborgen. Einzig bei Les Plans, zwischen Le Fou und Col des Mines, findet sich noch ein isolierter Aufschluß, der die Kontinuität der Vererzung belegt, sowie ein als anstehend vermuteter Aufschluß im Bachbett bei Les Eaux, auf 1600 m, über der Straße des Val de Nendaz, der die östliche Fortsetzung andeutet. So bilden die Aufschlüsse, abgesehen von den zuletzt genannten, drei Gruppen von jeweils einigen hundert Metern streichender Länge. Die Tafeln V–VII geben die Lage der von der Grande Dixence S.A. koordinatenmäßig bestimmten Aufschlüsse dieser Gruppen in größerem Maßstab wieder. Die Luftfotos Fig. 9 bis 11 zeigen je eine charakteristische Ansicht der betreffenden Gebiete mit Angabe der im Blickfeld liegenden Aufschlüsse

Einzelne Vererzungen sind punktförmig, andere lassen sich dagegen über mehrere Meter verfolgen, oder ihre Zugehörigkeit zu ein und demselben vererzten Gesteinsband läßt sich aus der Anordnung der beobachteten Vererzungen vermuten. In den Tafeln V–VII wurde indessen auf das Einzeichnen der beobachteten oder vermuteten Verbindungen verzichtet. Nur bei mit der gleichen Nummer bezeichneten, durch Buchstaben unterschiedenen Aufschlüssen wurde durch Verbindungsstriche die Zusammengehörigkeit angedeutet.

Die Aufschlüsse von Grand Alou zeigen eine ziemlich weite Streuung, die mit der im Stollen gefundenen Anordnung in einer verhältnismäßig schmalen Zone kontrastiert. Ob diese Streuung mit einer flacheren Schichtlage zusammenhängt oder mit nicht erkennbaren Verwerfungen oder ob die Vererzung tatsächlich einen mächtigeren Schichtkomplex erfaßt, ist nicht bekannt. Die einzelnen Aufschlüsse besitzen nur geringe Ausdehnung. Die Vererzung erstreckt sich senkrecht zur Schieferung im Mittel über 85 cm, im Streichen über wenige Meter. Einzelne Vererzungen, z. B. die Nummern 2, 3, 6, 8, 4, scheinen ein und derselben Lage anzugehören.

Die dank den besonderen topographischen Verhältnissen besonders zahlreichen Aufschlüsse radioaktiven Gesteins von Le Fou lassen eine zonare Verteilung auf bestimmte Niveaux erkennen. Diese zonare Anordnung und die stratigraphische Streuung ergibt sich deutlich aus Fig. 8, die eine Projektion aller beobachteten Erzaufschlüsse auf eine Ebene ungefähr senkrecht zum Streichen im Maßstab der Tafel VI darstellt. Aber auch hier, wo ein ziemlich gleichmäßiges, einheitliches Schichtfallen besteht und die beobachteten Verwerfungen nur geringe Sprunghöhen zu haben scheinen, sind die einzelnen Vererzungsniveaux über einen gut 100 m mächtigen Schichtkomplex verteilt. Die Häufung der Aufschlüsse im östlichen Teil des Gebietes ist vielleicht mehr durch die Zufälligkeiten der Beobachtungsmöglichkeiten in diesen, z. T. steinschlägigen Felspartien als durch ein wirkliches Aussetzen der Vererzung in der Série de Siviez gegen W bedingt. Für die Gruppe von

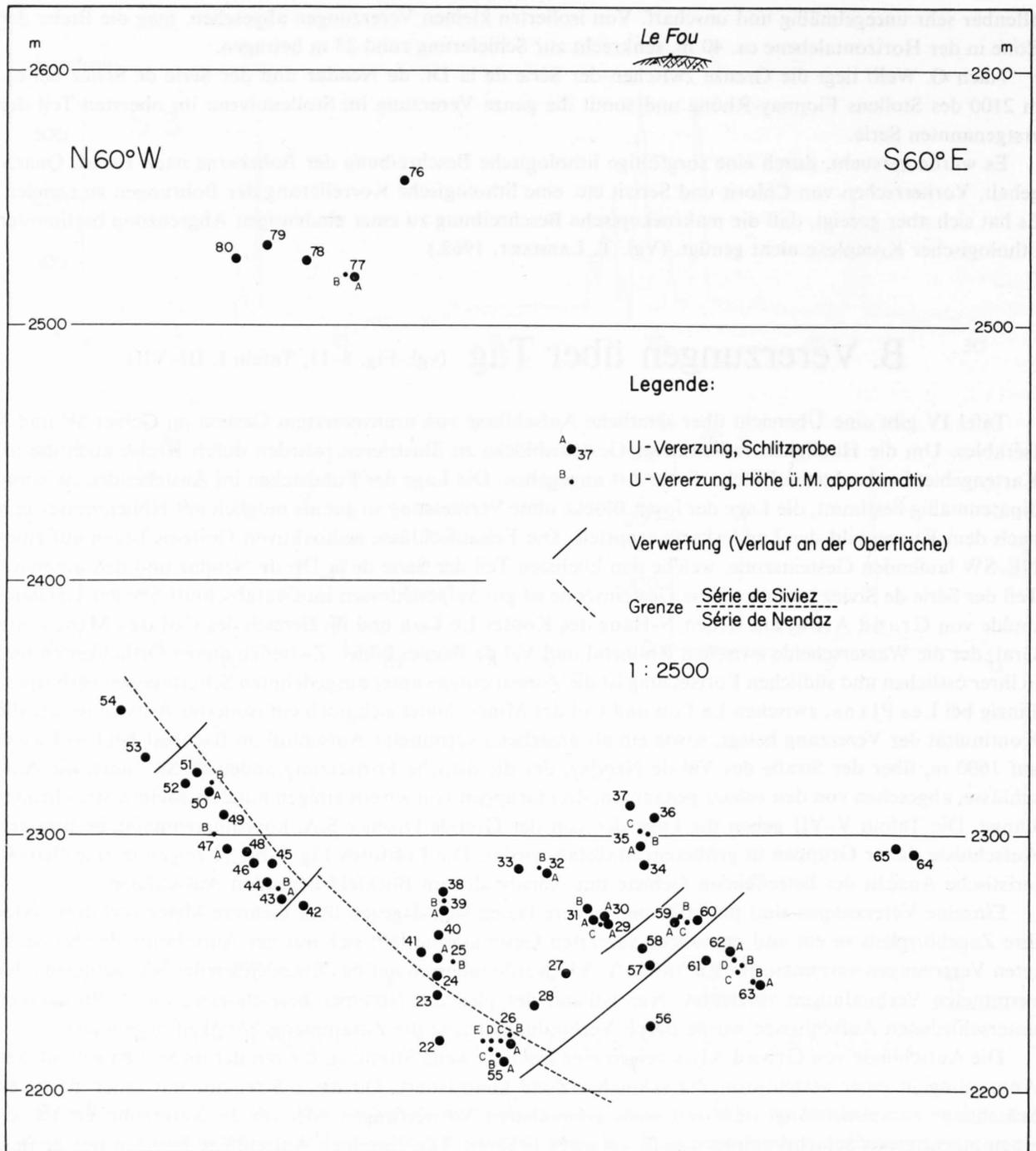


Fig. 8. Projektion der Fundstellen von Le Fou auf eine Ebene senkrecht zum Streichen, 1:2500.

hochgelegenen Aufschlüssen NW des Gipfels von Le Fou gilt vielleicht dasselbe. – Die mittlere Mächtigkeit der erzführenden Gesteinsbänder beträgt ca. 70 cm.

Der isolierte Aufschluß von Glimmerschiefer in 2180 m Höhe bei Les Plans zeigt eine untere etwa 1 m mächtige stark radioaktive, der Schieferung parallele Zone von mindestens 3 m Länge und etwa 1,5 m darüber eine kurze, wesentlich schwächere radioaktive Zone. Eine diffuse Radioaktivität ist am ganzen Aufschluß vorhanden. Die höchste Radioaktivität geht von einer nur 1–3 cm dicken, stark vererzten Lage aus. Die Vererzung läßt sich durch die Schuttbedeckung hindurch nach beiden Seiten im Streichen noch 3–4 m weit verfolgen. Neben Pechblende und Verwitterungsprodukten derselben zeigt der Aufschluß Kupferkies, Malachit und Eisenoxyde.

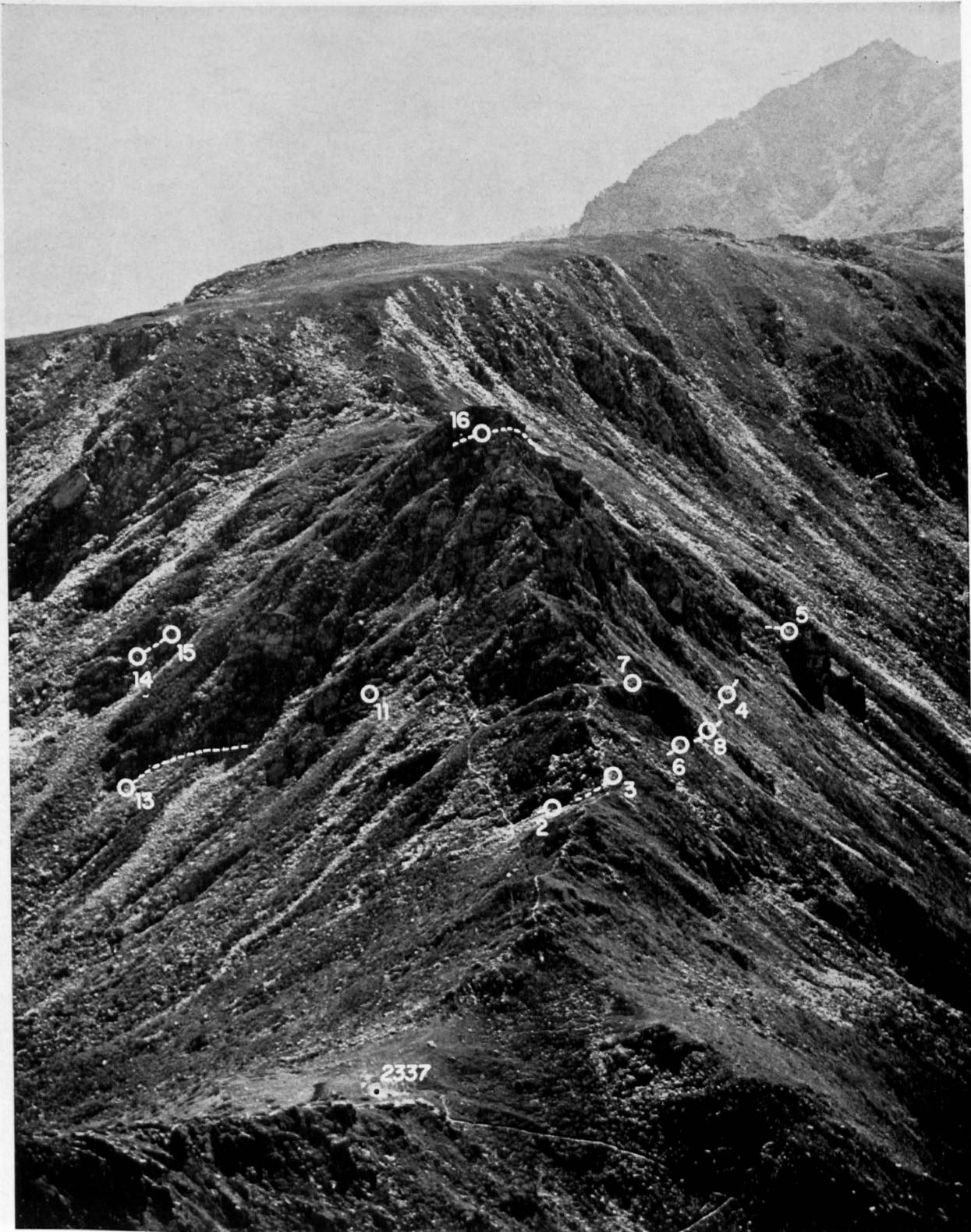


Fig. 9. Luftaufnahme Grand Alou mit U-Fundstellen (von der Grande Dixence S.A. zur Verfügung gestellt).  
Blickrichtung ca. SSE, rechts außen der Gipfel des Mont Gond.

Die vier Aufschlüsse von vererztem Gestein auf und neben dem Grat SE des Col des Mines verteilen sich auf einen Gesteinskomplex von etwa 75 m Mächtigkeit und dürften teils unter, teils über der Grenze Série de la Dt. de Nendaz/Série de Siviez liegen. Von den weiter südlich gelegenen Aufschlüssen scheinen Nr. 71–75 dem gleichen stratigraphischen Horizont anzugehören. Wie aus der Foto Fig. 11 zu ersehen ist, ist auch dieses

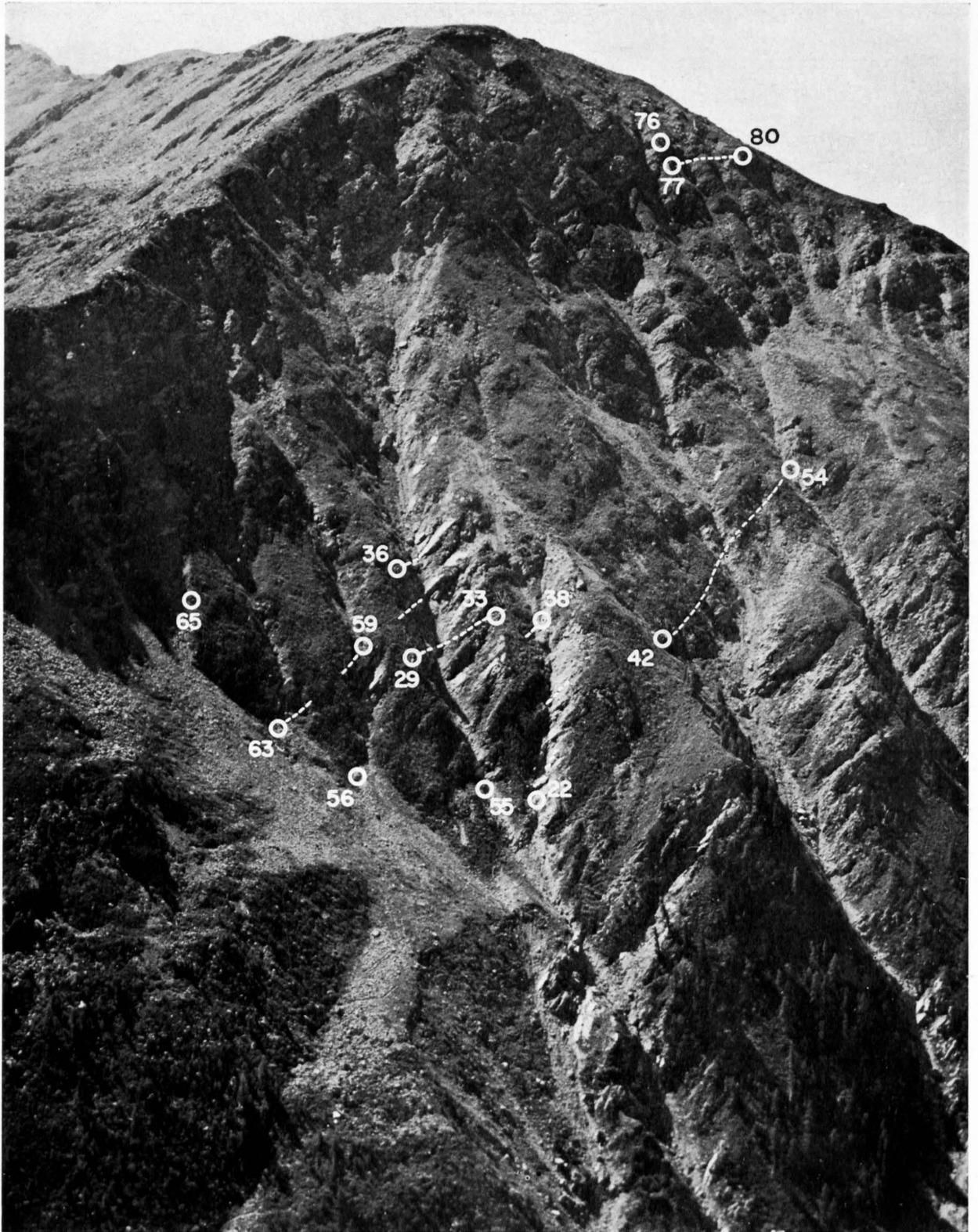
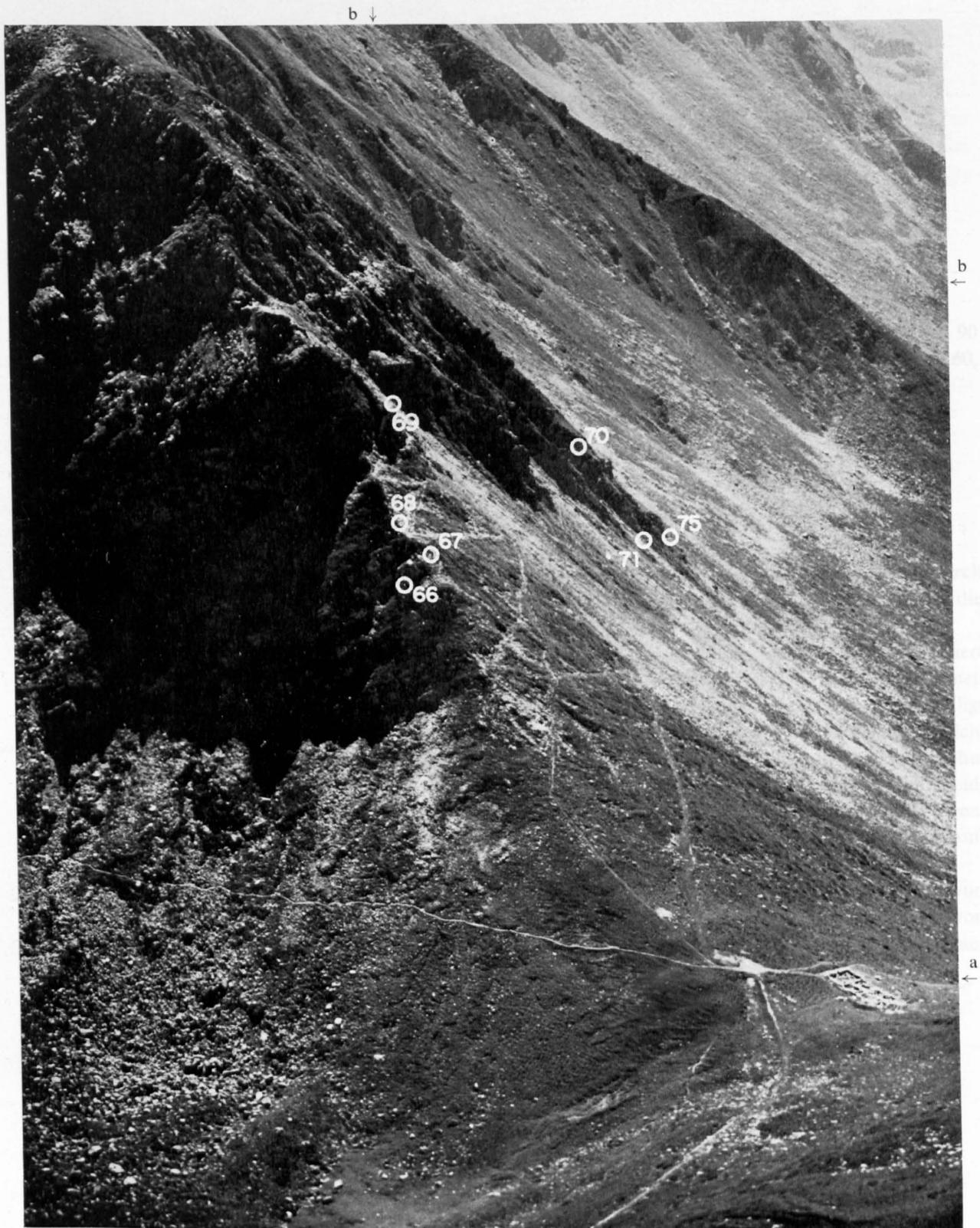


Fig. 10. Luftaufnahme Le Fou mit U-Fundstellen (von der Grande Dixence S.A. zur Verfügung gestellt).  
Blickrichtung ca. SSW gegen den N-Hang

Gebiet nicht leicht zu begehen und ein vollständiges Abtasten nach Vererzungen sehr erschwert, weshalb ein genaueres Einblick in die Art der Erzführung aus Oberflächenuntersuchungen kaum zu erzielen ist.

Wie schon an anderer Stelle für das Gebiet von Grand Alou gezeigt wurde, ist auch im Gebiet von Col des Mines/Les Plans die Zahl der Fundstellen loser Blöcke von vererztem Gestein verhältnismäßig hoch. Radio-



a = Col des Mines      b = Mine du Vacheret

a ↑

Fig. 11. Luftaufnahme Col des Mines mit U-Fundstellen (von der Grande Dixence S.A. zur Verfügung gestellt).  
Blickrichtung ca. SE.

aktive Blöcke fanden sich im Kessel von Les Plans an zwei Stellen, so daß man annehmen darf, daß noch zahlreiche Vererzungen im Anstehenden festgestellt werden könnten, wenn dieses zum Teil schwer zu begehende Gebiet ganz systematisch untersucht werden könnte.

## Kapitel IV

# Die Erzminerale und ihre Begleitgesteine Vergleich mit weiteren Lagerstätten

### A. Einleitung

Das Kapitel behandelt die Uranvererzungen im Detail. Zur mikroskopischen Untersuchung standen 90 Anschliffe zur Verfügung, die sich auf die Einzelvorkommen wie folgt verteilen: Stollen Fionnay-Rhône 60, Col des Mines 3, Les Plans 3, Le Fou 12, Grand Alou 12.

Im weiteren wurden 70 Dünnschliffe, vorwiegend aus dem Stollen, untersucht.

Die Proben wurden von folgenden Mitarbeitern gesammelt:

Stollen: Th. Hügi, E. Rickenbach, V. Köppel, F. de Quervain

Les Plans: G. Wiener, B. de Rivaz, L. Kiraly

Col des Mines: O. Sachs

Le Fou und Grand Alou: B. de Rivaz

Die Präparate wurden zum Teil im Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Bern durch Herrn Huber, zum Teil im Institut für Kristallographie und Petrographie an der ETH, Zürich, durch die Herren E. Schärli und V. Köppel hergestellt.

Der Mikroskopie der Gesteine ist bereits ein Bericht des Arbeitsausschusses von Dr. A. W. Günthert «Dünnschliffuntersuchung uranerhaltiger Gesteine aus dem Gebiet von Isérables» (7. Mai 1959) gewidmet. Seine Ergebnisse sind im folgenden mitverwertet worden. An den Untersuchungen waren ferner mitbeteiligt die Herren Dr. Kurt Bächtiger, dipl. ing. petr. Arnold Stahel, und dipl. geol. Volker Dietrich, alle in Zürich. Herr Bächtiger durchmusterte systematisch eine größere Zahl von Anschliffen aus dem Stollen, wobei ihm verschiedene Feststellungen versteckter Gemengteile gelangen, Herr Stahel untersuchte eine Anzahl Feldspäte am Drehtisch und bestimmte die Lichtbrechung von Chloriten, und Herr Dietrich führte einige Röntgenpulveraufnahmen und Bestimmungen mit der Elektronen-Mikrosonde durch, ferner wirkte er bei Photoaufnahmen mit.

Von den beiden Verfassern des Abschnittes widmete sich V. Köppel in erster Linie den Oberflächenvorkommen, dazu verschiedenen erzmikroskopischen Spezialbestimmungen. F. de Quervain befaßte sich vorwiegend mit den Stollenvorkommen, ferner mit den vergleichenden Abschnitten. An den Mikroaufnahmen waren beide beteiligt.

### B. Übersicht der für die einzelnen Vorkommen typischen Erscheinungen

Für die folgende Beschreibung sind die Einzelvorkommen in drei Areale zusammengefaßt worden:

A. Stollen Fionnay-Rhône

B. Col des Mines, Les Plans und Le Fou

C. Grand Alou

} Oberfläche

Die Besonderheiten des Auftretens der Erzminerale in diesen Arealen und ihre Beziehung zu den Träger- und Nebengesteinen\*) werden nachstehend kurz charakterisiert. Die Eigenschaften der Mineralien und die diagnostischen Kennzeichen sind im Abschnitt C besprochen, wobei auch eine Zusammenfassung der regionalen Eigentümlichkeiten der einzelnen Mineralien gegeben wird.

\* Die pechblendeführenden Gesteine werden hier als Trägergesteine bezeichnet; die benachbarten nicht radioaktiven Gesteine als Nebengesteine.

# 1. Die Stollenaufschlüsse (Série de Nendaz)

Der Kraftwerkstollen Fionnay-Rhône (Hauptstollen, Sondierstollen und die Stollenbohrungen) gewährte weitaus die besten Einblicke in die Pechblendevererzungen der Casannaschiefer der Region Isérables. Es liegen dementsprechend von hier auch am meisten Gesteins- und Erzproben, Dünnschliffe und Anschliffe vor. Diese geben folgendes Übersichtsbild:

## a) Die Trägergesteine der Uranvererzungen

### Der Mineralbestand

Hauptgemengteile der pechblendeführenden Gesteine sind Quarz, Feldspat, Kalkspat, Chlorit und Muskowit-Serizit, Nebengemengteile (ohne Erzminerale): Turmalin, Rutil, Apatit, Zirkon, Titanit, Magnetit.

Quarz. Korngröße am stärksten wechselnd von unter 0,01 mm bis über 1 mm. Die feinen Körnungen sind oft, aber nicht immer von Feldspat durchsetzt (Quarz-Feldspatgewebe). Viele Proben enthalten daneben einzelne grobe rundliche, meist intensiv gestörte Quarzkörner mit buchtiger Umgrenzung, sich vielfach in feines Quarzgewebe auflösend. Ausgedehntere grobe Quarzaggregate gehören nicht zum normalen Gestein, sondern zu den verbreiteten (pechblendefreien) Quarzbändern, -adern oder -knauern. Die Einzelindividuen der Gewebe sind isometrisch oder oft etwas in der Schieferung gestreckt, größere meist undulös, stets xenomorph. Oft ist der Quarz nicht diagnostizierbar durchstäubt. Beim rötlich verfärbten Quarz sind die Einschlüsse als Hämatit deutbar.

Feldspat. Auftreten einerseits als deutliche Porphyroblasten sehr unterschiedlicher Größe (0,2 bis gegen 1 mm), andererseits als Bestandteil von feinen Quarz-Feldspatgeweben. Bei den Porphyroblasten ist die Leistenform meist angedeutet, die Umgrenzung aber nur als Ausnahme idiomorph. Sie sind meistens nach einem oder zwei Systemen verzwillingt, Schachbrettstruktur kommt nur vereinzelt, aber typisch vor. Teilweise sind die Porphyroblasten getrübt (erkennbar sind feinste Seriziteinschlüsse), teilweise sind sie klar, besonders die kleineren. Bestimmungen am Drehtisch an porphyroblastischen Feldspäten aus mehreren vererzten Proben verschiedener Zusammensetzung (Tabelle 1) ergaben durchwegs Albit. Die Feldspäte der Grundgewebe lassen häufig die Leistenform erkennen, können aber auch ganz xenomorph sein. Verzwillingung ist vorhanden oder nicht. Auch bei ihnen deuten die Bestimmungen auf Albit bis ganz sauren Plagioklas.

Tabelle 1

### Feldspatbestimmungen am Drehtisch

Porphyroblasten (mit \* relativ groß mit Einschlüssen von Serizit, die übrigen kleiner und arm an Einschlüssen)

Trägergesteine	An% verschiedener Porphyroblasten
Serizit-Chloritgneis, reich an Kalkspat, Hauptstollen, Nr. 310 . . . . .	0-1%, 3-7%, 0-3%, 4-6%*
Sehr chloritreicher, stark vererzter Gneis, reich an Kalkspat, Hauptstollen, Nr. 23-2 . . . . .	0-5%, 2-4%, 3-4%, 1-4%
Feldspatreicher Quarzit mit Kalkspat, Sondierstollen, Probenahme Q, Nr. 654 . . . . .	2-6%*
Feldspatreicher Quarzit, reich an Kalkspat, Sondierstollen, Nr. 659 . . . . .	0-2%, 0-5%, 2-4%
Nebengesteine	
Chlorit-Serizitschiefer, fast ohne Kalkspat, heller Typus, Hauptstollen, Nr. 312 . . . . .	0-2%, 0-1%
Chlorit-Serizitschiefer, fast ohne Kalkspat, dunkler Typus, Nr. 305 . . . . .	3-5%*

Kalifeldspäte konnten nicht mit Sicherheit festgestellt werden.

Kalkspat. Meist relativ groß, zur Hauptsache xenomorphe Körner bis Fetzen, untergeordnet Rhomboeder, beide oft von Quarz durchlöchert. Verzwillingung ist allgemein. Meist ist der Kalkspat isoliert zwischen den andern Gemengteilen, er kann aber auch zu Linsen oder Zügen aggregiert erscheinen. Ein anderes Karbonat (Dolomit, Ankerit usw.) konnte im Stollen nicht festgestellt werden.

Chlorit. Fast durchweg deutlich abgegrenzte Blätter von gleicher Größenordnung (0,05 bis 0,1 mm), pleochroitisch: grün - fast farblos; mit tiefbraunen anomalen Interferenzfarben. Bei Pechblendeanwesenheit stellen sich braune Höfe um dieses Mineral ein, teils schwächer, teils stärker pleochroitisch als die normale Chloritausbildung: olivbraun - lichtbräunlich, bei wesentlich höherer Doppelbrechung (Fig. 14). Der maxi-

male Hofdurchmesser liegt um 0,04 mm; die Mehrzahl der Höfe ist kleiner, weil die Schnitte in der Regel nicht Großkreisen der kugelartigen Gebilde entsprechen. Die von HIRSCHI (1939) an Chloriten der Erzlagerstätte Kaltenberg im Turtmantal und von E. HUGI und H. HIRSCHI (1938) an Biotiten von Feldbach im Binnental festgestellten Durchmesser von Halos sind von gleicher Größe. Bei Anwesenheit von viel Pechblende fließen die Höfe zusammen und es resultieren mehr oder weniger einheitliche braun gefärbte Chlorite.

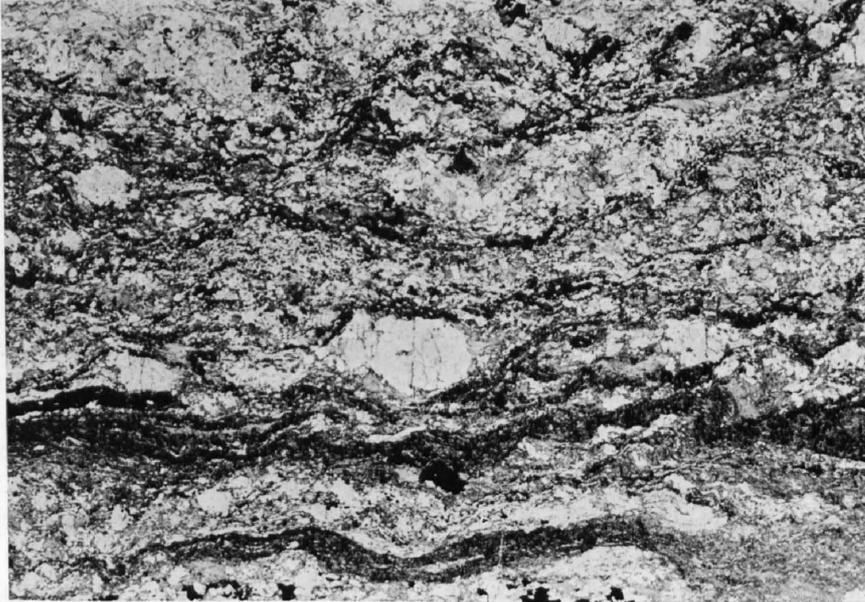


Fig. 12. Serizit-Chlorit-Albitgneis karbonatführend. Die dunklen chloritreichen Lagen sind reich an Pechblende und Sulfiden. Hauptstollen. 8×.

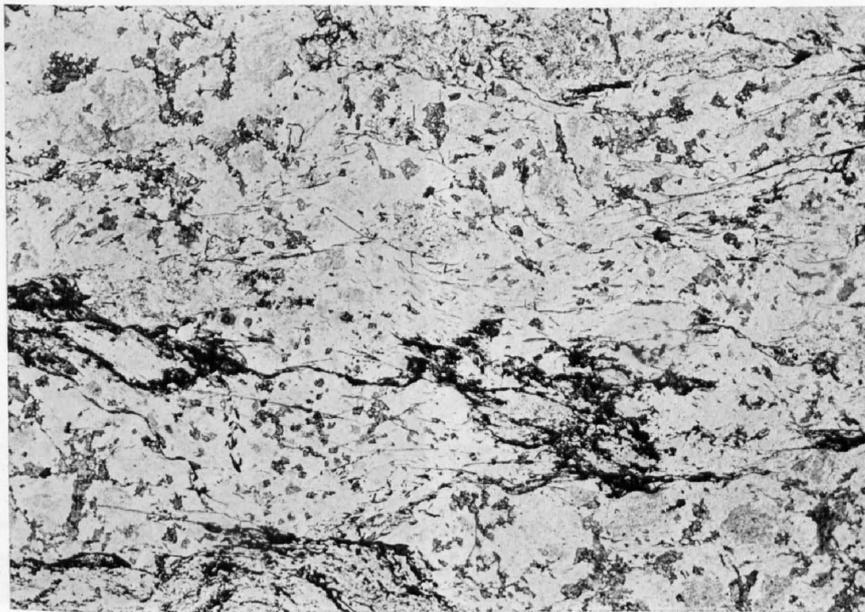


Fig. 13. Feldspatquarzit mit Karbonat. Die spärlichen schwarzen Lagen sind vererzt. Sondierstollen. 8×.

Muskowit-Serizit. Blättchengröße meist in der gleichen Probe sehr wechselnd, teils eher als Muskowit zu bezeichnen, teils als feinstes Serizitgewebe, in bisweilen intensiv gewellten Zügen angereichert. Auch als Einzelblättchen in Feldspäten oder in Quarz-Feldspatgeweben eingeschlossen.

Ein in zahlreichen Schlifften charakteristischer Nebengemengteil ist der Turmalin, bevorzugt an Serizit-Chloritzügen gebunden. Er ist säulig, mit idiomorpher Begrenzung. Pleochroismus: ganz licht bräunlich

bis fast farblos – dunkel olivgrün, oder licht fleischfarben bis lila – tiefblau gegen grünblau. In den Stollen-vorkommen ließ sich keine Beziehung zum Gehalt an Pechblende feststellen. Der verbreitete Rutil ist großenteils so fein, daß er im Dünnschliff fast opak erscheint, viel besser ist er im Anschliff faßbar, so daß er unter die Erzminerale eingereiht wird. Der oft reichliche Apatit, die seltenen Zirkon- und Titanitkörner und der ganz unwichtige Magnetit entsprechen dem normalen Auftreten in den Casannaschiefern.

#### Die Gefüge

Die Texturen und Strukturen der Trägergesteine sind sehr variabel, nicht nur von Probe zu Probe, sondern auch oft innerhalb eines Dünnschliffes. Chlorit- und glimmerreiche Gesteine sind als Ganzes meist ausgesprochen gerichtet, bei bevorzugt lagiger Anreicherung dieser Mineralien. Die Hauptmenge der Chloritblätter liegt in der Schieferung, untergeordnet treten auch Querblätter auf. Im einzelnen ist hierbei das Gefüge unregelmäßig gewellt bis gefältelt, relativ selten ebenschieferig. Die Lagen aus Chlorit oder Serizit verlieren sich aber oft in den körnigen Mineralaggregaten. Diese (feine Quarzaggregate, Quarz-Feldspatgewebe, Kalkspat), in Linsen, Knauern bis Lagen angereichert, zeigen die Schieferung wenig deutlich. Die meisten Schliffe sind mehr oder weniger porphyrkörnig (große Quarzkörner und Albitporphyroblasten). Auch das Quarz-Feldspatgrundgewebe wechselt das Korn oft im gleichen Dünnschliff fleckenweise erheblich, vielleicht ehemalige klastische, verschieden struierte Komponenten, z. B. Quarzitgerölle abbildend. Reine Quarzaggregate resultieren zum Teil auch aus dem Zerfall großer Quarzkörner. In einigen Schliffen sind vermutete Reliktstrukturen wesentlich deutlicher als in andern. In einem Fall kommen Grundgefügepartien voller langgestreckter Feldspatleisten (jedenfalls Albite) einer normalen Spilitstruktur nahe.

Die wechselvollen Verhältnisse ergeben naturgemäß recht unterschiedliche Trägergesteinstypen.

Von einem verbreiteten Normaltypus: mehr oder weniger kalkspatführender Serizit-Chlorit-Albitgneis bestehen Übergänge bei Quarzzunahme in eigentliche albitführende Quarzite, bei Reichtum an Chlorit und Serizit in Chloritschiefer und in Glimmerschiefer bis Phyllite. Diese letzteren sind unter den pechblendeführenden Proben aber viel seltener als die ersteren. Nur vereinzelt vertreten sind sehr kalkspatreiche Formen (bis 50%), die man als Kalkglimmerschiefer bezeichnen könnte. Die Pechblende ist somit nicht mit bestimmten Zusammensetzungen oder Strukturen verknüpft.

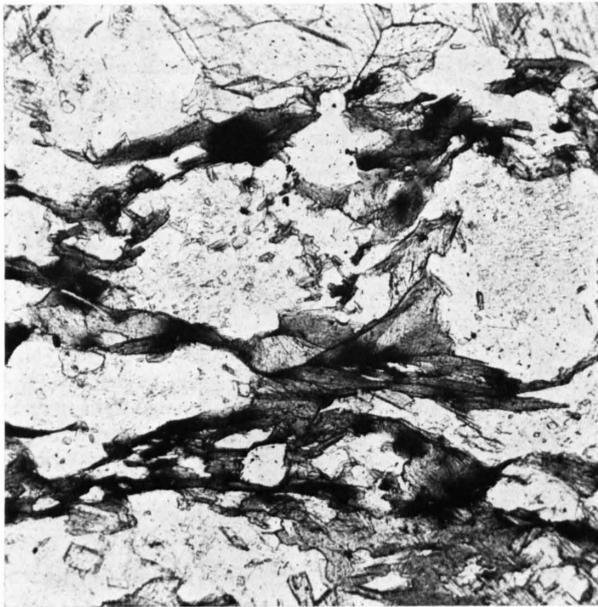


Fig. 14. Chloritblätter mit braunen (dunkleren) pleochroitischen Flecken in Pechblende führender Probe. Helle Felder: Albitporphyroblasten (ohne Pechblendeeinschlüsse), dazu Kalkspat. Stollen. 125×.

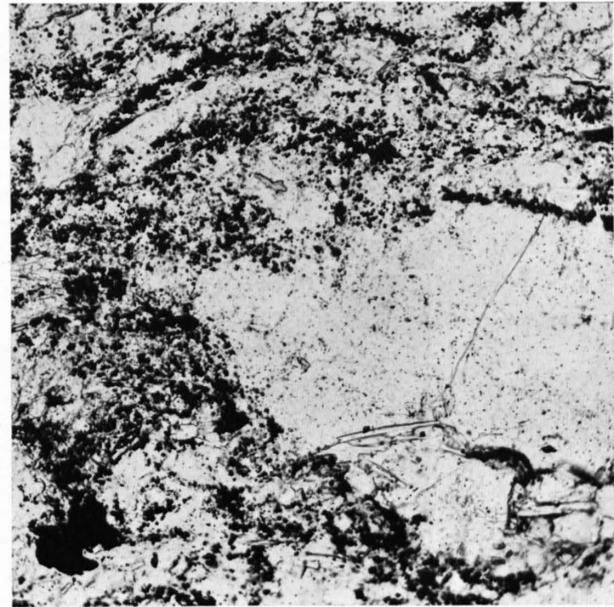


Fig. 16. Das feine Quarzgewebe ist reich an feinsten Pechblende, die großen Quarzkörner sind erzfrei. Großes schwarzes Korn: Pyrit. Stollen. 125×.

Von einigen charakteristischen Proben sind in der Tabelle 2 die Mengenverhältnisse der Hauptgemengteile aufgeführt. Deutlich gehen daraus die großen Unterschiede im Mineralbestand hervor.

Die Übersichtsbilder Fig. 12, 13 verdeutlichen die Texturen und Strukturen eines relativ chloritreichen Gneises mit viel Pechblende und eines an Glimmer und Chlorit armen Feldspatquarzites mit spärlich Pechblende aus der Trägerserie.

Die Pechblende ist mit abnehmender Häufigkeit und Konzentration eingeschlossen (bei Geweben auch auf Korngrenzen) in: Chlorit (Fig. 14), Chlorit-Serizitgemengen (Fig. 15), reinen Quarz- oder Quarzfeld-

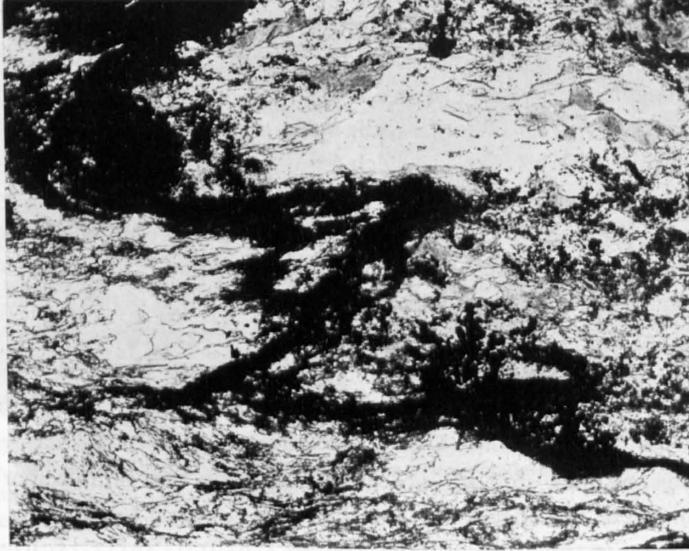


Fig. 15. Gefaltete Chlorit-Glimmerlage völlig von Pechblende (schwarz) erfüllt, in Chlorit-Serizitschiefer. Stollen. 125 $\times$ .

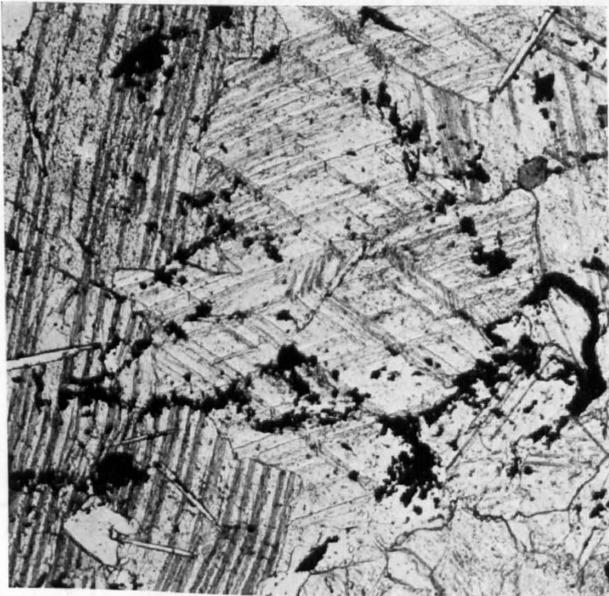


Fig. 17. Grobes Kalkspataggregat mit Pechblendeinclusionen, in pechblendeführendem Chlorit-Serizitschiefer. Stollen. 125 $\times$ .

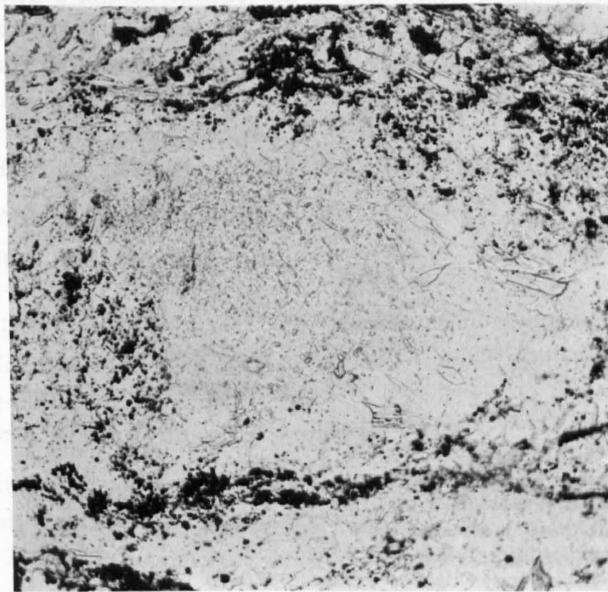


Fig. 18. Albitporphyroblast mit Seriziteinclusionen in feinem Quarz-Feldspatgewebe mit reichlich Pechblende. Stollen. 125 $\times$ .

spatgeweben (wobei die feinstkörnigen bevorzugt werden, Fig. 16), Kalkspat (Fig. 17), reinem Serizit-Muskowit, Albitporphyroblasten (hier eher randlich als im Innern, Fig. 18). Grobe Quarzkörner sind pechblendefrei, ebenso grobe Quarzaggregate (Lagen oder Adern bildend). Auch die Aderfüllungen von Karbonat enthalten keine Pechblende. Unter den Nebengemengteilen sind Turmalin (Fig. 19), Titanit (Fig. 45) und Rutil (Fig. 19) mit Pechblende verwachsen.

Im einzelnen gilt folgendes über die Verteilung der Pechblende im Trägergestein:

Hat dieses durchgehende chloritreiche Lagen [(±) Serizit], so bevorzugt die Pechblende diese, ohne aber die Quarz-Feldspatgewebe oder Kalkspat ganz zu meiden. Sie ist dann meist ausgeprägt in der Schieferung angereichert, im Längsbruch als dünne (0,01 bis 1 mm breite), oft gefälte Lagen, vielfach netzartig verzweigt, erscheinend. Die makroskopisch sichtbare Diskordanz von Vererzung zum Trägergestein ist in den Dünnschliffen selten deutlich zu sehen, am ehesten in einer kleinen Versetzung der Anreicherungen von Lage zu Lage. Tritt Chlorit zurück, so findet sich die Pechblende als Einzelkörner, Zeilen oder Nester angereichert in den Quarz-Feldspatgeweben, im Kalkspat und vereinzelt in den Albitporphyroblasten. Auch hier kann in kleineren oder größeren Bereichen oft eine deutliche Anordnung parallel der Schieferung festgestellt werden. Vielleicht ist je etwa die Hälfte der Pechblendemenge an Chlorit (und Serizit) und an Quarz, Feldspat und Kalkspat gebunden. Da die Gesteine weit weniger Chlorit als die andern aufgeführten Mineralien enthalten, ist die Anreicherung der Pechblende im Chlorit augenscheinlich.

Fahlerz grenzt an Quarz, Kalkspat, Albit oder Chlorit. Besonders typisch sind die Beziehungen zum Albit. Dieser ist gegen das Fahlerz oft idiomorph entwickelt, er erzeugt die geradlinige Begrenzung zahlreicher Fahlerzaggregate (Fig. 20). Daneben kann aber bei Verwachsung auch der Feldspat ganz ohne Eigengestalt sein. Pyrit kann an alle Silikatmineralien und an Kalkspat grenzen.

## b. Die Nebengesteine und ihre Beziehung zu den Trägergesteinen

Die beschriebenen Trägergesteine sind im wesentlichen analog den unmittelbaren Begleitgesteinen der pechblendehaltigen Zonen. Diese Nebengesteine sind ihrerseits normale Glieder der «Série de Nendaz» des metamorphen Permokarbons. Sie sind zum größten Teil als Chlorit-Serizitschiefer bis -gneise zu bezeichnen, mit den gleichen Mineralien wie bei den Trägergesteinen aufgeführt. Es lassen sich in der Umgebung der Vererzungen helle und dunkle (grüne) Typen auseinanderhalten. Sie unterscheiden sich aber im Dünnschliff nicht wesentlich. In der Tabelle ist von je zwei charakteristischen Proben beider Typen der Mineralbestand zusammengestellt. Ein eingehender Vergleich der Trägergesteine mit den Nebengesteinen läßt aber doch Unterschiede erkennen, denen zweifellos eine bestimmte Bedeutung zukommt:

Tabelle 2

### Mengenverhältnisse der Hauptkomponenten von Träger- und Nebengesteinsproben des Stollenvorkommens

Schätzung in Volumprozent (Günther 1959)	Trägergesteine						Nebengesteine			
	Sondierstollen Meter ab Beginn			Hauptstollen Stollenmeter			Hauptstollen Stollenmeter			
	1	7,5	13,5	1602	1606	1630	1604	1609	1606	1607
	Nr. 657	661	659	310	308	153	312	303	309	304
	Probe P			Lage 1	Lage 2	Lage 4	«Helle Typen»		«Dunkle Typen»	
Grobe Quarzkörner . . . . .	5	20-30	20-30	5	10-20	10-20	5-10	20-30	10-15	10-15
Albitporphyroblasten . . . . .	-	15	10	5-15	5-15	5	2-3	5	3-5	2-3
Reine Quarz- und Quarz-Feldspat- gewebe (meist Quarz > Feldspat)	60-70	50-60	35-35	30-40	50-60	35-45	55-65	50-60	45-55	50-60
Kalkspat . . . . .	10-15	1-3	15-25	20-30	10-20	30	1	1	1-2	1-3
Chlorit . . . . .	5-10	2-3	5-10	15	2	5	3-5	2-3	4-5	3-4
Muskowit-Serizit . . . . .	5	10-20	+	5	5	5	20-30	10-20	20-30	15-25

1. Die Trägergesteine enthalten im Ganzen wesentlich mehr Kalkspat als die Nebengesteine. Es scheint sich dies vor allem auf die direkt pechblendeführenden Proben zu beziehen, nicht auf arme Stellen innerhalb der verfarbten Erzzone. Ebenfalls scheint es nicht ganz gleich für alle einzelnen Vererzungen zu gelten.

2. Die Trägergesteine führen in der Regel mehr Porphyroblasten von Albit; jedenfalls enthalten alle Proben mit reichlich und großen Porphyroblasten deutlich Erzminerale (auch Kupfererze). Dazu ist aber zu bemerken, daß die Pechblende zu den Porphyroblasten am wenigsten direkte Beziehungen erkennen läßt.

3. Die Nebengesteine sind ganz wesentlich reicher an Serizit und damit im allgemeinen ausgesprochener gerichtet. In den Trärgesteinen tritt der helle Glimmer, mit wenig Ausnahmen, sehr zurück. In diesen scheint dagegen der Chlorit eher wichtiger zu sein, allerdings kann er auch hier wie meist in den Nebengesteinen nur wenige Prozent betragen.

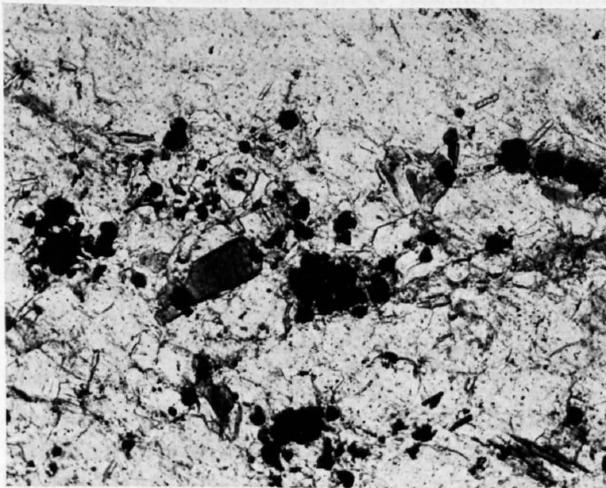


Fig. 19. Unten Quarz-Feldspatgewebe mit Pechblende (schwarz), Turmalin (graues Prisma) und Rutil (Prismenbüschel links,) beide mit Pechblende verwachsen. Oben Quarzlagen mit Karbonat, pechblendefrei. Stollen. 125×.

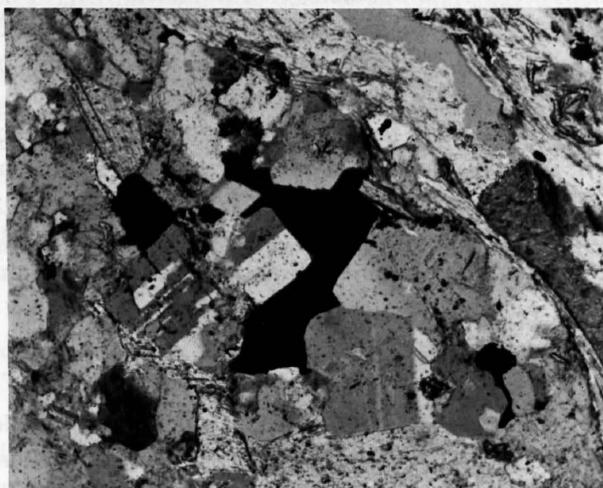


Fig. 20. Fahlerz (schwarz) umgeben von idiomorphem Albit in pechblendeführendem Serizit-Albitgneis. Stollen. 125×.

### c) Beobachtungen am Erzmikroskop

Obwohl die Zahl der Anschliffe aus den Stollenvorkommen recht groß ist, war es nicht möglich, die einzelnen mit Ausnahme der Bohrungen ja sehr benachbarten Stellen nach Auftreten der Erzminerale statistisch gesichert zu kennzeichnen. Die Charakterisierung der Stollenmineralisationen muß deshalb gesamthaft erfolgen. Zur allgemeinen Übersicht diene die folgende Zusammenstellung der Extensität der Erzminerale:

Verbreitung der Erzminerale in den Stollenvorkommen:

1. In allen Proben . . . . . Rutil, Pechblende\*)
2. In den meisten Proben . . . Pyrit, Fahlerz
3. In zahlreichen Proben . . . Bleiglanz, Kupferkies
4. In mehreren Proben . . . Parapechblende, Molybdänglanz, Bornit, Kupferglanz, Covellin, seligmanitähnliches Cu-As-Sulfosalz
5. Vereinzelt . . . . . Lautit, Gold, Safflorit, Hämatit (in mikroskopischer Größe)

Die Menge der Erzminerale ist ganz allgemein klein und so unregelmäßig, daß nur einige halbquantitative Angaben, gewonnen aus den Anschliffen (von 2 bis 5 cm<sup>2</sup> Fläche), möglich sind (Volum%):

Pechblende . . . . .	0,1 bis 5%, meist < 1% (in Lagen oder in Flecken bis zu mehreren mm auch weit über 5%)
Pyrit . . . . .	< 0,1 bis 10%, ganz ungleichmäßig
Fahlerz . . . . .	< 0,1 bis 5%, meist < 1%
Bleiglanz . . . . .	< 0,1 bis 1%, meist < 0,5%
Kupferkies . . . . .	< 0,1 bis 1%, meist < 0,5%

Alle weiteren Erze sind für Schätzungen zu vereinzelt oder zu ungleichmäßig verteilt oder zu klein.

\* Als kugelige Gebilde oder mit Anzeichen von Idiomorphie (Uraninit) oder am häufigsten nicht charakteristisch ± isometrisch begrenzt.

Bezüglich des Zusammenauftretens im gleichen Anschliff gilt folgendes:

a) Die an Pechblende reichen Proben weisen auch die höchsten Gehalte an Fahlerz auf. Auch die weiteren Kupfer- und Bleimineralien finden sich in relativ hoch aktiven Proben. Dies gilt überhaupt für die seltenen Erze und das Gold, die meist aus der Vererzungslage F<sub>1</sub> des Hauptstollens und aus der benachbarten Stelle der Großprobe P im Sondierstollen stammen.

b) In der Regel trifft hoher Fahlerzgehalt mit großer Pyritmenge zusammen, doch gibt es hier Ausnahmen. Damit zeigen oft die an Pechblende reichen Schliffe viel Pyrit. Es gibt aber sehr reiche Pyritschliffe mit sehr wenig Pechblende und fast keinen Kupfermineralien.

c) Pechblende tritt sowohl in größeren Mengen ohne direkte Berührung oder Nachbarschaft der Sulfide auf, als auch verwachsen oder eingeschlossen in allen genannten Mineralien mit Ausnahme der Seltenheiten.

d) Pyrit ist häufig direkt mit Fahlerz verwachsen, zur Hauptsache aber isoliert. Die Kupfermineralien sind oft miteinander verwachsen, auch der Bleiglanz gesellt sich bevorzugt dazu. Mehrfach angetroffen wurde im Stollenvorkommen eine Umrandung des Fahlerzes durch wenig Kupferkies.

## 2. Col des Mines, Les Plans, Le Fou

Die Proben stammen sowohl aus der Série de Nendaz als auch aus den «Casanna inférieurs» (Série de Siviez, J. P. SCHAEER, 1959). Ein großer Teil des Materials wurde im Schutt gesammelt, so daß die Zusammenhänge vielfach fehlen. Naturgemäß war das zur Verfügung stehende Untersuchungsmaterial der Einzelvorkommen nicht derart umfangreich wie das für das Stollenvorkommen der Fall war. Das hier gegebene Übersichtsbild ergibt sich also aus der Gesamtheit aller Einzelvorkommen.

### a) Makroskopische Beschreibung der vererzten Typen

α) Die stets nur schwache Vererzung in verfäلتelten Phylliten ist streng konkordant an dunkelgrüne, chloritreiche Lage von einigen Millimetern Mächtigkeit gebunden. Makroskopisch erkennt man höchstens kleine Pyritkörner und Kupferkiesnester.

β) In ockerfarbenen, ziemlich massigen und glimmerarmen Muskowit-Albitgneisen beschränkt sich die Vererzung auf eine ca. 5 mm breite, ungefähr konkordant verlaufende Zone, die ihrerseits aus einem Netzwerk von höchstens millimeterbreiten, dunklen Äderchen besteht. Kupferkies ist makroskopisch bereits erkennbar.

γ) Konkordante bis schwach diskordante, pechblendereiche Bänder von rasch wechselnder Mächtigkeit (1–5 mm) treten in dunklen Chlorit-Muskowit-Serizit-Albitgneisen auf. Gelegentlich sind diese Bänder zusammen mit dem Nebengestein intensiv verfäلتelt. Makroskopisch sichtbar sind Pyrit und Kupferkies, gelegentlich auch Pechblende.

### b) Mikroskopische Untersuchung

#### α) Serizit-Chloritphyllite

Mineralbestand: Serizit, Chlorit, Quarz, Turmalin, Rutil, Kupferkies und Pyrit.

Die Phyllite sind verfäلتelt und werden von zahlreichen parallelen Scherflächen durchzogen. Zu beiden Seiten der Scherflächen sind Chloritnester mit quergestellten Blättchen häufig. Sie werden oft von Pyrit und Kupferkies begleitet. Die Phyllite können auch millimeter- bis zentimeterbreite, etwas grobkörnigere Chlorit-Quarzbänder mit Sulfidanreicherungen enthalten; die dichten Serizit-Quarzpartien sind frei von Sulfiden. Mit Hilfe von Autoradiographien läßt sich zeigen, daß nur diese Quarz-Chloritbänder eine gewisse, aber stets sehr geringe Aktivität aufweisen. Im Dünnschliff zeigt der Chlorit die für die Nachbarschaft von Pechblende charakteristische Braunfärbung; im Anschliff konnte Pechblende nie mit Sicherheit nachgewiesen werden.

#### β) Muskowit-Albitgneise

Mineralbestand: Quarz, Albit, Muskowit-Serizit, Chlorit, Apatit, Turmalin, Rutil, Zirkon.

Albit und Quarz dominieren mengenmäßig. In einem ziemlich gleichkörnigen Quarzpflaster (0,05–0,15 mm) sind etwas größere, oft leistenförmige, hypidiomorphe Albite eingebettet. Daneben gibt es auch Partien mit

reichlich großen (bis 1 mm), oft wenig verzwilligten Porphyroblasten, die etwas zerbrochen sind und von Quarz verheilt werden. Die Feldspäte führen Einschlüsse von Chlorit und Serizit. Muskowit (Einzelblättchen bis 0,5 mm lang) bildet im Nebengestein dichte, wellige Züge.

Serizit (0,01–0,03 mm) ist auf das Trägergestein beschränkt, sofern man von den Seriziteinschlüssen im Albit absieht. Stellenweise tritt er reichlich zwischen den Erzpartikelchen auf, oder er ist lokal angereichert zwischen den Korngrenzen der hellen Silikate. Chlorit tritt nur als Einschluß im Albit auf.

Im Trägergestein bemerkt man eine Korngrößenabnahme des Quarzes und des Albites (0,02–0,1 mm) gegenüber dem Nebengestein. Isolierte Kupferkiesaggregate können aber auch in den grobkörnigeren Partien des Nebengesteins auftreten. Er tritt stets xenomorph als Zwickelfüllung zwischen Quarz und Albit auf. Er findet sich auch im Zentrum von Quarzäderchen, die zerbrochene Albitporphyroblasten verheilen.

Größere (0,3 mm) xenomorphe bis hypidiomorphe Apatite finden sich im Nebengestein, wo sie gelegentlich von Kupferkies verdrängt werden. Die übrigen Mineralien stehen zu der Vererzung in keiner besondern Beziehung.

#### γ) Chlorit-Muskowit-Serizit-Albitgneise

Mineralbestand: Quarz, Albit, Chlorit, Muskowit-Serizit, Turmalin, Apatit, Zirkon, Rutil; z. T. ankerit- oder (und) paragonitführend.

Dieser Gesteinstyp ist der verbreitetste und zugleich auch Träger der reichsten Vererzungen. Der mengenmäßige Anteil der Mineralien wechselt beträchtlich. Chlorit und Albit können stark zurücktreten, so daß oft eher ein Muskowit-Serizitschiefer als Nebengestein vorliegt.

Gegenüber dem Stollenvorkommen zeigen sich gewisse Unterschiede in der Ausbildung der Mineralien, aber auch solche textureller und struktureller Art.

Quarz. Grobe rundliche Körner sind seltener; sie finden sich vor allem noch in den albitführenden Muskowit-Serizitschiefern. In den gut geschieferten, muskowit- und chloritreichen Gneisen bildet er zusammen mit etwas größerem Albit die hellen Lagen. In albitarmen Partien zeigt er eine ausgeprägte backsteinartige Textur. In massigeren, glimmerärmeren Partien zeigt er bei einer bestimmten Korngröße (0,05–0,15 mm) eine ausgesprochen hypidiomorphe bis idiomorphe Ausbildung und erinnert an hydrothermalen Gangquarz. Er löscht nicht undulös aus und ist meist frei von Einschlüssen; gelegentlich aber führt er im Zentrum angereichert nicht näher bestimmbare Einschlüsse. Solche Partien zeigen allmähliche Übergänge in grobkörnigere, verzahnte und undulös auslöschende Quarz-Albitgewebe.

Albit. Er unterscheidet sich kaum von den Albiten des Stollenvorkommens. Neben Serizit führt er auch Chlorit als Einschlüsse. Große Porphyroblasten (bis 5 mm) mit Schachbrettstruktur weisen auch unverzwilligte Albite (?) als Einschlüsse auf. Charakteristisch für die Oberflächenvorkommen scheint das nachträgliche Zerbrechen der größeren Porphyroblasten und Zementieren mit Quarz zu sein. Gelegentlich bildet Albit in regelmäßigen Abständen schmale, quergestellte Riegel in den Quarzbändern.

Chlorit. Er tritt meist zusammen mit Muskowit und Serizit in gewellten Zügen auf. Einzelblättchen (0,05 bis 0,3 mm lang), parallel oder quer zur Schieferung finden sich auch in den hellen Lagen. Albit führt kleinste Schüppchen davon als Einschlüsse. Chlorite mit braunen und tintenblauen Interferenzfarben beobachtet man im selben Schliff. In nachträglich mechanisch beanspruchten Partien ist Chlorit jünger als Pechblende, deren kataklastische Risse von Quarz und Chlorit verheilt werden. Normalerweise ist Pechblende jünger als Chlorit, wie das glimmerartige Aufblättern der Pechblende beim Eindringen in Chlorit zeigt (Fig. 30).

Ein als Paragonit bestimmtes Glimmermineral (vgl. J. P. SCHAEER, 1959) tritt nur in chlorit- und albitreichen Gesteinen auf. Er ist stets mit Chlorit vergesellschaftet. Von Chlorit-Muskowitzügen ausgehend bildet er große Blättchen (0,4–0,6, selten bis 1,5 mm lang), die sich entweder den Zügen anschmiegen oder quer zur Schieferung in die hellen Lagen einbrechen. Chlorit und Paragonit scheinen durch Übergänge miteinander verbunden zu sein, indem die Paragonite oft streifenartige Einschlüsse von Chlorit enthalten, die seitlich allmählich in den Glimmer übergehen, ohne daß aber eine Korngrenze sichtbar wäre. Soweit festgestellt werden konnte, ist der Chlorit zweiachsig negativ mit kleinem und etwas variablem Achsenwinkel; der Paragonit ein- bis zweiachsig negativ mit sehr kleinem Achsenwinkel ( $2V_x$  maximal  $10^\circ$ ). J. P. SCHAEER (1959) beschreibt derartige Glimmer aus den Casannaschiefern, die er röntgenographisch als Paragonite erkannt hat (in seiner Beschreibung erwähnt er allerdings das Zusammengehen mit Chlorit nicht). Als Einschlüsse im Paragonit beobachtet man Serizit, Rutil und Zirkon.

Muskowit bis Serizit. Im Gegensatz zum Stollenvorkommen ist hier Muskowit reichlicher vertreten. Er bildet bis 1,5 mm lange Blättchen. Karbonat. Es findet sich nur in einigen Proben in deutlicheren Mengen. Die starke Limonitisierung deutet auf Ankerit. Es bildet isolierte Rhomboeder in den Quarz-Feldspatpartien.

Turmalin fehlt nie. Die kleinen (ca. 0,03 mm) Individuen sind idiomorph, die größeren (bis 3 mm) sind xenomorph und weisen Einschlüsse von Quarz, Glimmer, Pyrit und Pechblende auf. Rutil bildet Einzelkörner (bis 0,05 mm) oder feinkörnige Aggregate (umgewandelter Titanit). Rutilnester sind häufig im Glimmer und im Chlorit. Apatit zeigt nicht dieselbe konstante Verbreitung wie Turmalin. Kleine idiomorphe Körner sind hier und da lokal stark angereichert in den Albiten. Große (bis 0,3 mm), xenomorph bis hypidiomorphe, selten idiomorphe Individuen finden sich in den Quarz-Albitpartien.

Das Gefüge der Nebengesteine ist wechselvoll, bedingt durch unterschiedliche Gehalte an Muskowit und Chlorit und durch das Auftreten von Albitporphyroblasten wechselnder Größe. Bei hohem Muskowit-Chloritgehalt sind diese Mineralien in welligen, durchlaufenden Zügen angereichert. Quarz und Albit finden sich hauptsächlich in den hellen Bändern mit wenig Muskowit und Chlorit parallel oder quer dazu angeordnet. In quarzreichen Partien zeigt der Quarz die bereits erwähnten Gefüge.

Im Durchschnitt ist das Quarz-Feldspatgewebe in den Nebengesteinen der Oberflächenvorkommen etwas grobkörniger als in den Stollenvorkommen. Glimmerärmere Gesteine sind u. a. solche mit sehr großen Albitporphyroblasten; sie sind massiger und zeigen im Dünnschliff kaum mehr eine Schieferung. Daneben gibt es auch solche, die durchaus vergleichbar mit den Nebengesteinen des Stollenvorkommens sind.

Einmal nur wurde eine karbonatreiche Probe ohne Albit beobachtet, in welcher die Pechblende ebenfalls wieder in einem Chloritzug angereichert ist; die Sulfide (Pyrit und Kupferkies) verdrängen das Karbonat.

### c) Beziehung der Vererzung zu den Trägergesteinen

Hier zeigt sich ein etwas anderes Verhalten als im Stollen. Ein Unterschied zwischen Träger- und Nebengestein ist hier nicht mehr unbedingt durchführbar.

Aus der Gesamtheit der Dünnschliffbeobachtung geht hervor, daß die Pechblendevererzung von zwei Faktoren abhängig ist:

1. von der Korngröße der Mineralien des Trägergesteins und
2. von der Mineralkombination des Trägergesteins.

Mengenmäßig bedeutende Pechblendeanreicherungen scheinen einen gewissen Korngrößenbereich vorzuziehen (Chlorit 0,02–0,08–0,2 mm, Serizit 0,01–0,03 mm, Quarz 0,05–0,2 mm). Extrem feinkörnige und sehr grobkörnige, reine Quarz-Albitpartien sind frei oder sehr arm an Pechblende. Im dazwischenliegenden Bereich geht die Korngröße und bis zu einem gewissen Grad auch der Gehalt an Pechblende parallel der Korngröße des Trägergesteins.

Die für die Pechblendeführung günstige Mineralkombination ist ein Gemenge von Serizit, mittelkörnigem Chlorit, Quarz und Albit. Serizit und Chlorit können sich vertreten, wobei aber Chlorit einen günstigeren Einfluß als Serizit auf die Pechblendeführung ausübt. Selbstverständlich kann Pechblende vereinzelt in kleineren Anreicherungen auch in großen Chloritpartien auftreten. Größere Serizite bis Muskowite sind frei von Pechblende.

Keine oder höchstens sehr geringe Pechblendemenge finden sich in reinen Serizit-Muskowit-Chloritpartien und in reinen Quarz-Albitpartien. Im ersten Fall scheint die Durchlässigkeit zu gering gewesen zu sein, und im zweiten Fall fehlte anscheinend die ausfällende Wirkung des Chlorites. Die Sulfide (Kupferkies und Pyrit) bevorzugen meistens die hellen Lagen; nur in den Phylliten finden sie sich auch in Chloritnestern.

Die im Handstück hier und da zu beobachtende Diskordanz zwischen den erzeichen Lagen und dem Nebengestein läßt sich auch im Dünnschliff verfolgen. Innerhalb der Erzzone (Trägergestein) bilden Serizit, mittel- bis feinkörniger Chlorit, Quarz und Albit ein richtungsloses Gefüge. Das Nebengestein schmiegt sich diesen Zonen an.

### d) Beobachtungen am Erzmikroskop

Die verbreitetsten Erzminerale sind: Pyrit, Pechblende, Kupferkies und Rutil. Gelegentlich treten auf: Fahlerz, Bleiglanz, Enargit, Idait, Hämatit und Magnetit. Charakteristisch ist hier das Zusammengehen von Pechblende mit Kupferkies; Pechblendereiche Partien sind ebenfalls reich an Kupferkies, doch in sehr reichen

Zonen nimmt der Kupferkies-Gehalt relativ zum Pechblende-Gehalt wieder ab. Umgekehrt brauchen kupferkiesreiche Zonen nicht hohe Pechblende-Gehalte aufzuweisen. Pyrit und Kupferkies gehen einigermaßen parallel. Die übrigen Erze treten nur akzessorisch auf.

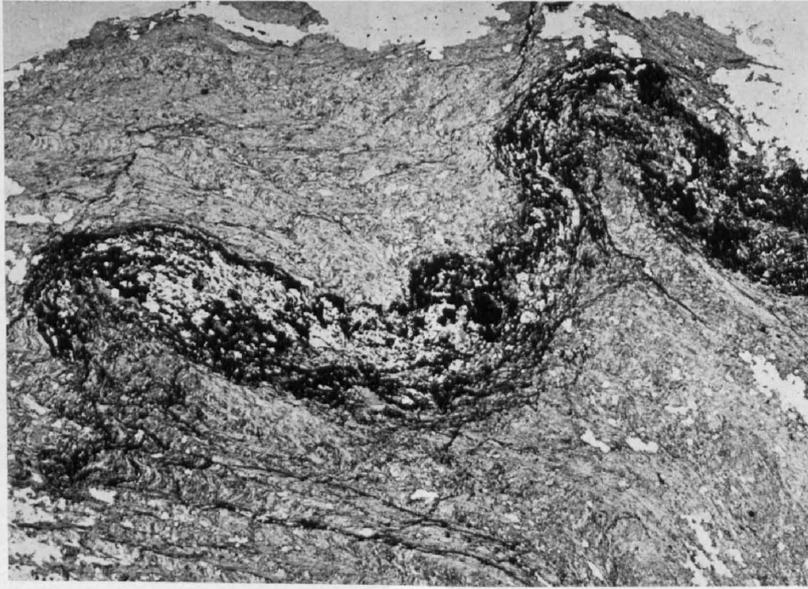


Fig. 21. Chloritphyllit mit wenig Albit bildet eine größere Falte (Spur der s-Flächen von rechts unten nach links oben verlaufend), in welcher die chloritreichen Lagen durch Scherung nochmals verfältelt wurden (links unten und oben deutlich erkennbar). Eine pechblende- und fahlerzführende Ader mit Quarz, Chlorit, Serizit und Albit durchschlägt das Gestein diskordant. In unmittelbarer Nähe des Äderchens schmiegt sich das Nebengestein an den Gang, Grand Alou. 5×.

### 3. Grand Alou

Die Mehrzahl der Fundstellen liegt in der Série de Nendaz. Zahlreiche Proben von der weitem Umgebung stammen aber wieder aus Blöcken.

Sowohl im Dünnschliff als auch im Anschliff bemerkt man eine größere Ähnlichkeit mit dem Stollenvorkommen als dies für die Vorkommen zwischen Col des Mines und Le Fou der Fall ist. Die Serizit-Albitgneise zeigen dasselbe Bild wie im Stollen. Calcit tritt in größeren Mengen auf.

Bemerkenswert ist das Auftreten eines stark diskordanten Pechblendeäderchens in einem Chlorit-Serizitphyllit (Fig. 21). Das Nebengestein bildet eine handgroße Falte, ausgebildet durch die Serizitlagen: die dazwischenliegenden Chlorit-Serizit-Quarzbänder sind in sich nochmals verfältelt. Eine etwa 3 mm breite, stark gewundene Ader mit Pechblende, Chlorit, Quarz, Albit, Serizit usw. und mit Fahlerz als wichtigstem Sulfid durchbricht das Nebengestein. Der Chlorit des Äderchens ist grobkörniger als der des Nebengesteins. In unmittelbarer Nähe schmiegen sich die Serizitlagen des Nebengesteins an die Ader. Das Nebengestein enthält nur wenig Albit, z. T. handelt es sich um gedrehte Porphyroblasten wie die Seriziteinschlüsse zeigen.

Randlich von stark undulös auslöschenden, grobkörnigen Quarz-Albitknauern mit Apatit kann feinkörnige Pechblende auch in reinen Serizitmassen auftreten.

Im Anschliff zeigt die Pechblende neben den üblichen rundlichen Formen bereits gewisse Anklänge an idiomorphe Ausbildung, wie das im Stollen häufig ist. Das Dominieren von Fahlerz ist auch für das Stollenvorkommen charakteristisch. Safflorit (evtl. Löllingit) konnte ebenfalls auch nur im Stollen nachgewiesen werden. Neu ist das Auftreten von Kobaltglanz, der mengenmäßig allerdings nicht von Bedeutung ist.

Auffallend ist, daß sämtliche erzreichen Proben aus der Série de Nendaz (Stollenvorkommen, die meisten Proben von Grand Alou und nur wenige zwischen Col des Mines und Le Fou) reich an Fahlerz bei stark zurücktretendem Kupferkiesgehalt sind. Die Proben aus den «Casanna inférieurs» führen Kupferkies und praktisch kein Fahlerz. Ob dies eine Regel ist und ob die übrigen Ähnlichkeiten des Vorkommens im Stollen mit denen von Grand Alou auf dieselbe Ursache zurückzuführen ist, müßte durch weitere systematische Untersuchungen überprüft werden.

Fig. 22–24. Anschliffflächen (a) charakteristisch vererzter Handstücke mit entsprechenden Radiographien (b).

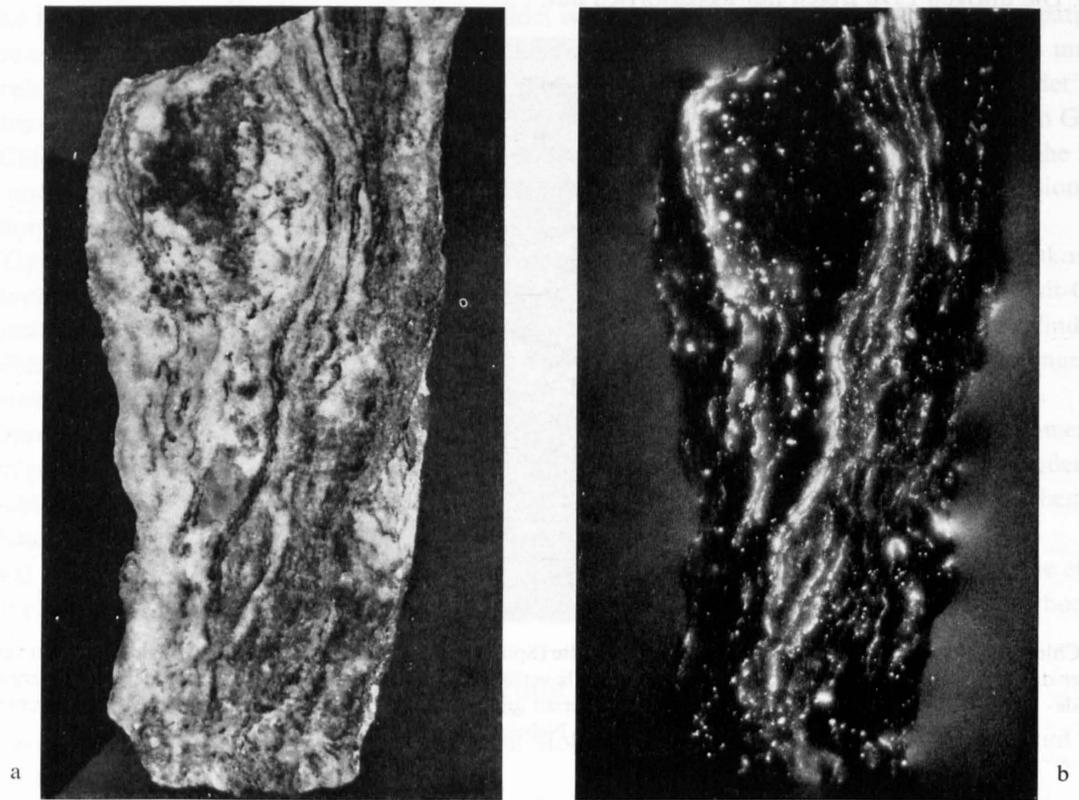


Fig. 22. Chlorit-Serizit-Albitgneis. Die Vererzung folgt zur Hauptsache den dünnen Serizit-Chloritügen. Natürliche Größe.

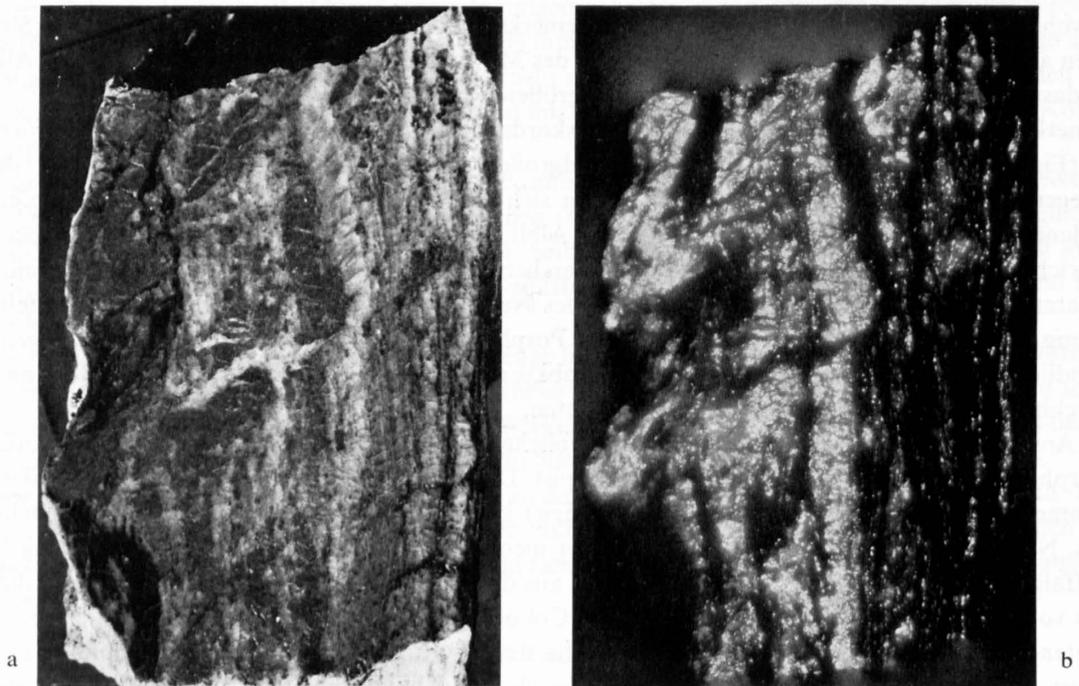


Fig. 23. Sehr quarzreicher Gneis mit breiten und dünnen, sehr intensiv von Pechblende durchsetzten Lagen. Natürliche Größe.  
Le Fou

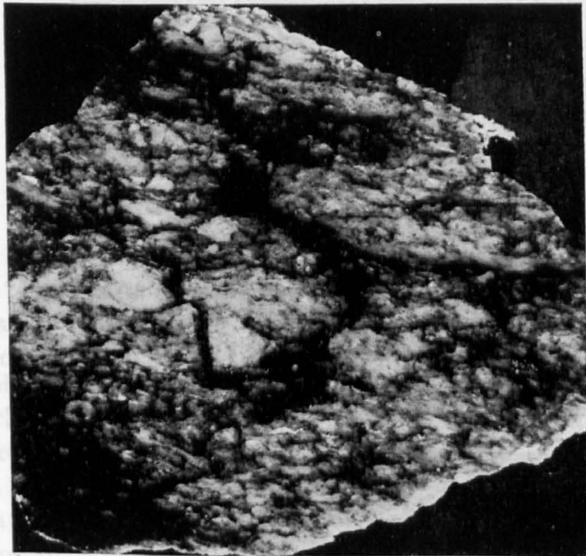


Fig. 24. Gneisprobe mit diskordanter verzweigter Vererzung. Stollen. Natürliche Größe.



Fig. 25. Radiographie einer hoch radioaktiven Probe. Stollen. Die weißen Flecken entsprechen etwa einer Pechblendekonzentration der Fig. 31. Dazwischen grobenteils netzförmige Vererzung. Etwas vergrößert.

Makrobeispiele der Anordnung der Pechblende in Gesteinen des Stollens und der Oberfläche zeigen die Radiographien, z. T. mit den zugehörigen Handstückphotos (Fig. 22–25). Die Radiographien wurden mit einschichtigen Feinkornemulsionen (Platten) gemacht. Exponiert wurde jeweils nur so lange bis die Strukturen deutlich erschienen.

## C. Einzelcharakterisierung der Erzminerale und ihrer gegenseitigen Beziehungen

### 1. Die Uranminerale

#### Pechblende

Weitaus die Hauptmenge des Urans ist als Pechblende vorhanden, und zwar sowohl in der Gel-Form (Pechblende i. e. S.) wie in der kubischen Form (Uraninit). Die Gel-Form ist häufiger und findet sich an allen Vorkommen, Uraninit scheint auf den Stollen beschränkt zu sein. Hier zeigen viele Anschliffe beide Formen nebeneinander. Ein Uraninitkern kann auch von der Gel-Form umhüllt sein.

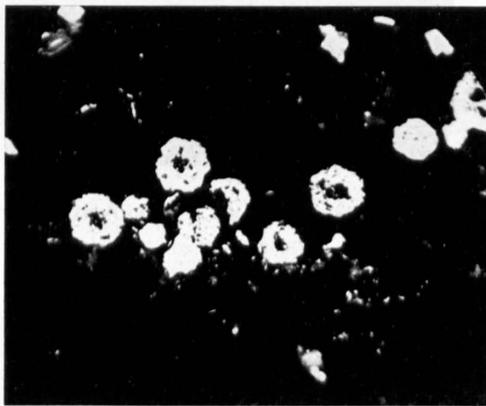


Fig. 26. Pechblendekörner mit Andeutung von kubischer Idiomorphie. Stollen. Öl, 300×.

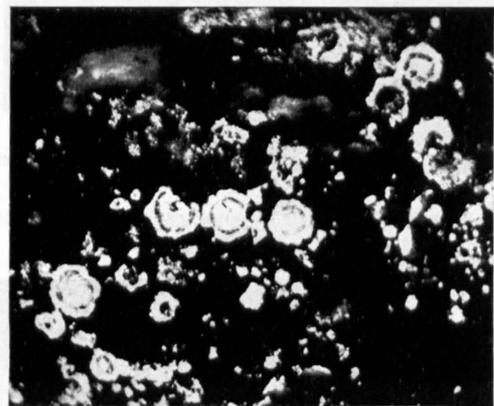


Fig. 27. Pechblendekörner in verschiedenen weit fortgeschrittenen Umwandlungsstadien. Grand Alou. Öl, 500×.

Die Ausbildung der Einzelkörner ist vorwiegend isometrisch mit den beiden extremen Umgrenzungen: vollkommene Kugel (z. B. Fig. 34, 40, Gel-Form) und deutlich kubische Idiomorphie mit sechsseitigem (Fig. 26) oder quadratischem Querschnitt (Uraninit). Die Mehrzahl der Körner ist nur andeutungsweise kubisch oder zeigt bei äußerer Rundung buchtig-lappige Umgrenzung. Oft bleibt die Zuweisung zur einen oder andern Ausbildung unsicher. Im folgenden ist nur von Pechblende (somit im weiteren Sinne verstanden) die Rede. Bei den Stollenproben ist also, wenn nicht gesondert erwähnt, hier der Uraninit inbegriffen. Vielfach sind die Einzelkörner so gehäuft, daß zusammenhängende größere Aggregate entstehen. Diese können mehrere Millimeter Ausdehnung erhalten und die verschiedensten Formen einnehmen, häufig sind ringförmige Gebilde (Fig. 31, 32). In einem Anschliff fanden sich mehrfach innerhalb größerer Aggregationen rechteckig oder sogar quadratisch geformte Silikatpartien. Große Anhäufungen sind von Auge als schwarze Flecken oder Lagen sichtbar.

Die Größe der Einzelkörner schwankt von 0,001 mm (kataklastisches Zerreibsel und kleinste Kugeln) bis etwa 0,15 mm (Einzelbruchstücke von großen Individuen). Schalige, von Schrumpfs- und kataklastischen Rissen durchzogene Kugeln erreichen Durchmesser von 0,3 bis 1 mm. In den meisten Schliffen bewegt sich die Hauptmasse im Kornbereich von 0,001 bis 0,005 mm, in andern sind viele Einzelkörner von 0,005 bis 0,02 mm und mehr vorhanden.

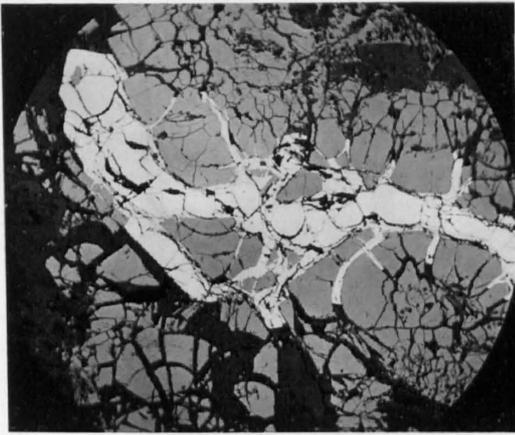


Fig. 28. Kataklastische Pechblende wird von Kupferkies verheilt ohne Verdrängung der Pechblende. Le Fou, Öl, 67×.

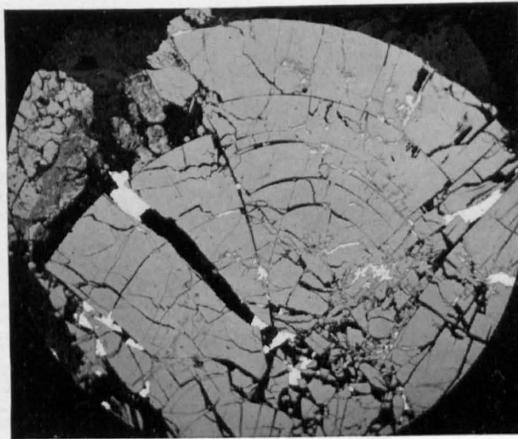


Fig. 29. Kataklastische Pechblende wird von Quarz und Kupferkies verheilt. Auf feinsten Rissen in der Pechblende etwas Limonit und Covellin in der Nachbarschaft von Kupferkies. Le Fou, Öl, 67×.

Kataklase macht sich erst von einer gewissen Korngröße an bemerkbar; kleinere Kugeln sind unverändert geblieben, größere wurden mehr oder weniger intensiv zerbrochen (Fig. 28, 29, 33). Bei den größten Kugeln scheint sich eine gewisse orientierte Spaltbarkeit bemerkbar zu machen. Solche kataklastische Produkte können gelegentlich sogar Uraninit vortäuschen.

Schliffe senkrecht zur Gesteinsschieferung zeigen deutlich, daß die Pechblende im Schlibfbereich häufig in Lagen angereichert ist, ganz dünne Züge können fast nur aus Pechblende bestehen. Konkordanz herrscht vor, doch ist auch diskordante Anordnung verbreitet. Daneben kommt auch mehr punktförmige oder netzartige, ferner unregelmäßige Verteilung vor, mit fleckenartigen Anhäufungen. Ärmere Lagen oder Teile enthalten auch in den Proben mit viel Pechblende nur wenige Körner pro Quadratmillimeter, reichere können bis zu mehreren hundert aufweisen.

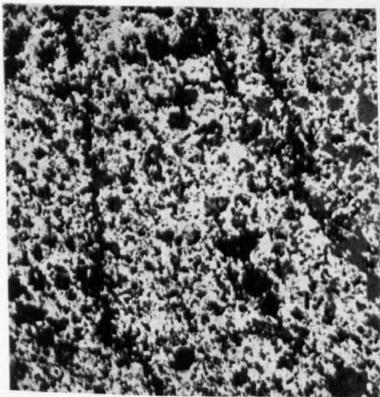


Fig. 30. Strukturbild eines stark verzweigten Fleckens, makroskopisch schwarz erscheinend. Stollen. 85×.

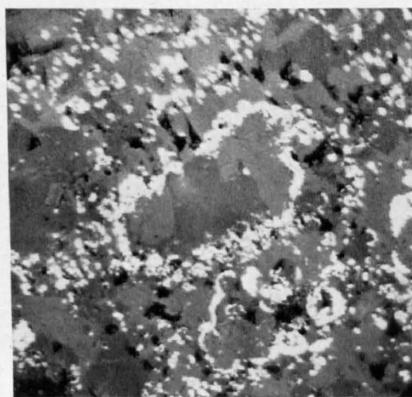
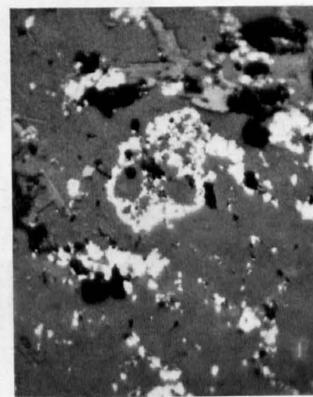


Fig. 31, 32. Pechblende bildet häufig ringförmige Aggregation. Stollen. 240×.



Die Beziehungen der Pechblende zu den silikatischen Gesteinsmineralien sind auf Seiten 37, 42, 43 beschrieben. Ausgeprägt ist die Nachbarschaft der Pechblende mit den Kupfermineralien: Einschlüsse in Fahlerz, Kupferkies und den weitem sind verbreitet. Ist nur Kupferkies oder nur Fahlerz vorhanden, so bevorzugt die Pechblende ihre Umgebung; treten beide Erze auf, so scheint sie das Fahlerz vorzuziehen. Andererseits sind im Vorkommen Le Fou gerade die pechblendereichsten Partien arm an Kupferkies und Fahlerz tritt überhaupt nicht auf. Pechblende ist auch, aber seltener, im Pyrit eingeschlossen (z. B. Fig. 37). Im großen ganzen scheinen aber keine direkteren Beziehungen zwischen Pyrit- und Pechblendeführung zu bestehen. Über die Beziehungen der Pechblende zu parapechblendearartigen Mineralien siehe unten.

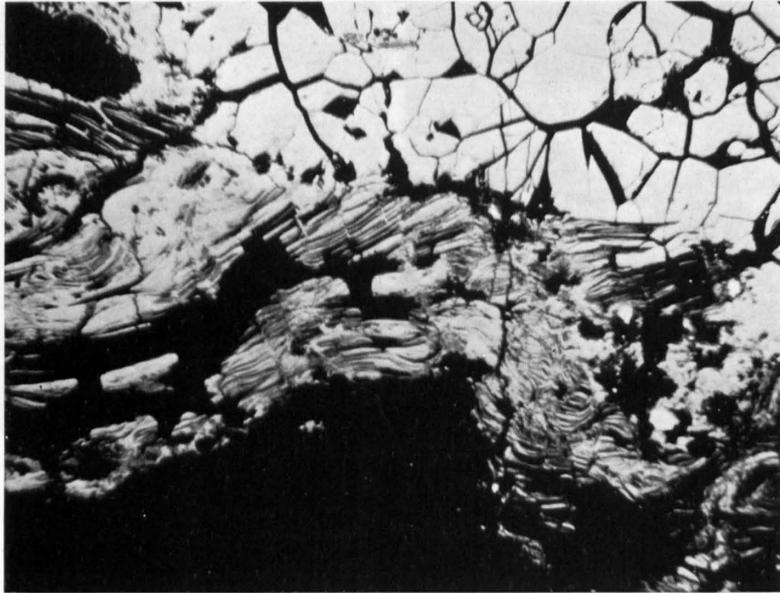


Fig. 33. Kataklastische Pechblende mit etwas Kupferkies blättert beim Eindringen in Chlorit auf. Le Fou. Öl, 250×.

Als Einschlüsse zeigen die Pechblendekörner regelmäßig kleinste Silikatschüppchen oder -körner; Kugeln können ein silikatisches Zentrum enthalten. Öfters grenzen Pechblendekörner an Rutil (Fig. 19, 36). Hier sind keine Reaktionen bemerkt worden. Von den Sulfiden wurde Pyrit und Kupferkies und Covellin als äußerst feinkörnige Gebilde im Innern von Pechblende beobachtet. In einem Falle waren diese ringförmig angeordnet. Es sind keine Anzeichen von Reaktionen von Pechblende und angrenzenden Sulfiden festgestellt worden.

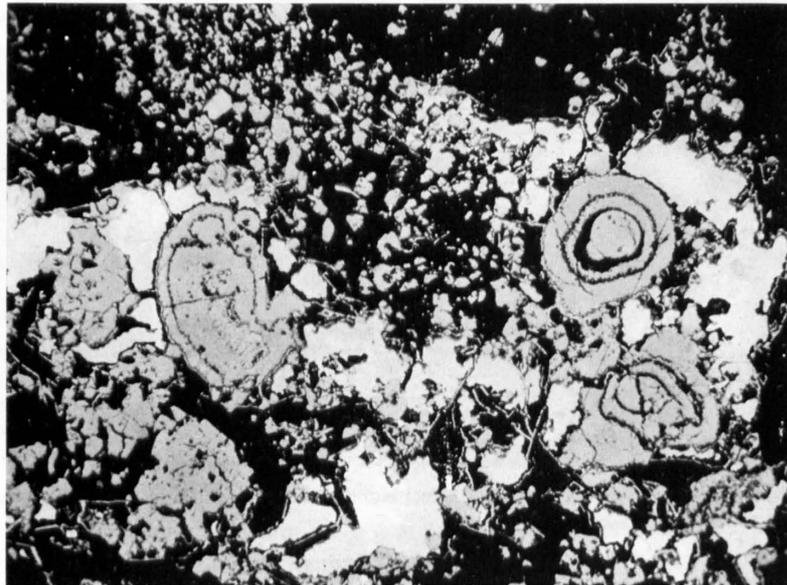


Fig. 34. Grobkörnige Pechblende mit Fahlerz, das von einer Covellinhaut umgeben ist. Grand Alou. Öl, 240×.

### Optik und Struktur

In einfach polarisiertem Licht zeigt die Pechblende sowohl in Luft als auch in Öl einen feinsten opalartigen Schimmer. In besonders günstigen Fällen kann man bereits jetzt die bei gekreuzten Nicols beobachtete Struktur (Fig. 35) an der unregelmäßigen Verteilung dieses opalartigen Schimmers erkennen. Mit Hilfe eines Brückenokulars konnte festgestellt werden, daß das RV der Walliser Pechblende etwas höher ist als das der Pechblende von Joachimstal, siehe auch die Ergebnisse der Reflexionsmessungen Tabelle 3.

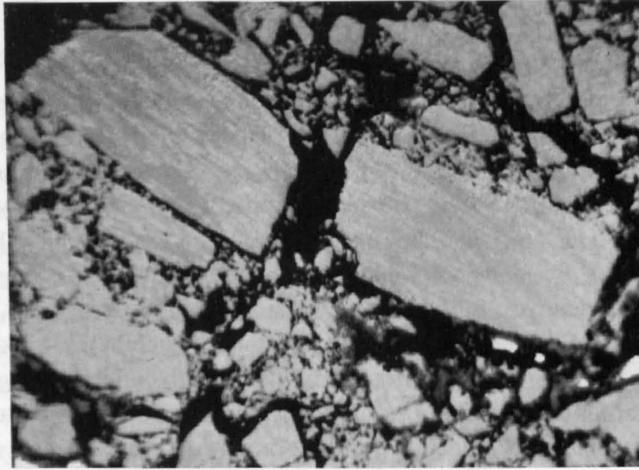


Fig. 35. Kataklastisches Pechblende-Zerreißel. Die beiden größeren Körner im Zentrum zeigen den inhomogenen Aufbau der Pechblende. Le Fou. Öl, 470×.

Hinreichend große Körner oder Aggregate von Pechblende oder Uraninit zeigen bei gekreuzten Nicols stets 2 Dunkelstellungen. Diese Erscheinung ist etwa ebenso auffallend wie die Anisotropieeffekte des Kupferkieses; allerdings ist sie kaum farbig. Uraninitaggregate zeigen den Aufbau aus Einzelkörnern. Größere Pechblendekugeln lassen einen radialstrahligen schilfigen Bau erkennen. Senkrecht dazu zeigen die Schnitte eine schachbrettartige Struktur; selbstverständlich ist die Zahl der Felder sehr beschränkt, sie können aber auch undulös auslöschen.

#### Röntgenographische und chemische Feststellungen

Im Pulverdiagramm sind die Linien etwas weniger breit, die Gitterkonstante ist etwas größer als bei der Pechblende von Joachimstal (im Pulverdiagramm konnte noch Quarz und Glimmer festgestellt werden). Eine Analyse auf Kohlenstoff, ausgeführt bei der Georg Fischer AG, ergab ein negatives Resultat. Eine spektralanalytische Prüfung auf die normalen Schwermetalle (nicht Spurenelemente) ergab die Anwesenheit von Bi (in Spuren), von Cu und von Pb (beide in ungefähr gleichen Mengen). Da in der untersuchten Probe Kupferkies in deutlichen Mengen auftritt, Bleiglanz hingegen nur unsicher als spärliche Einschlüsse im Pyrit erkannt wurde, wäre es denkbar, daß die oben beschriebenen Effekte auf submikroskopischen Einlagerungen eines Pb-Mineralen beruhen.

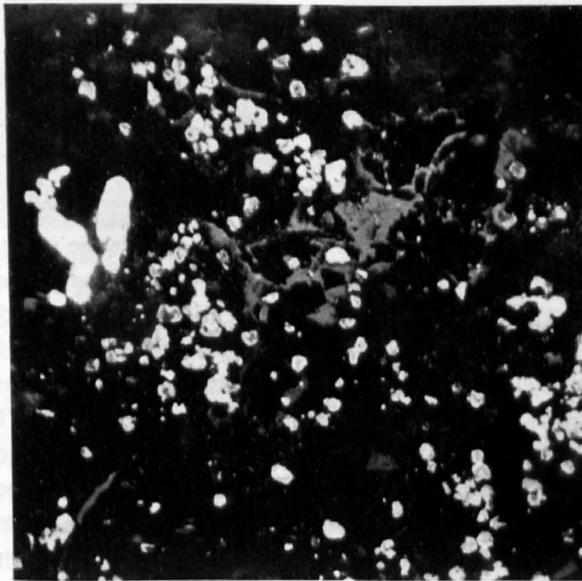


Fig. 36. Körner von Pechblende (lichtgrau), teilweise in Umwandlung in ein dunkleres Mineral begriffen. Ganz dunkelgrau: Parapechblende. Helle Prismen mit Innenreflexen: Rutil. Stollen. Öl, 580×.

## Parapechblende

Im Stollenvorkommen führen mehrere Proben mit besonders starker Anreicherung an Pechblende und in enger Beziehung zu dieser mindestens zwei Mineralien, die wenigstens teilweise der Beschreibung von «Parapechblende» in GEFFROY und SARCIA (1959) entsprechen. Diese Begleiter sind grau, beträchtlich weniger reflektierend als Pechblende, offensichtlich isotrop. Sie treten in zwei Formen auf: Einmal als Körner, etwa von der Größe und Umgrenzung der Pechblende, bisweilen eindeutig als deren Umwandlungsprodukte. Dabei werden die Pechblendekugeln oder Körner offensichtlich von innen aus verändert bis nur noch dünne Randzonen übrigbleiben (Fig. 27, 36). Bei der zweiten häufigeren Ausbildung beobachtet man gänzlich unregelmäßige Felder (Fig. 36), intensiv von Silikaten durchwachsen mit eingelagerten, völlig unzersetzten Pechblendekörnern. Oft hat man den Eindruck von Füllung feinsten Rißchen in den silikatischen Nebenmineralien durch diese Parapechblende. In einem Fall umrandet die Parapechblende Kupferglanz mit Borniteinschluß. Meistens bestehen die genannten Felder aus zwei verschiedenen hellen Komponenten, wobei die hellere vorwiegt. Auch in den reichsten Proben erlangen diese Mineralien höchstens wenige Prozente der Pechblende, spielen also praktisch keine Rolle.

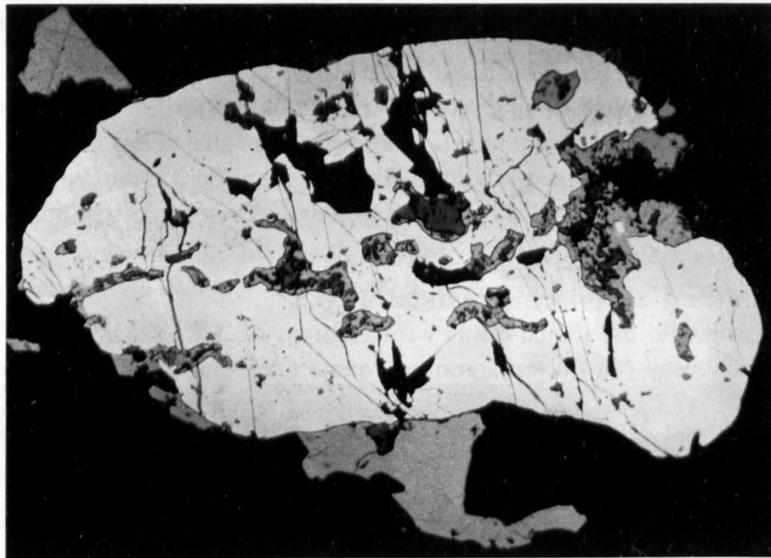


Fig. 37. Gerundetes, rissiges Pyritkorn mit Einschlüssen von Pechblende (ganz dunkelgrau) umgeben von Fahlerz (heller grau). Fahlerz verdrängt Pyrit. Schwarz: Silikate. Stollen. Öl, 240 $\times$ .

## 2. Die verbreiteten Begleiterze

### Pyrit

In vielen uranhaltigen Gesteinen, besonders des Stollens, tritt Pyrit reichlicher und regelmäßiger auf als normalerweise in der umgebenden Gesteinsserie, obwohl auch diese wie die meisten Casannaschiefer oft Pyrit enthält. Er bildet fast durchweg isolierte Körner bis über 1 mm, teilweise gut idiomorph, teilweise mit ausgesprochen gerundeten Umrissen (Fig. 37). Beide Ausbildungen können im gleichen Anschliff auftreten.

Ein erheblicher Teil der Körner (idiomorph oder gerundet) ist mehr oder weniger rissig, gelegentlich völlig zertrümmert. Zahlreiche Pyrite zeigen aber auch keine Anzeichen von Kataklyse, zum Teil wegen zu kleiner Dimensionen, zum Teil vermutlich wegen Bildung nach der klastischen Phase. Typisch sind Verdrängungen von den Rissen aus durch Fahlerz und Bleiglanz (im Stollen, Fig. 38) oder durch Kupferkies (Oberflächen-vorkommen). Als Einschlüsse kann Pyrit enthalten: Pechblende (Fig. 37) als älteres Mineral ziemlich häufig (aber spärlicher als im benachbarten Fahlerz); Kupferkies, Bleiglanz, Fahlerz, vereinzelt Bornit als vermutlich jüngere Einwanderer. Dazu kommen Quarz, Serizit und Chlorit. Die Silikateinschlüsse bilden oft Wachstumsstadien ab, auch können sie gerichtet auftreten, was diese Pyrite als späte Idioblasten kennzeichnet. Solche Pyrite sind nicht kataklastisch.

## Fahlerz

Die Reflexfarbe des Fahlerzes ist grünlich- bis bläulichgrau bei meist völliger Isotropie. Das Reflexionsverhalten verschiedener Proben ist sehr konstant (Tabelle 3); es spricht für Arsenfahlerz (bestätigt durch erheblichen Arsengehalt der analysierten Proben und durch eine Bestimmung mit der Mikrosonde, die neben viel As noch etwas Sb ergab). Die Größe der gänzlich fremdgestaltigen Felder liegt vorwiegend zwischen 0,02 und 1 mm, selten darüber (Maximum 3 mal 6 mm). Im Stollen ist Fahlerz meistens das wichtigste Sulfidmineral nach Pyrit, in einigen Anschliffen diesen übertreffend. An den Tagesaufschlüssen ist es in der Regel dagegen weniger wichtig als Kupferkies. Fahlerz und Kupferkies scheinen sich von Vorkommen zu Vorkommen, zum Teil auch innerhalb der Vorkommen bis zu einem gewissen Grad zu vertreten. Die Verteilung des Fahlerzes ist im Schliff unregelmäßig. Oft grenzen die Körner an Pyrit, und Fahlerz kann in dessen Risse eindringen (neben Bleiglanz) unter Verdrängung (Fig. 38). Es ist mit allen Kupfermineralien verwachsen und führt sie als Einschlüsse, im Stollen auch mit Bleiglanz. Oft mit Pechblende verwachsen. Verbreitet sind Einschlüsse mit Pechblendekörnern von gleicher Größe und Form wie in benachbarten Silikaten oder in Pyrit. Daneben finden sich auch Anreicherungen von Pechblende um einschlußfreies Fahlerz. Albit zeigt innerhalb oder randlich Fahlerz oft ganz charakteristische Idiomorphie (Fig. 20). Anschliffe aus dem Stollen zeigen häufig ganz dünne zierliche Randzonen von Kupferkies um Fahlerz (Fig. 39), an den Tagesaufschlüssen läßt sich als Seltenheit das Umgekehrte beobachten.

Größere Aggregate sind bisweilen leicht kataklastisch. Die Gesteinsfältelung kann sich auch im Fahlerz zeigen, analog aber weniger schön als im Kupferkies. Vereinzelt beobachtet man an den Tagesaufschlüssen Inhomogenitäten in Form von dunklen oder leicht rosa gefärbten Bändern, oft von feinsten Rissen begleitet, was als beginnende Zersetzung gedeutet wird. Auch Umwandlung in Covellin ist festzustellen.

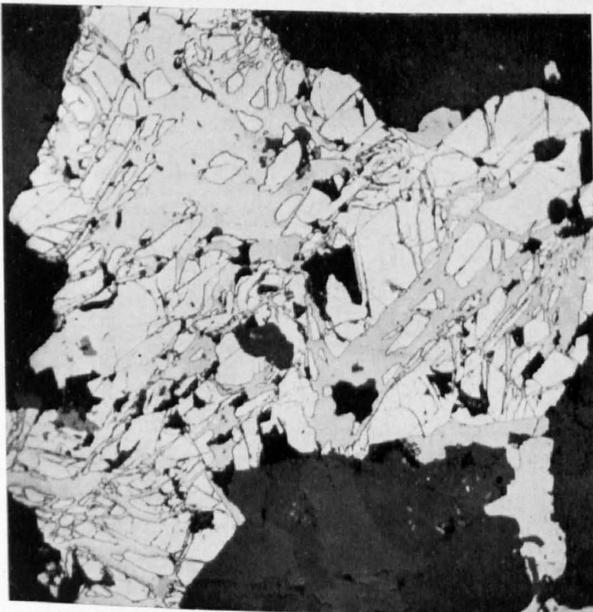


Fig. 38. Bleiglanz (hellgrau) und Fahlerz (etwas dunkler) verdrängen von Rissen ausgehend Pyrit (weiß). Stollen. Öl, 150 $\times$ .

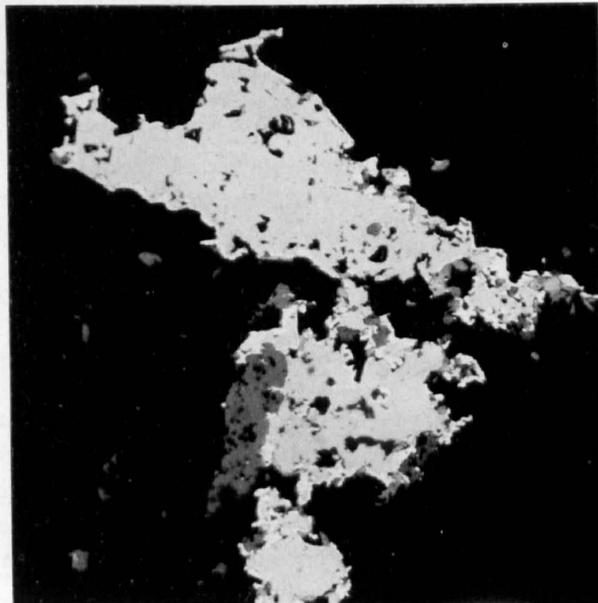


Fig. 39. Fahlerz (lichtgrau) mit ganz dünner Umrandung von Kupferkies (weiß). Dunkelgrau: Pechblende. Stollen. Öl, 260 $\times$ .

## Kupferkies

Die Tagesaufschlüsse führen Kupferkies viel reichlicher als der Stollen (auf Kosten des Fahlerzes). Er tritt meist als unregelmäßige Fetzen (einfach gebaute Aggregate) von 0,02 bis 0,06 mm auf. Gestreckte Aggregate können bis 3 mm lang und 1 mm breit werden und passen sich der Fältelung an. Auch dünne Rißfüllungen lassen sich beobachten. Zwillingslamellierung ist eher selten. Er ist verwachsen mit den andern Kupfermineralien und führt sie als Einschlüsse. Resorbierte Pyriteinlagerungen sind nicht selten. Sehr häufig sind an den Tagesaufschlüssen Einschlüsse von Pechblende. Wo sie in großer Zahl auftreten, erscheint Kupferkies von

Rissen durchzogen, die von den pechblendereichen Partien ausgehen (Fig. 40). In einem Fall treten im Kupferkies neben reichlich Pechblende Pyritkügelchen von derselben Form und Größe auf, wobei man auch Übergänge, d. h. von Pyrit durchstäubte Pechblende, beobachten kann.

### Bleiglanz

Im Stollen ist Bleiglanz etwa ebenso verbreitet wie Kupferkies, an den Tagesaufschlüssen viel spärlicher. Am häufigsten bildet er unregelmäßige Einschlüsse in Fahlerz. Sehr charakteristisch sind Rißfüllungen als Verdrängungsäste in Pyrit, meist zusammen mit Fahlerz (nur im Stollen); hier erscheint Bleiglanz seinerseits vom letztern verdrängt. Ferner findet er sich nicht selten als Rutschharnischbelag und als dünne Rißfüllung im Trägergestein. Pechblendeinschlüsse in Bleiglanz wurden vereinzelt beobachtet.

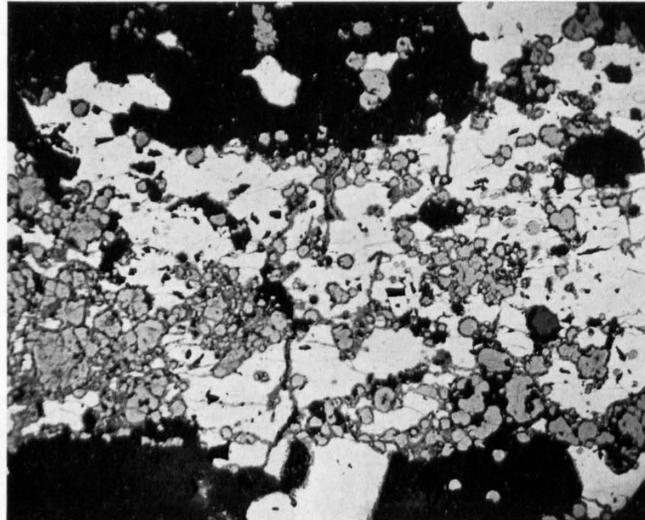


Fig. 40. Kupferkies mit zahlreichen Pechblendeinschlüssen. Zwischen Kupferkies und Pechblende befindet sich meist eine Covellinhaut. Quarz und Albit als «Gangarten». Le Fou. Öl, 100×.

## 3. Untergeordnete bis seltene Erzminerale

### Bornit

Bornit ist ein mengenmäßig ganz untergeordnetes, aber doch in vielen Anschläffen zu treffendes Mineral. Er findet sich in Aggregatgröße bis maximal 0,01 mm, in oder an Fahlerz und Kupferkies, daneben aber auch selbständig. Im Fahlerz tritt er meist zusammen mit einem ebenso großen Kupferkieseinschluß auf. Ferner zeigt der Bornit in diesem Falle orientierte Kupferkieslamellen, was auch der Fall ist, wenn er selbständig auftritt, vielleicht ein Hinweis auf die Bildungstemperatur. Bornit in Kupferkies zeigt nie solche Lamellen. Als Einschluß kann er gelegentlich Pechblende führen.

### Kupferglanz

Blauer anisotroper Kupferglanz findet sich sporadisch im Stollen und im Vorkommen Grand Alou in kleinster Menge, meist randlich verwachsen mit andern Kupfermineralien. Das Stollenvorkommen kann nicht deszendend sein. Auch grauer Kupferglanz ließ sich vereinzelt um Fahlerz feststellen. Weitere Einzelheiten siehe unter Lautit.

### Enargit

In Anschläffen der Vorkommen Les Plans und Grand Alou findet sich ein Erzmineral, dessen Eigenschaften bis auf die Anisotropiefarben (Vorherrschen blauer statt rötlicher Tönungen) so gut mit der Charakterisierung dieses Minerals in Ramdohr (1960) übereinstimmen (siehe auch das Reflexionsverhalten Tabelle 3), daß die

Diagnose als gesichert gelten kann. In Les Plans tritt Enargit spärlich mit Kupferkies auf, an dem er randlich Aggregate von wenigen Körnern bildet. In Grand Alou findet er sich in fahlerreichen Partien, teils selbständig, teils randlich von Fahlerz. Nur Pechblende wurde als Einschluß im Enargit beobachtet.

### Lautit

Nur in zwei Anschliffen aus der pechblendereichen Zone des Sondierstollens (Probennahme P) fand sich in wenigen langgestreckten, an den Enden zugespitzten Exemplaren (Länge etwa 0,5 bis über 1 mm, Fig. 41) ein Mineral mit folgenden Eigenschaften: Reflexton cremeweiß, viel weniger bräunlich als Magnetkies, weißer als Pyrit, bräunlicher als Bleiglanz. Über die Reflexionsverhältnisse orientiert Tabelle 3. In Öl ganz schwach pleochroitisch, Anisotropieeffekte stark und sehr farbig: violettbraun – graublau. Einige Körner zeigen ganz scharfe gerade Zwillingsgrenzen, andere sind feinelamellar in einer Richtung verzwillingt, auch unverzwillingte Individuen treten auf. Härte geringer als Fahlerz. Ätzung mit 20% KCN zeigte nach 20 Sek. keine Veränderung, Bornit hingegen war angegriffen. Salpetersäure 1:1 bewirkte auch nach 30 Sek. keinen Angriff.

Diese Eigenschaften sowie der Nachweis von Cu und As und das Fehlen von Bi (mittels Röntgenfluoreszenz) weisen auf das Mineral Lautit ( $\text{CuAsS}$ ). Dies wird durch eine Pulveraufnahme bestätigt. Mit der De-Wolff-Kamera ( $\varnothing$  90 mm),  $\text{FeK}_{\alpha 1}$ -Strahlung und Mn-Filter ergab sich ein Diagramm, das in den Hauptlinien und zugehörigen Intensitäten  $I/I_1 \sim 30\text{--}100$  denen des Lautits aus der ASTM-Kartei Nr. 12-738 entsprach (Vorkommen von Lautit, Marienberg, Sachsen).

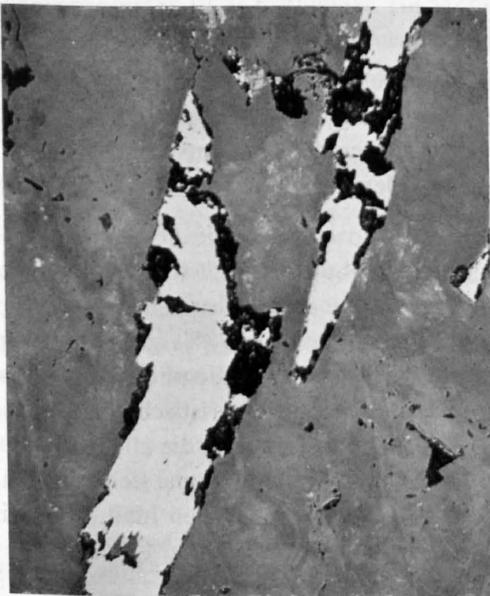


Fig. 41. Idiomorphe zugespitzte Lautitkristalle. Stollen. Öl, 90 $\times$ .



Fig. 42. Verwachsung von Lautit (lichtgrau, mit Zwillingslamellen) an ein teilweise orientiertes Gemenge von Lautit (hell) mit zwei Formen von Kupferglanz und Bornit (siehe Text S. 53). Stollen. Öl, 450 $\times$ .

Der Lautit wird randlich, hie und da auch im Korninnern (Schnittlage) von Bornit und zwei Sorten Kupferglanz begleitet (Fig. 42). Letztere sind wie folgt zu charakterisieren:

- a) Grau-blauer isotroper Kupferglanz, randlich von Bornit und reliktsch in b auftretend. Er enthält kleine Einschlüsse von Lautit mit der gleichen optischen Orientierung wie beim benachbarten Hauptkorn; es dürfte sich hierbei um Verdrängungsrelikte handeln.
- b) Blauer, schwach anisotroper Kupferglanz, verdrängt Bornit in zwei orientierten Richtungen, ebenso den isotropen Kupferglanz.

## Kupfer-Arsensulfosalz

In Begleitung von Fahlerz, Pyrit, Bornit und Pechblende (Fig. 43) wurden in mehreren Schliffen des Stollens, zum Teil als ziemlich große unregelmäßige Gebilde ein Erzmineral mit folgenden Eigenschaften festgestellt: Reflexfarbe lichtgrau mit ausgesprochenem Stich nach rosalia, deutlich heller als angrenzendes Fahlerz (siehe die Tabelle 3), Reflexionspleochroismus: in Luft ganz schwach, in Öl praktisch null. Anisotropieeffekte mäßig stark, aber sehr farbig: rotbraun-blau (z. T. mit Grünstich). Stellenweise undeutliche Felerung (vielleicht versteckte Verzwilligung). Die Härte entspricht etwa Fahlerz. Zur weiteren Charakterisierung wurden Ätzreaktionen durchgeführt: Nach 60 Sek. Ätzen mit 20% KCN wurde keine Veränderung festgestellt. Benachbarter Bornit und Gold waren schon nach 10 Sek. angegriffen. Ein Erhitzen auf 110° 2 mal 1 Stunde und 1 mal 2 Stunden bewirkten ebenfalls keine Veränderung.

Die optischen Feststellungen und die Ätzversuche würden nach GIUSCA (1930) und RAMDOHR (1960) gut mit den Daten des aus dem Dolomit vom Lengenbach im Binnatal bekannten Minerals Seligmannit ( $Cu_2Pb_2As_2S_5$ ) übereinstimmen. Eine Untersuchung mit der Mikrosonde ergab indessen nur die Anwesenheit von Kupfer, Arsen und Schwefel. Blei konnte nicht gefunden werden, auch kein Silber oder Antimon. Von den sonst in Isérables festgestellten Kupfer-Arsensulfosalzen: Arsenfahlerz, Enargit ( $Cu_3AsS_4$ ) und Lautit ( $CuAsS$ ) ist es in wesentlichen Eigenschaften verschieden. Als weitere Cu-As-Sulfosalze kämen noch der Luzonit im Sinne von RAMDOHR (wie Enargit  $Cu_3AsS_4$ ) und das neuerdings aus dem Dolomit des Binnatales festgestellte Mineral Sinnerit ( $Cu_{1,4}As_{0,9}S_2$ , MARUMO und NOWACKI 1964, GRAESER 1965) in Betracht, doch besteht auch hier keine Übereinstimmung. Eine Röntgen-Pulveraufnahme war vorderhand wegen zu geringer Materialmenge nicht möglich.

### Idait

Als Idait ( $Cu_5FeS_6$ ) bestimmt wurde ein Mineral mit ausgesprochen orangegelber Farbe und starken Anisotropieeffekten. Bei starker Vergrößerung bemerkt man zahlreiche gelbe, orientiert eingelagerte Lamellen, bei denen es sich wahrscheinlich um Kupferkies handelt. Das Auftreten des Idait entspricht dem des Bornites, er kann selbständig oder als Einschluß in Kupferkies auftreten. Der Zerfall in Kupferglanz und Covellin ist analog demjenigen des Bornites.

Idait mit Cu-Überschuss, resp. Covellin mit Fe-Gehalt.

In spärlichen Mengen, meist randlich an Kupferkies, ausnahmsweise auch selbständig, fand sich in einem Schriff ein Mineral mit folgenden Eigenschaften: Reflexfarbe braun bis rosagelb (Vergleich zu Kupferkies), Reflexionsvermögen etwas geringer als bei Enargit, Reflexionspleochroismus undeutlich, Anisotropieeffekte sehr stark, in der hellsten Stellung schmutziggelbe Farben. Besonders charakteristisch ist aber die Innenstruktur. Das Mineral ist aufgelöst in einzelnen streng parallel angeordnete Stengel, die alle einheitlich gerade auslösen. Zwischen den einzelnen Stengeln und um das ganze Aggregat herum findet sich reichlich Limonit und etwas Covellin. Nach G. FRENZEL (1959) handelt es sich um einen abnormalen Idait. Ist Cu im Überschuss vorhanden so verändern sich die Eigenschaften und zeigen die oben erwähnten Effekte.

Tabelle 3

### Reflexionsmessungen an einigen Erzmineralien ausgeführt mit dem Leitz-Mikroskop-Photometer MPE

*In Kursiv die Reflexionswerte bei CAMERON (1961)*

Pechblende, Le Fou . . . . .	16% <sup>1)</sup>
Uraninit, Stollen-Turtmann-Barneusaz . . . . .	17,1%
Pechblende, Joachimsthal . . . . .	11,5–13,5% <sup>2)</sup>
<i>Pechblende</i> . . . . .	<i>16,0%</i>
Lautit, Stollen Isérables . . . . .	31,8–32,5%
<i>Lautit</i> . . . . .	<i>32%</i>
Kupfer-Arsensulfosalz, Stollen Isérables . . . . .	30,0–31,0%
Seligmannit, Binnatal . . . . .	30,6–32,5% <sup>4)</sup>
<i>Seligmannit</i> . . . . .	<i>34%</i>

Fahlerz, Grand Alou, Stollen Isérables . . . . .	28,6–29,0% <sup>2)</sup>
Tennantit . . . . .	28,9%
Enargit, Grand Alou . . . . .	23,0–24,5% <sup>3)</sup>
Enargit, Cerro de Pasco . . . . .	25,0–28,2%
Enargit . . . . .	25,0–28,1%
Kobaltglanz, Grand Alou . . . . .	49,0–52,0% <sup>2)</sup>
Kobaltglanz . . . . .	52,7%

Die Werte beziehen sich auf Pyrit von Rio Marina (Elba), dem der Wert 54,5%, gemessen mit einem Grünfilter mit der maximalen Durchlässigkeit bei 515  $\mu\text{m}$  und einer Halbwertbreite von 50  $\mu\text{m}$ , zugeordnet wurde. Der relative Fehler der Messung beträgt ca. 1%.

<sup>1)</sup> Die Extremwerte betragen 15,7 bzw. 16,3%. Die beschriebenen optischen Erscheinungen konnten auch am Photometer beobachtet werden; beim Drehen um 360 wurden stets 2 Hell- und Dunkelstellungen beobachtet.

<sup>2)</sup> Das RV ist an verschiedenen Körnern nicht konstant.

<sup>3)</sup> Die Messung konnte nur an Aggregaten durchgeführt werden.

<sup>4)</sup> GRAESER (1965) fand wesentlich höhere Reflexionswerte (40–36, 42–36) an Seligmannit. Die oben genannten Werte wurden an Proben gemessen, die dem Belegmaterial der Arbeit GIUSCA (1930) entnommen wurden. Die Angaben von Graeser und von Giusca-Ramdohr weichen übrigens auch in der Reflexionsfarbe, den Anisotropieeffekten, dem Pleochroismus so stark voneinander ab, daß vermutlich zwei verschiedene Mineralarten als Seligmannit angesprochen wurden.

### Covellin

Dieses Mineral ist im Stollen selten, aber immerhin typisch in Proben reich an Kupfermineralien. An den Oberflächenvorkommen ist es reichlicher. Im Stollen kann der Covellin nicht deszendend sein, während er an der Oberfläche, wo er meist mit Oxydationserzen verknüpft ist, wohl zur Hauptsache deszendend ist. Normaler Covellin überwiegt, daneben findet sich auch blaubleibender neben dem normalen in Kupferglanz.

### Kobaltglanz

Das nur ganz vereinzelt in Körnern (um 0,1 mm) auftretende Erzmineral (Vorkommen Grand Alou und in Blöcken aus dem Talkessel von Le Rosey) zeigt im Gegensatz zu Pyrit keine kataklastische Beanspruchung und wird von Kupferkies auch nicht verdrängt. Ausnahmsweise zeigt er resorbierte Formen, wobei die Einbuchtungen von Pechblende und Limonit ausgefüllt sind. Weitere Einschlüsse außer Pyrit wurden nicht beobachtet. Begleiter sind Fahlerz und Kupferkies.

### Safflorit (evtl. Löllingit?)

Am Vorkommen Grand Alou wurden sehr typische sternförmige Aggregate eines hochreflektierenden Minerals festgestellt. Sie bilden einen mehr oder weniger kontinuierlichen Kranz um große Fahlerzpartien, von diesen getrennt durch einen 0,1 mm breiten Saum von Malachit. Auch im Innern des Fahlerzes finden sich einzelne Sternchen, ebenfalls von Malachit umgeben. Das Mineral ist nur wenig härter als Fahlerz und zeigt sehr starke Anisotropieeffekte. Alle Eigenschaften sprechen für Safflorit oder für den von diesem bei der Kleinheit der Gebilde fast nicht zu unterscheidenden Löllingit. Safflorit erscheint durch die Anwesenheit von Kobaltglanz in andern Proben von Grand Alou wahrscheinlicher. Der Umstand, daß das Mineral mit Malachit verknüpft ist, könnte für sekundäre Bildung sprechen. Dem widerspricht die Feststellung dieser Sternchen als große Seltenheit in einer Stollenprobe, ebenfalls als Kranz um eine Fahlerzpartie.

### Molybdänglanz

Ein im Stollen mehrfach festgestelltes, feinschuppiges, sehr weiches, ziemlich hoch reflektierendes Mineral mit kräftigen Anisotropieeffekten wird als Molybdänglanz gedeutet. Es ist in die Gesteinsschieferung eingeregelt und mit Pechblende und Rutil vergesellschaftet (Fig. 44).

## Gold

In einem Anschlag aus der reichen Erzzone der Probenahme P (Sondierstollen) gelang es gediegen Gold in mehreren Körnern nachzuweisen. Bei der in Fig. 43 abgebildeten Stelle befand es sich in einem Sulfidkomplex aus Pyrit, Fahlerz, Bornit und dem seligmannitähnlichen Cu-As-Sulfosalz, von denen die erstern drei stark von Pechblende durchsetzt sind. Ein weiteres Goldkorn des Anschliffes liegt im Bornit und grenzt direkt an Pechblende, auch ganz von Fahlerz umgeben wurde Gold gefunden.

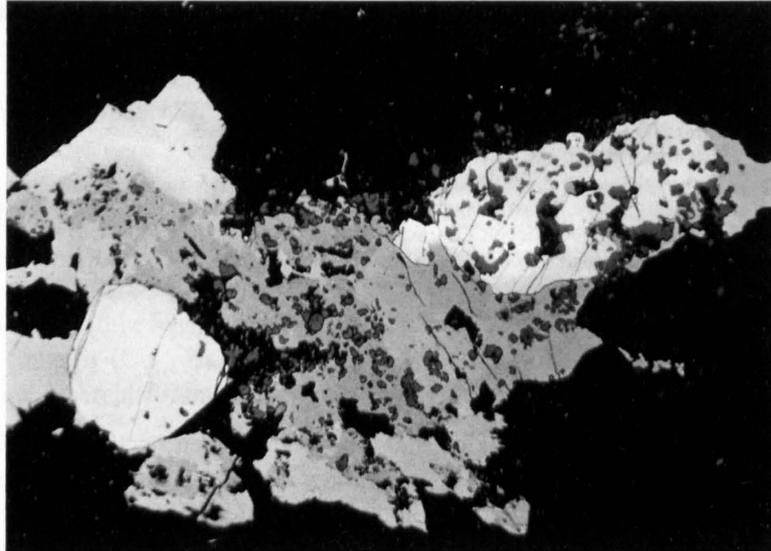


Fig. 43. Die abgebildete Partie enthält Pyrit (fast weiß, rissig), gediegen Gold (kleines, weißes Korn zwischen den Pyritkörnern rechts), Fahlerz (grau), Bornit (dunkler grau, im Zentrum), das Seligmannit ähnliche Cu-Arsensulfosalz (etwas heller als Fahlerz, z. B. links oben). Dunkelgraue Körner in Pyrit, Fahlerz, Bornit: Pechblende. Stollen. Öl, 250 ×.

## Rutil

Von den oxydischen höher reflektierenden Mineralien ist Rutil weitaus am verbreitetsten. Als Körner (meist 0,005 bis 0,01 mm) oder als idiomorphe Prismen (Länge selten über 0,04 mm), oft zu Büscheln aggregiert, ist er in allen Anschliffen zu treffen. In der Verteilung ist er gänzlich unabhängig von der Pechblende oder von den Sulfidmineralien. Bisweilen grenzt Pechblende direkt an den Rutil (Fig. 19, 36). Er kann Einschlüsse von Bornit und Kupferkies enthalten. Sehr schön bildet er die Gesteinsfältelung ab. Als späte Bildung zeigt er keine Kataklyse. Rutilaggregate sind gelegentlich pseudomorph nach Ilmenit.



Fig. 44. Schuppchen von Molybdänglanz (lichtgrau) begleitet von Pechblende (dunkler) und etwas Rutil. Stollen. Öl, 475 ×.

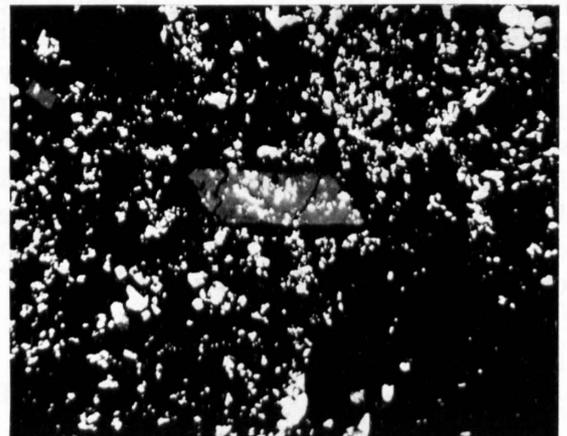


Fig. 45. Feinkörnige Pechblende, z. T. mit kubischen Formen. Im Zentrum Titanit mit Pechblendeeinschlüssen. Grand Alou. Öl, 215 ×.

## Hämatit

Findet sich in allen Vorkommen in sehr spärlicher Menge als dünne Blättchen (maximal 0,03 mm), parallel der Schieferung, ohne Beziehung zu den übrigen Erzmineralien mit Ausnahme zu Magnetit (siehe unten). Die Rosafärbung des Quarzes beruht vielleicht auf submikroskopischem Hämatit (tiefrote Innenreflexe).

## Magnetit

Nur am Lokalvorkommen Crête de Mounin fand sich Magnetit mit allerdings etwas abweichendem Verhalten. Sein Reflexionsvermögen in Luft entspricht etwa demjenigen von Zinkblende, in Öl liegt es zwischen dem von Zinkblende und normalem Magnetit. Die Reflexionsfarbe ist grau ohne den normalen Braunstich. Wolkig verteilte Partien zeigen einen perlmuttartigen Schimmer. Gelegentlich bemerkt man rote Innenreflexe. Randlich wird das anscheinend kubische Mineral von reichlich Hämatit begleitet. Das Ätzverhalten deutet auf Magnetit. Das abnormale Verhalten wird als Folge von submikroskopischen Hämatiteinlagerungen in Magnetit gedeutet.

## D. Vergleich der Vorkommen Isérables mit pechblendefreien Erzvorkommen der Casannaschiefer des Wallis

Es liegt nahe, die Begleiterze der Pechblende der Region Isérables mit den Paragenesen der verschiedenen bekannten Erzvorkommen in der Casannaschieferserie der St.-Bernhard-Decke des Wallis zu vergleichen, obwohl ein wesentlicher Unterschied besteht: Die pechblendefreien Erzvorkommen enthalten alle, wenigstens in kleinen Bereichen, die Erzmineralien als Hauptgemengteile (was zu Schürf- oder bescheidenen Abbauarbeiten Anlaß gab); bei den Pechblendevorkommen bleiben die weiteren Erzmineralien Nebengemengteile. In der äußeren Form verhalten sich Isérables und die andern mit wenig Ausnahmen aber recht ähnlich: Es handelt sich um, zur Hauptsache in der Schieferung liegende, Linsen bis Linsenzüge, mit Verzweigungen ins Nebengestein.

In der Tabelle 4 wurde versucht, die relative Häufigkeit der Erzmineralien auf den einzelnen Vorkommen darzustellen, soweit dies aus den Angaben der jeweils zitierten Literatur möglich war. Am unvollständigsten sind die Angaben für das der Lokalität Grand Alou benachbarte Vorkommen Siviez; ganz fehlt in der Tabelle wegen Mangel an Daten die Blei-Silber-Lagerstätte am Col des Mines oberhalb Verbier (auch als Vutzeret oder Vacheret bekannt), die sich in unmittelbarer Nähe der gleichnamigen Uranvererzung befindet, selbst aber keine erhöhte Radioaktivität zeigte. Vermutlich ist sie mit Siviez verwandt. (Tafel IV).

Wir können die Paragenesen der Tabelle 4 nach den Hauptmetallen in drei Gruppen gliedern:

- a) Co-Ni  $\pm$  Bi
  - b) Cu-Bi
  - c) Pb-Zn (mit Ag)  $\pm$  Cu
- } beide ohne Pb und Zn

wobei einige Übergänge bestehen.

Die Begleiterze der Pechblende sind, wie ein Vergleich zeigt, in keine der drei Gruppen einzuordnen, für a ist Kobalt und Nickel viel zu selten, Kupfer zu reichlich, für b fehlen Wismutmineralien, wogegen Bleiglanz auftritt, für c fehlt die Zinkblende, die Kupfermineralien sind weit wichtiger als Bleiglanz und zudem sehr mannigfaltiger Art. Dazu tritt in Isérables der Molybdänglanz auf.

In der Tabelle 5 wurden die Gangarten der einzelnen Erzvorkommen angeführt. Alle Vorkommen führen spezifische Gangarten, wenn auch infolge der Metamorphose und der dadurch bedingten Vermengung von Erzbildung und Nebengestein nicht immer zwischen primären Gangart- und Nebengesteinsmineralien unterschieden werden kann. Es sei an den Albit erinnert, der sowohl als Erzbegleiter wie in den Nebengesteinen von Bedeutung sein kann. Die Tabelle zeigt deutlich, daß diese Lagerstätten neben Gangquarz besonders charakteristisch Ankerit und vereinzelt Baryt in Mengen führen. Dies unterscheidet sie von den Uranvorkommen, für deren Trägergesteine höchstens Anreicherungen von Albit, teilweise auch von Kalkspat und vielleicht Chlorit eine gewisse Unterscheidung vom normalen Nebengestein gestatten. Die dunkle Verfärbung der Trägergesteine tritt allerdings optisch stärker in Erscheinung als die Gangarten der übrigen Vorkommen.

Die Nebengesteine selbst sind dagegen sehr ähnlicher Art bei allen Vorkommen: Chlorit-Serizitschiefer bis -gneise als Hauptgesteine der Casannaschiefer sind von fast überall beschrieben. Von der Mehrzahl der nicht radioaktiven Vorkommen werden noch epidot- und hornblendereiche Gesteine erwähnt, die der unmittelbaren Nachbarschaft der Pechblendelagerstätten von Isérables fehlen. Hornblende und Epidot sind häufige Mineralien der etwas höher metamorphen «Casanna inférieurs», denen die uranfreien Vorkommen angehören, während Isérables auch in der schwächer metamorphen Série de Nendaz liegt, die als Permokarbon gedeutet wird.

## E. Vergleich der Paragenesen von Isérables mit weitem Pechblendevorkommen der Alpen

Aus den Alpen sind bisher über 50 pechblendeführende Vorkommen bekannt geworden; für das westliche Alpengebiet zusammengestellt in der Übersichtskarte der Uran- und Thorium-Mineralisationen der Westalpen. Die Fundstellen verteilen sich auf verschiedenartige tektonische Elemente und Gesteinsformationen. Sie häufen sich aber eindeutig im klastischen oft reichlich vulkanische Bestandteile führenden Perm und in Gesteinsserien, die als metamorphes Perm gedeutet werden. Nähere Untersuchungen, die auf die Begleiterze eingehen und Paragenesevergleiche durchführen, liegen erst von wenigen Vorkommen vor; nur diese können vorderhand mit Isérables verglichen werden. In der Tabelle 6 ist eine Übersicht der relativen Wichtigkeit der Erzminerale dieser Vorkommen versucht worden (keines führt Begleiterze in größeren Mengen, die z. B. je zu einem Ausbeuteversuch Veranlassung gegeben hätten). Wir können nach dem Nebengestein vier Gruppen unterscheiden:

- a) Nichtmetamorphes klastisches Perm (Sandsteine): Val Rendena, Val Daone, Mürtschenalp (Pechblendeparagenese)
- b) Deutlich metamorphes Perm (Porphyroidschiefer): Preit, Rio Freddo, Bric Colmè
- c) Metamorphe Permtrias (Quarzite): Törbel-Embd
- d) Glimmerschiefer der Casannaserie, zum Teil als Perm gedeutet (Série de Nendaz), zum Teil unbestimmten Alters: Valgrisanche, Valsorey, Isérables (Série de Siviez).

Wie die Tabelle zeigt, unterscheiden sich die Gruppen a und b im Mineralinhalt nicht wesentlich. Nach CEVALES (1961) läßt Preit deutliche Umwandlungsphänomene an den Erzmineralien erkennen.

Die Tabelle ergibt für Isérables mit keinem Vorkommen völlige Übereinstimmung in Art und Wichtigkeit der Begleiterze, mit den meisten aber manche Verwandtschaft neben deutlichen Abweichungen. Der Vergleich mit den permischen Vorkommen (a und b) ergibt an Analogien: Vorherrschen des Pyrites unter den Sulfiden, Auftreten von Kupfermineralien mit Hauptgewicht auf Kupferkies und Fahlerz, Auftreten von Bleiglanz in kleinen Mengen. Die Hauptdifferenz besteht für Isérables im Fehlen von Zinkblende, die sonst fast überall angegeben wird (meist häufiger als Bleiglanz), im Fehlen von «Kohliger Substanz» resp. Graphit und im wesentlich größeren Reichtum an Mineralarten, besonders Kupfermineralien.

Völlig abweichend von Isérables ist die Mineralisierung im Vorkommen aus dem Stollen Valsorey in den «Casanna inférieurs», vor allem durch die hier große Bedeutung von Arsenkies und Magnetkies, das Erscheinen von Graphit und das Zurücktreten der Kupfermineralien. Über dieses paragenetisch außergewöhnliche Vorkommen soll in einer besonderen Arbeit Näheres berichtet werden.

Das Vorkommen Val Grisanche scheint eine Art Mittelstellung zwischen Isérables und Valsorey einzunehmen.

Die Pechblendevorkommen in den Quarziten der Permotrias von Törbel und Embd besitzen erzmikroskopisch mit Isérables zahlreiche Beziehungen (KÖPPEL, 1964), auf die hier etwas näher eingegangen sei.

1. Die Pechblende: Im Gegensatz zu Isérables ist die Pechblende dort einheitlich feinkörnig. Ausgesprochen kugelige Gebilde sind selten, dagegen sind kubische Formen verbreitet; am häufigsten sind jedoch xenomorphe Pechblendefetzen. Bei hinreichender Korngröße, und besonders bei Aggregaten, zeigt sie dieselben optischen Eigenschaften wie die Pechblende von Isérables.

Der charakteristische silikatische Begleiter der Pechblende des Mattertales ist Serizit. In besonders pechblendereichen Partien ist dieser Serizit sehr feinkörnig und intensiv verfältelt. Die Pechblende ist konkordant eingelagert und zeigt auch in derartigen Partien öfters kubische Umriss. Solche Pechblende-Lagen können sich noch über kurze Distanz als Einschlußreihen in einem bei der Verfältelung rekristallisierten Quarzpflaster fortsetzen. Auch in etwas pechblendeärmeren Partien umhüllt sie gern die größeren Glimmer.

Sowohl in den Oberflächenvorkommen von Isérables als auch in denjenigen des Mattertales sind karbonatreiche Gesteine ärmer an Pechblende als die chlorit- resp. serizitreichen. In den quarzitären Vorkommen des Mattertales konnten feinste Pechblende-Züge begleitet von Pyrit, Rutil, etwas Kupferkies und weiteren, oxydischen Mineralien auch in karbonatverdrängenden Albitblasten beobachtet werden. Offenbar wurden sie vom wachsenden Albit übernommen. In den Oberflächenvorkommen von Isérables hingegen ist die Ausbildung der Pechblende jünger als der Albit des Nebengesteins.

2. Die Sulfide: Auffallend ist das Zurücktreten der Cu-Sulfide in den Vorkommen des Mattertales. Von einem Zusammengehen der Pechblende mit Kupferkies oder Fahlerz kann nicht mehr gesprochen werden. Pyrit ist dort das verbreitetste Sulfid. Erzmikroskopisch lassen sich drei Typen unterscheiden: a) Ein Typ ist kataklastisch beansprucht und zeigt nie Pechblende-Einschlüsse; sie kann aber in den Rissen auftreten, die von einem glimmerartigen Mineral verheilt werden. Die Risse können aber auch von einem b) jüngeren, dunkleren und etwas weicheren Pyrit verheilt werden, der aber nur in den durchbewegten Partien beobachtet werden konnte. c) Ein dritter Typ tritt in nicht beanspruchten Partien auf, zeigt keine Kataklastik und weist Einschlüsse von Pechblende auf.

Primäre Kupfermineralien im Mattertal sind Fahlerz, Kupferkies und Rézbanyit (Cu-Pb-Bi-Sulfosalz). Letzteres konnte nur in den durchbewegten Proben beobachtet werden, wo er offenbar jünger als diese Bewegungsphase ist, ebenso wie der dort seltenere Kupferkies und das Fahlerz. Linneit fehlt in Isérables, ist aber in den durchbewegten Proben von Törbel ziemlich verbreitet, wo er stets jünger als Pyrit ist. Molybdänglanz ist in den Vorkommen des Mattertales immer noch selten, aber doch etwas häufiger und konstanter im Auftreten als in den Vorkommen von Isérables, wo er nur vereinzelt im Stollen beobachtet wurde.

Folgende Mineralien konnten im Mattertal nicht gefunden werden: Bornit, Enargit, das Seligmannit-ähnliche Cu-As-Sulfosalz, Lautit, Kupferglanz und Idait. Hier treten also Cu und As gegenüber Isérables stark zurück.

Folgende Mineralien treten im Mattertal auf, konnten aber in Isérables nicht beobachtet werden: Linneit (wurde in einem Pechblende-Vorkommen zusammen mit Pyrit im Val Moiry, Sex de Marenda, beobachtet), Graphit, selten Arsenkies (Graphit und Arsenkies sind charakteristische Gemengteile der U-Vererzung in Valsorey), Rézbanyit und an einigen Fundstellen in deutlichen Mengen violetter Fluorit. Ferner zeigen einige Vorkommen im Mattertal stark erhöhte Gehalte an seltenen Erden. (Vgl. hierzu S. 74.)

Vergleich der Erzparagenesen von Isérables mit pechblendefreien Erzvorkommen in den Casannaschiefern der St.-Bernhard-Decke

	Pyrit	Magnetkies	Bleiglanz	Zinkblende	Kupferkies	Fahlerz	Arsenkies	Co-Ni-Erze	Bi-Erze	Hämatit	Magnetit	Pechblende	Weitere Erze (meist ★)
<b>Turtmannal:</b>													
Kaltenberg <sup>1)</sup> . . .					★	★	★★	★★★ a)	★★	★	★★		Löllingit
<b>Val d'Anniviers:</b>													
Grand Praz <sup>2)</sup> . . .					★★		★	★★★ b)	★		★		
Biolec, Pétoliou <sup>3)</sup> . . .	★★				★★★	★★★		★★★ c)	★★				
Baicolliou <sup>3)</sup> . . .	★★				★★★	★★★		★★	★★	★			
Moulins de St. Luc <sup>4)</sup>	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★		★★	★★			Bornit, Kupferglanz, Covellin
St. Luc-Chandolin <sup>4)</sup>	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★ d)	★★	★★			Cubanit Wulfenit, Bornit
<b>Val d'Hérens:</b>													
Praz Jean <sup>5)</sup> . . .	★★	★	★★★	★★★	★★	★★							Jamesonit
<b>Val de Nendaz:</b>													
Siviez <sup>6)</sup> . . .			★★★	★★	★★								
<b>Isérables:</b>													
Stollen . . .	★★★		★★		★★	★★★				★		★★★	Molybdänglanz, Lautit, Cu-As-Sulfosalz, Gold, Kupferglanz, Bornit, Covellin
Oberfläche . . .	★★★	★	★		★★★	★★		★		★	★	★★★	Enargit, Bornit, Idait, Kupferglanz, Covellin

1) GILLIÉRON (1946).

2) HUTTENLOCHER (1925) und GILLIÉRON (1946).

3) HALM (1945).

4) SIGG (1944).

5) CHENEVAL (1947).

6) GERLACH (1873).

a) Skutterudit-Speiskobalt-Chloanthit, Kobaltglanz, Rotnickelkies, Safflorit-Rammelsbergit, Maucherit.

b) Ähnlich a), nur teilweise untersucht.

c) Linneit.

d) «Wismuthaltiger Kobaltit.»

★★★ reichlich bis verbreitet  
★★ häufig aber spärlich  
★ sehr spärlich bis vereinzelt

(alle Angaben relativ für das betreffende Vorkommen)

## Gangart und Nebengestein von Erzvorkommen in den Casannaschiefern der St.-Bernhard-Decke im Wallis

Bedeutung der Signaturen siehe Tabelle 4

	Quarz	Ankerit	Baryt	Weitere Gangarten	Nebengestein (durchweg «Casanna inférieurs»)
<b>Turtmannal:</b>					
Kaltenberg <sup>1)</sup> . . .	★★	★★★	★	Albit, Chlorit	Quarzreiche Serizit-Chloritschiefer, Hornblende-Epidotschiefer, mit Pyrit und Arsenkies imprägniert
<b>Val d'Anniviers:</b>					
Grand Praz <sup>2)</sup> . . .	★★	★★★		Chlorit, Serizit	Chloritreiche Hornblendeschiefer und Serizitschiefer, mit fahlbandartigen Zonen (Anreicherung von Pyrit und Arsenkies)
Biolec, Pétollieu <sup>3)</sup> .	★★★	★★★		Albit	Karbonatführende Serizit-Chloritschiefer bis Quarzite
Baicolliou <sup>3)</sup> . . .	★★★	★★★	★★	Albit, Chlorit	Serizit-Chloritschiefer bis Quarzite
Moulins de St. Luc <sup>4)</sup>	★★★	★★★	★★★		Zweiglimmerschiefer bis Muskowit-Chloritschiefer, lokal Glaukophan-Biotitfelse
St. Luc-Chandolin <sup>4)</sup>	★★★	★★★	★		Glimmerschiefer (Serizit, Chlorit, z. T. mit Epidot)
<b>Val d'Hérens:</b>					
Praz Jean <sup>5)</sup> . . .	★★★	★★		Chlorit, Serizit, Gips	Serizitgneise, Serizitschiefer, Prasinite, Amphibolite
<b>Val de Nendaz:</b>					
Siviez <sup>6)</sup> . . . . .	★★		★★★		Prasinite bis Amphibolite, Albitgneise

<sup>1)</sup> GILLIÉRON (1946).<sup>2)</sup> HUTTENLOCHER (1925) und GILLIÉRON (1946).<sup>3)</sup> HALM (1945).<sup>4)</sup> SIGG (1944).<sup>5)</sup> CHENEVAL (1947).<sup>6)</sup> GERLACH (1873) und SCHAER (1959).

Mit Ausnahme von Grand Praz, das als Transversalgang beschrieben ist, sind alle Vorkommen als Lagergänge bis mehr oder weniger konkordante linsige Gangzüge entwickelt, oft intensiv mit Nebengestein vermengt.

Tabelle 6

## Vergleich der Erzarparagenese von Isérables mit näher untersuchten Pechblendevorkommen der Alpen

Bedeutung der Signaturen siehe Tabelle 4

Lokalität (Nebengestein)	Pyrit	Bleiglanz	Zinkblende	Kupferkies	Fahlerz	Arsenkies	Magnetkies	Kupferglanz	Kohle bzw. Graphit	Weitere Erze (ohne Sekundärminerale)
Helvetikum:										
Mürtschenalp <sup>1)</sup> (grobe Sandsteine, Perm)	★★★	★	★★	★	★	★				Brannerit, Linneit, Millerit, Bravoit
Südalpen:										
Val Rendena <sup>2)</sup> (Arkosen, Perm)	★★★	★★	★★	★★	★★	★		★★	★★★	Ilmenit, Covellin
Val Daone <sup>2)</sup> (Arkosen und Konglomerate, Perm)	★★★	★	★	★★	★			★	★★★	Ilmenit, Covellin
Meeralpen:										
Preit <sup>3)</sup> (Porphyroidschiefer, Perm)	★★★	★	★★	★★	★★				★★★	Covellin
Rio Freddo <sup>3)</sup> (Porphyroidschiefer, Perm)	★★★	★	★	★				★		Markasit, Covellin
Bric Colmé <sup>3)</sup> (Porphyroidschiefer, Perm)	★★★	★	★	★	★	★		★	★	Covellin
Penninikum:										
Valgrisanche <sup>3)</sup> (Glimmerschiefer, «Cassanäschiefer»)	★★	★		★			★			Magnetit, Bornit, Vallerit, Molybdänglanz, Ilmenit
Valsorey, Stollen <sup>3)</sup> (Glimmerschiefer, «Cassanäschiefer»)	★★★	★	★	★	★	★★★	★★★	★★	★★	Magnetit, Brannerit, Markasit
Törbel, Embd <sup>4)</sup> (Serizit-Quarzite, Perm-Trias)	★★★	★		★	★				★	Linneit, Rézbanyit, Molybdänglanz
Isérables (Serizit-Chloritgneise, «Cassanäschiefer»)	★★★	★	★	★★	★★			★		Bornit, Enargit, Lautit, Cu-As-Sulfosalz, Idait, Covellin, Safflorit, Molybdänglanz, Gold, Hämatit, Magnetit

1) BÄCHTIGER (1963).

2) CEVALES (1960).

3) HÜGI, DE QUERVAIN, RICKENBACH (1959).

4) KÖPPEL (1964).

# Kapitel V

## Chemische und radiometrische Daten

### 1. Einleitung

Bei radiometrischen Stollenmessungen wurden die auf Seite 23 näher beschriebenen Anomalien festgestellt. Im Verlaufe der weiteren Untersuchung des Vorkommens sind eine größere Zahl von Proben chemisch untersucht worden. Zunächst ging es vor allem darum, an Handstücken Uran- bzw. Thoriumgehalte zu ermitteln. Es konnten aber auch Gehalte an größeren Proben von mehreren hundert Kilogramm bis Tonnen ermittelt werden. Generell betrachtet überwiegt in allen untersuchten Proben der Gehalt an Uran deutlich denjenigen an Thorium.

Die ersten radioaktiven Gesteinsproben (Handstückgröße) wurden am 4. resp. 8. Oktober 1957 im Zuleitungsstollen Fionnay-Rhône der Grande Dixence S.A. erhoben und im Laboratorium der Firma Gebr. Sulzer AG in Winterthur chemisch auf Uran analysiert. Die reichere Probe Nr. 571008.5 ergab 5,5% U, die ärmere Probe Nr. 571004.162 dagegen bloß 0,033% U (= 330 ppm U). Es ist mir eine angenehme Pflicht, den Herren Prof. Dr. Walti, Dr. Peter Sulzer und Dr. R. Weißer und R. Roost der Firma Gebr. Sulzer AG verbindlich zu danken. Sie haben uns mit all den wertvollen Ratschlägen und Erfahrungen auf dem Gebiet der U- und Th-Analyse sowie durch manches Entgegenkommen sehr viel geholfen. Dies alles hat uns den Start mit Urananalysen im Geochemischen Laboratorium des Mineralogisch-petrographischen Instituts der Universität Bern erleichtert. Für viele methodische Hinweise und wertvolle Mitarbeit sowie für U-Standards schulden wir Herrn A. Lenoble, dem jetzt zurückgetretenen Directeur-adjoint der DREM\*) Dank. Seinem Nachfolger, Herrn J. Lecoq, sowie Herrn A. Grimbert und weiteren Mitarbeitern der DREM gilt unser Dank im gleichen Sinne. Für Anregungen oder Mitarbeit sei folgenden Personen gedankt: Prof. Dr. H. Erlenmeyer und Pd. Dr. H. G. Seiler vom Institut für Anorganische Chemie, Basel, und Herrn Dr. Ch. Wakker, Analix S.A., Genf. Mein spezieller Dank gilt schließlich all den verschiedenen Mitarbeitern des Geochemischen Laboratoriums der Universität Bern, die im Verlaufe der letzten Jahre an der Weiterentwicklung von Analyseverfahren oder an analytischen Arbeiten mitgewirkt haben. Es sind dies Frl. Th. Güdel, M. Schaub, S. Stadler und Herr M. Kläntschli. Herr Dr. L. Rybach hat als Mitarbeiter des «Arbeitsausschusses für Atombrennstoffe» im Radiometrischen Laboratorium des Instituts für Geophysik an der ETH, Zürich, Proben radiometrisch gemessen. Hierfür sei ihm der allerbeste Dank ausgesprochen.

### 2. Methodisches

1957, wie weitgehend heute noch, müssen die im Verlaufe einer radiometrischen Feldkampagne gesammelten Gesteinsproben, insbesondere von Anomalien, im Laboratorium weiter mineralogisch und chemisch untersucht werden. Die chemische Analyse ist in besonderem Maße geeignet, die vorhandenen Mengen an Uran und Thorium zu ermitteln. Diese Elemente sind in den meisten Fällen wesentlich für die erhöhte Radioaktivität in Gesteinen verantwortlich. Außer den Zerfallsprodukten der Uran-, Thorium- und der Aktiniumreihe, mit den Muttersubstanzen U 238, Th 232 bzw. U 235, gibt es in natürlich vorkommenden Elementen radioaktive Isotope, wie K 40, Rb 87, In 115, La 138, Ce 142, Nd 144, Sm 147, Gd 152, Hf 174, Lu 176, Re 187, Pt 190 und Pt 129. Diese Isotope haben z. T. eine geringe relative Häufigkeit. Im Kalium beispielsweise beträgt die relative Häufigkeit von K 40 nur 0,012%. Bei der radiometrischen Prospektion geht es vor allem darum, die

\*) Direction des Recherches et Exploitations Minières, Commissariat à l'Énergie Atomique, Fontenay-aux-Roses (Seine) - Frankreich.

Stellen erhöhter Radioaktivität zu erfassen. Meistens müssen, wie in unserm Falle, bei Prospektionskampagnen verschiedenartige Strahlenmeßgeräte verwendet werden. Die erhaltenen Meßwerte sind daher meist nicht miteinander vergleichbar, besonders, wenn ungleiche Fels-Geometrie und andere Faktoren die Messung beeinflussen. Wie im Falle des Gotthardstraßenprofils RYBACH und HAFNER (1962) zeigen konnten, geben die Feldmessungen recht gut den Wechsel in der Radioaktivität wieder, wie er durch Labormessung nachträglich gefunden wurde. Die Normalisation der Feldmessungen drängt sich auf, um radiometrische Werte verschiedener Lokalitäten auch direkt miteinander vergleichen zu können. LECOQ et SARCIA (1964) haben diesbezügliche Vorschläge gemacht. Im Rahmen der Arbeiten der Arbeitsgruppe Nr. 5 des Comité d'Etude No 45 der Commission Electrotechnique Internationale wird geprüft, ob durch die Schaffung einer neuen Einheit es gelingen wird, in Zukunft radiometrische Messungen weltweit vergleichen zu können. Es sei in diesem Zusammenhang noch erwähnt, daß neuerdings Geräte existieren, die gestatten, Gehalte an Uran und Thorium im Felde zu messen. Solche, von ADAMS and FRYER (1964) beschriebene Gammaspktrometer sind allerdings für gebirgiges Gelände noch etwas schwer. Um methodische Fehler möglichst auszuschließen, schien es richtig, vor allem bei Großproben, vom 100-Kilogramm- bis Tonnen-Bereich, ein und dieselbe Probe nach verschiedenen Verfahren zu analysieren. Häufig wurde an ein und derselben Probe Uran photometrisch, mittels Röntgenfluoreszenz und radiometrisch ermittelt. Im letzteren Fall ergaben sich Gehalte in Uranäquivalentwerten (ppm eU) nach der von RYBACH (1961, 1962) beschriebenen Meßtechnik. Wie auf Seite 38 geschildert wird, erscheint Pechblende in den Chlorit-Serizitschiefern und -gneisen meist sehr unregelmäßig und fein verteilt. Deshalb und wegen der großen Unterschiede im spezifischen Gewicht\*) der Gesteinsminerale und des Uranerzes hält es sehr schwer, vollständig homogene Proben zu erhalten. Besonders bei Großproben ist dies, trotz verschiedenen Vorsichtsmaßnahmen, meist nur bis zu einem gewissen Grade erreichbar. Großproben wurden zuerst gebrochen (ca. 20 mm), auf Blechen gut durchgeschaufelt, der Kegel im herkömmlichen Sinne geviertelt. Bei den P- und Q-Proben (s. S. 15) erfolgte die Aufteilung beim ersten Kegel je in Proben P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub> bzw. Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>, die getrennt weiter heruntergekegelt wurden, bis für die Untersuchung bestimmte Einzelproben von je 10 kg vorlagen. Die anschließende Behandlung bestand im Brechen und Mahlen mittels Steinbrecher (Backenbrecher) und Hammermühle auf Feinheit < 0,06 mm und dem Mischen mittels eines «Divisionneur-échantillonneur». Durch Zerkleinern und Mahlen von Quarz\*\*) der Reihe nach in Steinbrecher, Hammermühle, Kugelmühle, wurde geprüft, welche Metalle, außer Fe, als Verunreinigung in das Mahlgut gelangen. Der gemahlene Quarz wies einen Fe-Gehalt von 0,77 Gew. % auf (photometrisch mit Dipyridil). Die Werte für Cu, Ni, Mn, Ti und U wurden chromatographisch in Mengen um 1 ppm oder deutlich kleiner nachgewiesen. Cr, Zn, Mo und Co waren nicht mehr erkennbar. Die an verschiedenen Proben ermittelten Gehalte von Begleitelementen des Urans dürften also durch den Mahlvorgang kaum beeinflusst sein. In gewissen Fällen mußten Proben zwischendurch gesiebt und in einer Kugelmühle weiter zerkleinert werden. Angestellte Versuche zeigten, daß selbst nach sehr vorsichtigem Mischen und anschließender, wiederholter Entnahme von Gesteinspulver aus einem Vorrat von 10 kg sich Gehaltsunterschiede ergaben, die nur z. T. analysenbedingt sein können (siehe Analysen-Serien I und II der Tab. 7). Nach einer weiteren Entnahme einer größeren Probe aus dem Vorrat für Serie I wurden die Proben P<sub>4</sub> und Q<sub>4</sub> in Bern (Labor 1) und im Labor der Firma Gebr. Sulzer AG analysiert. Im Labor 1 ergab der Mittelwert für P<sub>4</sub> = 0,128, für Q<sub>4</sub> = 0,067 Gew. % U; für einen mitanalysierten U-Standard ergab sich eine Abweichung von 1,1 % (relativ) vom Sollwert. Für Sulzer (Labor 5) lauten die Daten P<sub>4</sub> = 0,138 Gew. % U (Unterschied gegen Wert Labor 1 = 7,2% relativ), für Q<sub>4</sub> = 0,065 Gew. % U (Unterschied gegen Labor 1 = 3% relativ). Die Differenz zwischen den beiden P<sub>4</sub>-Werten der Serie I = 0,167 — 0,128 beträgt = 0,039 = 24%, d. h. mehr als der oben genannte Unterschied der von Labor 1 und 5 gefundenen Werte für P<sub>4</sub>. Für Q<sub>4</sub> beträgt die gleiche Abweichung 2%, also etwas weniger als die Abweichung der Analysendaten der beiden Labors. Die Probe P<sub>4</sub> ist weniger homogen als Q<sub>4</sub>. Es genügt daher nicht, allein den methodischen Analysenfehler möglichst klein zu halten, sondern es muß in jedem Fall eine größere Zahl von Analysen an ein und derselben Großprobe ausgeführt werden, um bei nicht völlig homogenisierbaren Großproben einen möglichst guten Durchschnittswert zu erhalten.

Zu den seinerzeit angewandten Analysenverfahren zur photometrischen U-Bestimmung, die inzwischen bereits wieder modifiziert wurden, sei kurz folgendes bemerkt: In der Regel wird 1 g feingemahlene

\*) Spez. Gewicht für Quarz, Feldspat, Serizit, Chlorit 2,6–2,9; für Pechblende 9–10.

\*\*) Technischer Quarz der Porzellanfabrik Langenthal mit Fe < 0,02 Gew. %.

Analysenpulver mit Ätznatron (beispielsweise 4 g) und Natriumnitrat (0,4 g) aufgeschlossen. Später wurde dieses Verfahren abgeändert und mit Flußsäure (40%) und Perchlorsäure (40%), z. B. im Verhältnis 1:1, aufgeschlossen. Aus der mit Salpetersäure und Salzsäure erhaltenen Aufschlußlösung ist das Uran nebst begleitenden Elementen, wie Fe, Al usw. mittels Ammoniak auszufällen. Die abfiltrierten Hydroxyde werden in Salpetersäure gelöst, in Platinschale eingedampft und der Trockenrückstand in einer kaltgesättigten Lösung von  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  aufgenommen. Aus dieser Lösung läßt sich das Uranylнитrat mit Äthylazetat quantitativ ausschütteln und nach entsprechender Weiterbehandlung und Zugabe von  $\text{NH}_4\text{CNS}$  wird das Uran bei 3900 Å spektralphotometrisch bestimmt (Hilger Uvispek). Die Analysen im Geochemischen Laboratorium Bern und im Chemischen Laboratorium der Firma Gebr. Sulzer AG in Winterthur sind mit Ammoniumthiocyanit als Komplexbildner durchgeführt worden. In dem eingangs genannten Laboratorium des CEA in Fontenay-aux-Roses ist zur photometrischen Bestimmung des Urans Dibenzoxylmethan, im Institut für Anorganische Chemie der Universität Basel 1'-Uranyl-pyridyl-azo-naphtol benutzt worden. Zur Kontrolle der Analysenresultate standen U-Standards verschiedener Laboratorien zur Verfügung\*). Der relative Analysefehler schwankt zwischen 0,5–8% relativ. Wie bereits auf Seite 64 erwähnt, können, besonders in Großproben, die durch Inhomogenitäten bedingten Schwankungen in ein und derselben Probe größer sein.

Mittels Röntgenfluoreszenz sind außer Uran eine Reihe weiterer Elemente im Laboratorium Analix S.A. von Dr. Wakker (Genf) bestimmt worden. Es wurde ein Philips-Gerät PW 1520 mit Szintillator und Diskriminator verwendet. Zur Analyse von Ba, Zr, Rb und As diente ein Topaskristall, für die übrigen Elemente ein solcher aus LiF. Für die Elemente U, Pb, Y, Sr, As und Zn wurde eine Röhre mit Mo-Anode, für die übrigen eine solche mit W-Anode benutzt. Bei Gehalten über 1% erfolgte die Bestimmung an einer Pulvermischung von 200 mg Gestein mit 8 g  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$  und Vergleichsmischungen. Bei Gehalten unter 1% war das Vorgehen folgendes: Messung der Linie des zu bestimmenden Elementes und des Untergrundes an einem Preßling des Gesteinspulvers von 27 mm Durchmesser und einem analogen Preßling, dem aber 1000 ppm des zu ermittelnden Elementes beigelegt wurden. Auf diese Weise war es möglich, die Matrixeinflüsse und die gegenseitige Beeinflussung anwesender Elemente in den verschiedenen Gesteinen zu berücksichtigen. Wegen auftretender Linienkoinzidenzen sind die Werte von Zr, Rb und As in Gegenwart von viel Uran nicht besonders genau. Nicht erfaßbar waren Elemente leichter als Ca. Es sind auch Analysen an Preßlingen ausgeführt worden, die wie folgt hergestellt wurden: Entfernen der Kieselsäure aus der Gesteinsprobe mittels HF, schmelzen des Rückstandes mit  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ , pulverisieren und pressen. Die Proben m1 und m5 sind mittels beider Verfahren analysiert worden und die festgestellten Gehaltsunterschiede gehen aus Tabelle 10 und 11 hervor.

Schließlich sei für die angewandte radiometrische Methode auf die Arbeit RYBACH (1961) verwiesen, wo Dr. Rybach die von ihm entwickelte Meßtechnik beschrieben hat.

Tabelle 7

Urangehalte in Gew. % der P- und Q-Proben aus dem Sondierstollen der Galerie Isérables

Analysenserie . . . . .	I	I	II	II	II
Labor . . . . .	1	2	1	3	4
P 1 . . . . .	0,161(6)	0,160	0,134(8)	0,187	
P 2 . . . . .	0,158(6)	0,150	0,138(10)	0,170	
P 3 . . . . .	0,162(4)	0,140	0,109(8)	0,154	
P 4 . . . . .	0,167(4)	0,150	0,094(8)	0,128	0,072
Mittel . . . . .	0,162	0,150	0,118	0,159	
Q 1 . . . . .	0,073(7)	0,075	0,054(8)	0,085	
Q 2 . . . . .	0,074(6)	0,066	0,055(6)	0,088	
Q 3 . . . . .	0,070(6)	0,057	0,045(5)	0,088	
Q 4 . . . . .	0,081(6)	0,075	0,075(4)	0,097	0,043
Mittel . . . . .	0,074	0,068	0,057	0,089	

\*) Standards der Laboratorien wie New Brunswick Laboratory (USA), Teddington (England) und CEA (Frankreich).

Legende zu Tab. 7:

Analysenserie I und II entsprechen einer ersten und zweiten Entnahme von je einigen hundert Gramm Analysenmaterial aus dem Vorrat von 10 kg Gesteinspulver (siehe Seite 64).

Labor 1: Geochemisches Laboratorium der Universität Bern.

Labor 2: Laboratoire de la Direction des Recherches et Exploitations Minières (DREM) du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA).

Labor 3: Laboratoire du Dr. Ch. Wakker, Analix S.A., Genève.

Labor 4: Institut für Anorganische Chemie, Universität Basel.

Zahlen in Klammern (Kolonne I, 1, und II, 1) = Anzahl Analysen.

Probe P stammt aus der Nische P bei m 0 — m 1,5 und Probe Q aus Nische Q bei m 13,5 — m 14,5 des Sondierstollens.

### 3. Die Gehalte an Uran und Begleitelementen im Sondierstollen

Wie im Kapitel I auf Seite 15 ausgeführt ist, wurden im Sondierstollen mehrere Großproben entnommen, um an größeren, mineralisierten Gesteinsproben u. a. den durchschnittlichen U-Gehalt zu ermitteln. Es sind dies einerseits die Proben P und Q aus den gleichnamigen Nischen mit 6 t bzw. 3,6 t unsortiertem Material, aus dem durch wiederholte Teilung die zur Untersuchung bestimmten Proben P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub> und Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub> von je ca. 10 kg gewonnen wurden, und andererseits eine durch Absprengen einer Gesteinsplatte von der linken Stollenwand von m 0 bis m 19 erhaltene Probe von 35,9 t, die meterweise gesammelt die Einzelproben m<sub>1</sub>–m<sub>19</sub> lieferte. Die Größe dieser verschiedenen Einzelproben schwankte zwischen 1206 und 2680 kg, und aus ihnen wurden, in gleicher Weise wie bei den Nischenproben, je 10 kg wiegende, für die Untersuchung bestimmte Proben gewonnen. Alle diese Proben wurden wie auf Seite 64 angegeben für die chemische Analyse vorbereitet.

Die nachstehende Tabelle 7 enthält die erhaltenen U-Werte für die P- und Q-Proben. Wie bereits auf Seite 64 erwähnt, müssen die Unterschiede in den Analysenzahlen ganz wesentlich auf inhomogene Pulvermischungen und nur zum Teil auf methodische oder Analysenfehler zurückgeführt werden. Immerhin ist zu beachten, daß bei der Röntgenfluoreszenzanalyse eine wesentlich kleinere Analysenprobenmenge abgestrahlt wird, als etwa die photometrische Analyse erfaßt. Inhomogenitäten wirken sich beim erstgenannten Verfahren stärker aus. Es sei in diesem Zusammenhang noch festgehalten, daß die Unterschiede der verschiedenen P-Proben in den Kolonnen (Tab. 7) I, 1 = 90, I, 2 = 200, II, 1 = 440, II, 3 = 600 ppm U betragen. Für Q-Proben betragen die entsprechenden Werte 110, 180, 300 und 120 ppm U. Bei den P-Proben ist die Streuung bei der Röntgenfluoreszenzanalyse am größten. Die Verteilung des Urans auf die vier verschiedenen Teilproben P und Q ist relativ gleichmäßig. Für die oben erwähnte, gesamthaft zwischen m 0–m 19 abgesprengte, Felskubatur von 35,9 t ergibt sich ein mittlerer U-Gehalt von 340 ppm.

Tabelle 8

#### Gesamtchemismus der Probenahmen im Sondierstollen

	P <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub>	Gew. %
SiO <sub>2</sub> . . . . .	65,82	71,79	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	13,03	11,40	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	4,47	3,62	
MnO . . . . .	0,07	0,05	
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,33	0,19	
CaO . . . . .	3,19	2,34	
MgO . . . . .	1,41	1,36	
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,80	1,30	
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,30	4,80	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,13	0,05	
Glühverlust . . . . .	4,18	2,87	
	<u>98,73</u>	<u>99,77</u>	

Der Gesamtchemismus ist durch Herrn Chr. Bühlmann im Geochemischen Laboratorium der Universität Bern an den Proben P<sub>1</sub> und Q<sub>1</sub> ermittelt worden. Dabei geschah dies nach den in diesem Labor verwendeten Schnellmethoden: NaOH-Aufschluß für SiO<sub>2</sub>; der HF-HClO<sub>4</sub>-Aufschluß dient der kolorimetrischen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-MnO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Bestimmung, während Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO komplexometrisch und Na<sub>2</sub>O und K<sub>2</sub>O flammenphotometrisch bestimmt werden. Die Daten gibt die Tabelle 8.

Tabelle 9 enthält die röntgenfluoreszenzanalytisch ermittelten Werte an Uran und verschiedenen Begleitelementen in den P- und Q-Proben. Dabei ist von der Analix S.A. das Verfahren ohne Schmelze verwendet worden (S. 65). Vor allem fällt der im Vergleich zum Uran durchwegs niedrigere Thoriumgehalt auf. Mit niedrigerem U-Gehalt in den Q-Proben erscheinen die Gehalte folgender Elemente ebenfalls kleiner: As, Ba, Cr, Cu, Ni, Rb, Ti. Andere Elemente variieren in den P- und Q-Proben wenig, so Ga 40–60 ppm, Y 20–50, Zn 100–150. Pb dagegen erscheint, im Gegensatz zu andern Fällen, in den Q-Proben etwas höher als in den P-Proben (Anwesenheit von Zerfallsblei + Bleiglanz!). Die Sr-Werte sind in den Q-Proben etwas höher, die Mn-Werte dagegen in den P-Proben. Wenn auch die Spurengehalte der Einzelminerale nicht bestimmt worden sind, so ist nach allgemeinen geochemischen Regeln anzunehmen, daß die Gehalte an Ag, As, Cu, Ni, Pb, Zn mit erzmikroskopisch beobachtbaren Sulfiden und Sulfosalzen in Beziehung stehen. Die Ti-Gehalte werden vor allem durch vorhandenen Rutil und Titanit, der Zr-Gehalt durch Zirkon, verursacht. Nach allgemeinen geochemischen Überlegungen dürften die übrigen Spurenelemente vorwiegend an Silikatmineralien gebunden sein, beispielsweise Ba, Sr an Feldspäte, Cr an Chlorit und Muskowit-Serizit, Ga an Feldspäte und Muskowit-Serizit und Rb vor allem an Muskowit bzw. Serizit. Die Y-Werte sind in den Proben des Raumes Isérables nicht besonders hoch; im Mattertal (Fig. 1) dagegen wurden in U-reichen Proben Y-Gehalte bis 5100 ppm gefunden sowie Gehalte über 100 ppm an verschiedenen seltenen Erden wie Dy, Gd, Sm (s. HÜGI, 1963 und 1965).

Tabelle 9

### Gehalte an Uran und Begleitelementen in den P- und Q-Proben

(Siehe Tabelle 8.) Alle Werte in ppm = g/t (für Ca in Gew.%).

Element/Probe . . . . .	P 1	P 2	P 3	P 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4
Ag . . . . .	–	–	–	ca. 10	ca. 10	–	10	10
As . . . . .	330	310	350	220	80	100	100	100
Ba . . . . .	195	190	130	105	75	35	65	65
Ca . . . . .	2,6*)	1,9*)	2,0*)	2,1*)	1,9*)	1,8*)	1,9*)	1,2*)
Cr . . . . .	80	100	80	80	40	50	50	40
Cu . . . . .	700	710	710	440	220	250	260	210
Ga . . . . .	50	50	60	40	50	50	50	50
Mn . . . . .	800	680	660	660	620	610	540	470
Ni . . . . .	80	70	70	60	50	50	50	40
Pb . . . . .	160	160	140	140	240	230	250	240
Rb . . . . .	100	120	90	70	20	20	30	20
Sr . . . . .	160	140	130	140	180	220	180	190
Th . . . . .	30	20	20	20	30	10	20	30
Ti . . . . .	3830	3940	3480	2850	2210	2120	1760	1700
U . . . . .	1870	1700	1540	1270	850	880	880	970
Y . . . . .	50	50	40	30	30	30	20	20
Zn . . . . .	150	120	130	110	100	100	100	100
Zr . . . . .	100	100	50	60	–	–	–	–

\*) Werte für Ca in Gew.%. – Werte unter Nachweisgrenze.

Tabelle 10

## Urangehalte der Proben m 1 bis m 19 des Sondierstollens der Galerie Isérables

Alle Gehalte in ppm = g/t (Kolonne 1 und 2).

Gehalte in	1	2	3
	ppm = g/t		ppm eU
m 1 . . . . .	1830	2300 2450*	2150
m 2 . . . . .	560	750	580
m 3 . . . . .	324	380	330
m 4 . . . . .	170	110	105
m 5 . . . . .	212	220 220*	220
m 6 . . . . .	83	120	87
m 7 . . . . .	200	290	218
m 8 . . . . .	88	150	111
m 9 . . . . .	34	60	43
m 10 . . . . .	79	70	44
m 11 . . . . .	58	110	90
m 12 . . . . .	195	270	210
m 13 . . . . .	322	290	310
m 14 . . . . .	390	2200	385
m 15 . . . . .	283	720	315
m 16 . . . . .	230	390	260
m 17 . . . . .	73	140	87
m 18 . . . . .	610	790	630
m 19 . . . . .	715	770	760

Kolonne 1: Geochemisches Laboratorium der Universität Bern.

Kolonne 2: Laboratoire Analix S.A., Genève. Die mit \* bezeichneten Werte sind nach dem auf S. 65 erstgenannten Verfahren (Gesteinsproben-Preßlinge), die übrigen nach dem letztgenannten ( $K_2S_2O_7$ -Schmelze).

Kolonne 3: Radiometrisches Laboratorium des Institutes für Geophysik ETH, Zürich. (Angaben in Uranaequivalenteinheiten = ppm eU)

Tabelle 11

## Gehalte an Uran und Begleitelementen in den Proben m 1 bis m 19 des Sondierstollens der Galerie Isérables

Alle Gehalte in ppm = g/t.

Element/Probe	m 1	m 1	m 2	m 3	m 4	m 5	m 5	m 6	m 7	m 8	m 9
As . . . . .	450	*	220	170	150	210	*	150	140	80	50
Ba . . . . .	160	150	170	170	150	130	115	110	100	160	210
Ca . . . . .	16500	14000	12800	11700	9700	9700	9500	8200	12500	12400	28000
Cr . . . . .	80	80	50	40	30	50	80	30	40	25	50
Cu . . . . .	1100	1100	410	220	180	300	320	190	220	80	80
Ga . . . . .	30	40	30	30	40	40	40	30	30	30	30
Mn . . . . .	530	540	430	360	320	360	350	280	440	390	850
Ni . . . . .	50	60	30	20	25	20	40	25	25	20	30
Pb . . . . .	230	210	130	130	90	80	80	30	30	20	30
Rb . . . . .	130	130	130	120	110	90	80	100	70	120	110
Sr . . . . .	120	120	120	120	100	90	90	80	100	110	170
Th . . . . .	20	30	40	-	10	10	10	20	20	30	20
Ti . . . . .	3150	3140	2300	1850	1700	1700	1630	1650	1750	1800	2300
U . . . . .	2300	2450	750	380	110	220	220	120	290	150	60
Y . . . . .	40	40	50	50	60	60	40	50	50	50	50
Zn . . . . .	150	150	90	70	60	70	70	50	50	50	50
Zr . . . . .	90	80	110	100	100	50	40	100	100	110	120

Element/Probe	m 10	m 11	m 12	m 13	m 14	m 15	m 16	m 17	m 18	m 19
As . . . . .	40	60	80	80	450	110	80	120	90	70
Ba . . . . .	200	250	280	170	180	80	100	90	100	90
Ca . . . . .	31000	24000	42000	74000	17400	23200	5800	6000	4800	6300
Cr . . . . .	70	60	110	120	80	60	30	30	60	120
Cu . . . . .	45	80	120	120	920	130	80	40	40	40
Ga . . . . .	30	40	30	30	30	30	30	30	30	30
Mn . . . . .	990	810	1300	1700	580	710	240	210	320	480
Ni . . . . .	45	40	65	70	45	35	20	20	35	55
Pb . . . . .	40	30	50	60	210	130	140	80	80	60
Rb . . . . .	100	100	80	60	140	50	80	70	90	90
Sr . . . . .	180	160	250	350	120	200	160	150	210	360
Th . . . . .	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Ti . . . . .	3100	2900	4600	5300	3200	2400	1650	1400	1950	4450
U . . . . .	70	110	270	290	2200	720	390	140	790	770
Y . . . . .	40	50	50	40	50	30	40	40	40	50
Zn . . . . .	70	70	100	110	140	80	55	45	85	115
Zr . . . . .	110	110	120	130	120	100	90	110	90	140

Die Proben m 1 usw. sind durch das Laboratoire du Dr. Ch. Wakker, Analix S.A., Genève, analysiert worden, wobei das  $K_2S_2O_7$ -Schmelzverfahren angewendet wurde (siehe Seite 65). Die für die Proben m 1 und m 5 erhaltenen Werte, Kolonne \*, sind an Gesteinspulverpreßlingen erhalten worden, ohne Schmelzen (siehe Seite 65). In einzelnen Fällen lag der Th-Wert unter der Nachweisgrenze: -.

Die Tabelle 10 gibt die Urangelhalte der m-Proben, wie sie in verschiedenen Labors ermittelt wurden. Im allgemeinen stimmen die mittels verschiedener Methoden gefundenen Werte befriedigend überein. Meistens liegen die röntgenfluoreszenzanalytischen Werte höher als die photometrischen. Extrem ist der Fall  $m_{14}$ . Höchstwahrscheinlich ist der beinahe siebenfache Wert der Röntgenfluoreszenzanalyse (2200 ppm U) auf eine starke Probeninhomogenität zurückzuführen. Die photometrischen und radiometrischen Werte stehen weit besser miteinander in Einklang (390 ppm U, bzw. 385 e U).

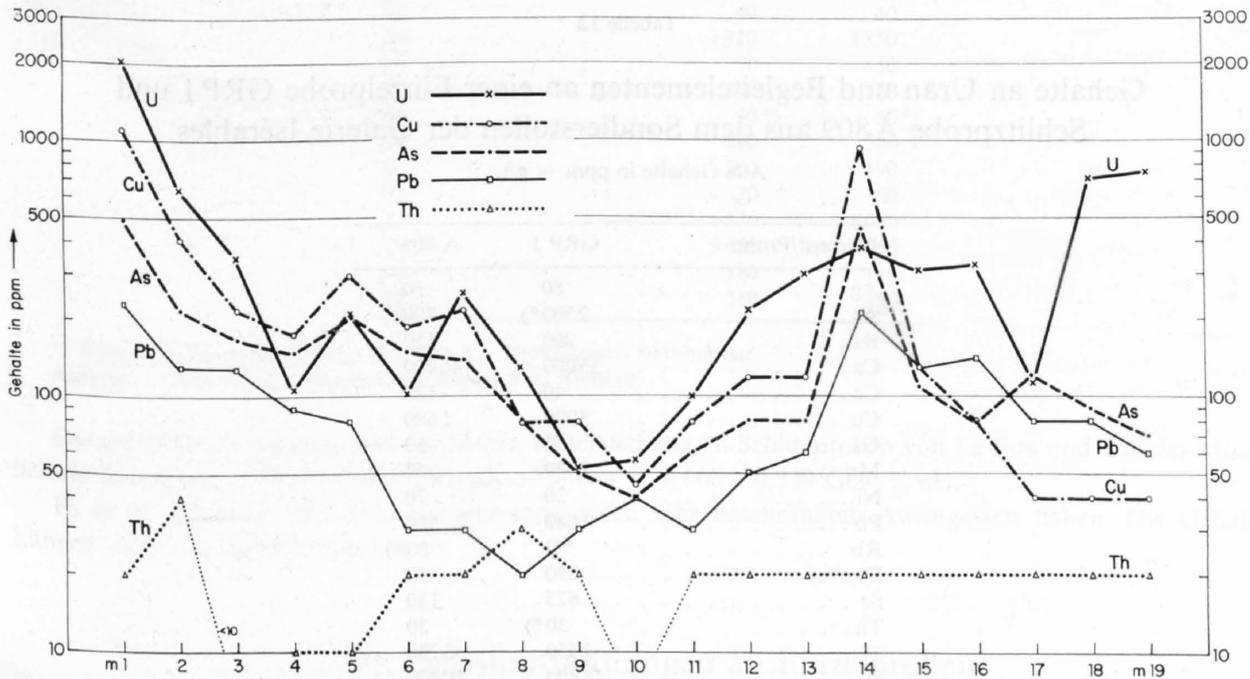


Fig. 46. Gehaltsschwankungen verschiedener Elemente im Sondierstollen.

Die Tabelle 11 enthält für die m-Proben die für U und dessen Begleitelemente gefundenen Werte. Für die Proben  $m_1$  und  $m_5$  werden zweierlei Werte angegeben, da diese Proben nach beiden röntgenfluoreszenzanalytischen Methoden analysiert worden sind (siehe S. 65). Die Unterschiede in den nach verschiedener

Analysentechnik gefundenen Daten sind meist gering. Die Probe  $m_1$  wurde versuchsweise chromatographisch untersucht und dabei semiquantitativ folgende Werte gefunden (in ppm): As 3500, Bi 300, Cu 1000, Sb 40, Th 80, Ti 3000, V 100, Zn 100.

Die Figur 46 vermittelt ein Bild über den Verlauf der Werte für U, Cu, As, Pb und Th im Sondierstollen. Die in Figur 46 enthaltenen U-Gehalte stellen Mittelwerte dar, soweit Daten verschiedener Labors vorliegen. Die Maxima für U bei  $m_1$  und  $m_{14}$  fallen eindeutig zusammen mit denen der übrigen Elemente (ausgenommen Th). Bei  $m_{14}$  ist für U der niedrigere photometrische Wert (siehe Seite 69) eingetragen worden. Es handelt sich in beiden Fällen für alle Elemente um geochemische Anomalien. Die Thorium-Gehalte bleiben durchwegs niedrig; sie sind röntgenfluoreszenzanalytisch in diesem Größenbereich nicht mehr genau erfaßbar. Die Maxima kommen daher nicht mehr deutlich zum Ausdruck. Die niedrigsten Werte für Uran treten bei  $m_9$  und  $m_{10}$  auf, liegen aber auch hier noch über 50 ppm. Zwischen  $m_0$ - $m_8$  und  $m_{11}$ - $m_{19}$  betragen die Urangelhalte über 100 ppm. Am Ende des Sondierstollens kann das Verhalten der einzelnen Elemente nicht mehr eindeutig beurteilt werden. Im allgemeinen ergeben Stollen- und Schliffbeobachtungen, daß Pechblende von andern Erzminerale begleitet wird (S. 46 ff.) Demnach gelten Cu, As und Pb als wichtige Begleitelemente des Urans. Die Thoriumgehalte sind durchwegs deutlich kleiner als die Urangelhalte.

Auf die chemische Untersuchung erhobener Schlitzproben und Einzelproben im Sondierstollen wurde weitgehend verzichtet, weil diese auf Grund radiometrischer Kontrolle relativ hohe und daher nicht repräsentative Werte liefert. Eine an der Brust der ausgesprengten Nische P (siehe S. 15) erhobene Probe GRP<sub>1</sub> wurde röntgenfluoreszenzanalytisch untersucht und ein U-Gehalt von 88400 ppm = 8,84% ermittelt bei einem Th-Gehalt von nur 30 ppm. Über die übrigen gefundenen Werte orientiert die Tabelle 12. Die gleiche Tabelle 12 enthält ferner das Ergebnis einer analysierten Schlitzprobe A809 (von der linken Wand des Sondierstollens bei  $m_{0,8}$ , ca. 0,5 m über der Sohle). Der U-Gehalt beträgt 10800 ppm = 1,08% bei nur 30 ppm Th.

Tabelle 12

### Gehalte an Uran und Begleitelementen an einer Einzelprobe GRP 1 und Schlitzprobe A 809 aus dem Sondierstollen der Galerie Isérables

Alle Gehalte in ppm = g/t.

Element/Probe	GRP 1	A 809
Ag . . . . .	80	50
As . . . . .	2500*)	700*)
Ba . . . . .	200	150
Ca . . . . .	55000	46000
Cr . . . . .	40	120
Cu . . . . .	5900	1680
Ga . . . . .	50	50
Mn . . . . .	2340	950
Ni . . . . .	30	70
Pb . . . . .	1040	510
Rb . . . . .	**)	80*)
Sb . . . . .	250	< 50
Sr . . . . .	625	180
Th . . . . .	30*)	30
Ti . . . . .	1450	5700
U . . . . .	88400	10800
Y . . . . .	160	-
Zn . . . . .	280	240
Zr . . . . .	600	420

Analysen = Lab. du Dr. Ch. Wakker, Analix S.A., Genève.

Wegen des hohen U-Gehaltes: \*) Element approximativ, \*\*) Element nicht bestimmbar.

#### 4. Die Untersuchung an Schlitzproben von Grand Alou

Im Gebiet von Grand Alou (siehe S. 16) sind Schlitzproben erhoben worden. Die Schlitzproben wiesen folgende Dimensionen auf: Länge 60–70 cm, Breite ca. 10 cm, Tiefe ca. 3 cm. Die gefundenen U-Gehalte liegen nahe bei 1% und auch hier bleibt der Th-Gehalt niedrig. Die Daten sind in den Tabellen 13 und 14 aufgezeichnet.

Tabelle 13

##### U-Gehalte in Gew. % für Schlitzproben von Grand Alou

Probe Nr.	1	2	3
Serie EU**)			
17/1*)	0,943 (7)	0,945	1,36
17/2	0,834 (7)	0,805	
17/3	0,627 (7)		
17/4	0,608 (7)		
10 B	0,164 (6)		
4	0,015 (4)		

Labor 1: Geochemisches Laboratorium der Universität Bern.  
 Labor 2: Lab. du Dr. Ch. Wakker, Analix S.A., Genève.  
 Labor 3: Institut für Anorganische Chemie, Universität Basel.  
 Zahlen in Klammern = Anzahl Analysen.  
 \*) Die Proben 17/1–17/4 sind Teilproben des gleichen Schlitzes.  
 \*\*) EU = échantillon d'Uranium.

Tabelle 14

##### Gehalte an Uran und Begleitelementen zweier Schlitzproben von Grand Alou

Alle Werte in ppm = g/t.

Element/Probe	17/1	17/2
Ag . . . . .	40	30
As . . . . .	200*)	150*)
Ba . . . . .	500	525
Ca . . . . .	43000	42000
Cr . . . . .	80	110
Cu . . . . .	2800	2600
Ga . . . . .	40	40
Mn . . . . .	1920	1850
Ni . . . . .	50	50
Pb . . . . .	540	520
Rb . . . . .	50*)	50*)
Sb . . . . .	200	240
Sr . . . . .	200	190
Th . . . . .	20	20
Ti . . . . .	6870	6050
U . . . . .	9450	8050
Zn . . . . .	180	170
Zr . . . . .	380	380

\*) Wegen des hohen U-Gehaltes Element nur approximativ bestimmbar.  
 Analysen = Lab. du Dr. Ch. Wakker, Analix S.A., Genève.

Die auf Seite 17 erwähnte radiometrische Untersuchung an Schlitzproben von Le Fou und Col des Mines lieferte Werte von < 0,010–0,400% eU<sub>3</sub>O<sub>8</sub> oder von < 0,008 – 0,339 Gew.% eU.

Es ist zu beachten, daß Schlitzprobenwerte einen sehr beschränkten Aussagewert haben. Die Gehalte hängen stark von der Schlitzgröße ab.

#### 5. Die Gehaltsermittlungen an Einzelproben

Im Laufe der Untersuchungen im Gebiet von Isérables wurden eine größere Zahl von Handstücken auf Uran geprüft. Oft geschah dies mittels qualitativer oder semiquantitativer Analysenverfahren. Die gewonnenen Daten hängen weitgehend von der Wahl des Handstückes und von der Entnahme der Analysenprobe ab. Wir sehen von der Publikation all dieser Einzelwerte ab, möchten aber von einigen quantitativ untersuchten Proben die U-Gehalte sowie Gehalte von weiteren Elementen bekannt geben. Stark mineralisierte Proben, mit deutlich

sichtbaren, millimeter- bis zentimeterbreiten, pechblendereichen Lagen und Adern, weisen im Handstückbereich Gehalte zwischen 0,1 bis über 10 Gew. % Uran auf (Zahl in Klammer = Anzahl Analysen):

Probe	ppm U
580921.08 . . . . .	880 (2)
580814.432 . . . . .	940 (1)
571123.5 . . . . .	3725 (2)
580313.310 . . . . .	6500 (2)
580313.310D . . . . .	35500 (2)
703 . . . . .	156500 (2)
644 . . . . .	190000 (1)

Die nachfolgende Tabelle 15 gibt Werte für weitere Elemente und zwar für zwei Handstücke mit Uranvererzung und für ein nicht mineralisiertes Handstück. Bei letzterem handelt es sich um einen hellen, serizitisch-chloritischen Gneis aus dem Stollen Fionnay-Rhône. Der U-Gehalt von 20 ppm darf noch als leicht erhöht angesprochen werden.

Probe 580313.311 (m 1604 Stollen Fionnay-Rhône, siehe auch Fig. 5) besteht aus:

Grobe Quarzkörner . . . . .	5–10 Vol. %
Feldspatporphyroblasten (Albit) . . . . .	2– 3
Quarz-Feldspatgrundgewebe . . . . .	55–65
Muskowit-Serizit . . . . .	20–30
Karbonat . . . . .	1– 2
Chlorit. . . . .	3– 5
Pigment . . . . .	< 1
Erzkörner . . . . .	< 1
Turmalin . . . . .	< 1
Akzessoria (Apatit, Zirkon, Titanit) . . . . .	< 1

Tabelle 15

Gehalte an Uran und Begleitelementen in mineralisierten (Nr. 580904.310, 580912.702) und einer nicht mineralisierten Probe (Nr. 580313.311)

Alle Werte in ppm = g/t.

Element/Probe	580904.310	580912.702	580313.311
As . . . . .	**)	500	20
Ba . . . . .	480	125	550
Ca . . . . .	2900	2100	11100
Cr . . . . .	30	40	80
Cu . . . . .	3100	12700	70
Ga . . . . .	170	30	25
Mn . . . . .	550	70	360
Ni . . . . .	90	40	20
Pb . . . . .	7000	540	290
Rb . . . . .	**)		140
Sb . . . . .	630	260	
Se . . . . .			50
Sr. . . . .	115	130	55
Th . . . . .	20*)	20	20
Ti. . . . .	2140	2430	1950
U. . . . .	33700	19100	20
Y. . . . .	100	20	40
Zn . . . . .	560	90	40
Zr . . . . .	**)	500	210

Wegen des hohen U-Gehaltes Elemente mit \* ungenau, mit \*\* nicht bestimmbar. Röntgenfluoreszenzanalyse Lab. du Dr. Ch. Wakker, Analix S.A., Genève.

Probe 580904.310: Chlorit-Serizitgneis, geschiefert, Le Rosey.

Probe 580912.702: Vererzter Serizit-Albitgneis, rostig angewittert, Le Fou.

Probe 580313.311: Nicht mineralisierter, heller Serizit-Chloritgneis, Stollen Fionnay-Rhône, E-Wand m 1604,0 (siehe Fig. 5).

## 6. Löslichkeitsversuche

Im Labor sind an verschiedenen Proben Löslichkeitsversuche gemacht worden. Das analysenfeine Gesteinspulver ist dazu im Becherglas mit  $H_2SO_4$  (98%) versetzt und bei 80 °C während 8 h gerührt worden. Die U-Gehalte wurden nachher getrennt an der Lösung und am Rückstand photometrisch ermittelt. Der säurelösliche Anteil an U schwankte bei Proben aus dem Sondierstollen Isérables und Oberflächenproben von Grand Alou zwischen 71–93 Gew.%. Im einzelnen lauten für die verschiedenen Proben die Werte wie folgt:

	Probe	
Isérables	$P_1$ : Löslicher U-Anteil =	86 Gew.%
	$P_3$	87
	$P_4$	85
	$Q_1$	89
	$Q_2$	91
	$Q_3$	93
	$Q_4$	88
	Grand Alou (Schlitzproben der Serie EU)	5B
10B		92
16		83
20		91
21A		91

Das an die Pechblende gebundene Uran läßt sich also mit warmer Schwefelsäure gut aus dem Gestein herauslösen.

Es ist ferner präparativ  $U_3O_8$  aus vererztem Gestein gewonnen und röntgenographisch identifiziert worden. Aus 100 g Gestein konnte beispielsweise 17 mg  $U_3O_8$  erhalten werden. Spektrographisch ließen sich darin neben U bloß Spuren von Si nachweisen. 30%ige  $H_2SO_4$  diente als Extraktionsmittel; der Rührversuch lief während 10 h bei 80 °C.

## 7. Anreicherungsversuche

Die auf Seite 65 erwähnten Analysendaten von Großproben beziehen sich auf unsortiertes Gesteinsmaterial aus zwei mineralisierten Nischen des Sondierstollens. Aus dem Haufwerk von gebrochenem Felsmaterial (2 cm) der Nische P wurden aus dem durchmischten Haufwerk P (= nach Erhalt der Analysenproben verbliebenes Material  $P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ ) zuerst 501,6 kg Gesteinsmaterial entnommen. Daraus wurden Einzelproben von je rund 34 kg gewonnen und die Bruchstücke mit Strahlenmeßgerät (Szintillationszähler) einzeln auf Aktivität getestet (in verschiedenen Kornklassen bis  $> 2$  cm). In der Klasse  $> 2$  cm resultierte im günstigsten Fall ein Konzentrat mit 0,61 Gew.% U. Da nach Tab. 7 der U-Gehalt der P-Probe (unsortiert) = 0,15% beträgt, so läßt sich eine Anreicherung auf das Vierfache erzielen (siehe Bericht JEAN-RICHARD, 1964).

Anreicherungsversuche sind an der P-Probe ebenfalls im «Centro di Studi per la Preparazione dei Minerali» in Rom durchgeführt worden\*). Konzentrationsversuche mittels Flotation lieferten nicht befriedigende Resultate. Dagegen zeitigten die Versuche mit radiometrischem Trennverfahren, besonders bei der größeren Kornklasse (2,24–5,0 cm) bessere Ergebnisse. Der U-Gehalt der radioaktiven Fraktion betrug 1,17%  $U_3O_8 = 1,01\%$  U, der sterilen Fraktion bloß 0,011% = 0,009% U. Recht brauchbare Resultate zeitigten ebenfalls Versuche mit dem Schütteltisch (Bericht USONI, 1962).

\*) Diese Versuche wurden ermöglicht durch das Interesse und Entgegenkommen des Direktors, Herr Ing. L. Usoni, sowie durch die Bemühungen von Herrn Prof. G. Marinelli, Universität Pisa. Den Genannten sei der verbindliche Dank ausgesprochen.

## 8. Der Aussagewert der gefundenen Gehalte an Uran und andern Elementen

In verdankenswerter Weise ermöglichte seinerzeit die Grande Dixence S.A. den Vortrieb des Sondierstollens im Zuleitungsstollen Fionnay-Rhône und die weiteren bergmännischen Arbeiten. Einerseits reichten die von der genannten Firma und vom Bund zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel nur für ein begrenztes Programm und andererseits konnten die Arbeiten wegen der vom Kraftwerkbau einzuhaltenden Termine nicht beliebig ausgedehnt werden. Der ursprüngliche Plan, mindestens von der Nische P aus einen Stollen zu weiteren Großprobenahmen vorzutreiben, war daher leider nicht realisierbar. So kennen wir bloß die Urangehalte von drei Stellen des Sondierstollens und zwar je von einer größeren Kubatur unsortierten Felsausbruchsmaterial:

Probe	Durchschnitts- gehalt Uran in Gew.%	Kubatur in t
Nische P . . . . .	0,15*)	6,0
Nische Q . . . . .	0,07*)	3,6
m 0 bis m 19 . . . . .	0,03	35,9

\*) Durchschnitt der in Tabelle 7 für die vier Labors namhaft gemachten Werte.

Ob im Streichen der Fortsetzung der vererzten Gesteinszone und damit für eine viel größere Kubatur ähnliche Werte gelten, wissen wir nicht. Ebenso wenig darf auf Grund der bisherigen Untersuchungsergebnisse etwas ausgesagt werden über die Zusammenhänge zwischen Stollenvererzung und den rund 1000 m höher gelegenen Oberflächenvorkommen von Grand Alou und Le Fou. Der gefundene Gehalt im Sondierstollen von 0,15 Gew.% U ist von der gleichen Größenordnung wie Gehalte, die für Uran produzierende Gruben genannt worden sind. So beträgt für die Konglomerate des Blind River Distriktes in Canada nach LANG (1962) der durchschnittliche  $U_3O_8$ -Gehalt = 0,12 Gew.% (= 0,102% U). Ferner wird angenommen, daß die gesicherten Uranvorkommen, welche auf einer Preisbasis von höchstens 8–10 \$ per lb  $U_3O_8$  abbaubar sein sollen, folgende mittlere Gehalte aufweisen (nach Euratom, 1963):

USA . . . . .	0,2	Gew.% U
Canada . . . . .	0,1	
Frankreich . . . . .	0,14	
Südafrika . . . . .	0,017	(U Nebenprodukt der Goldförderung)

Durch die Untersuchungen im Sondierstollen ist eine gewisse Breite der vererzten Gesteinspartie festgestellt worden, und die gefundenen Urangehalte sind mit solchen von abbauwürdigen Vorkommen vergleichbar. Nach den bisherigen Ergebnissen darf das Uranvorkommen zum mindesten als schürfwürdig bezeichnet werden. Die verschiedenen Schürfmöglichkeiten sind im Kapitel VII besprochen.

Wie bereits auf Seite 67 erwähnt, stehen die gefundenen, spurenhafte Metallgehalte zur Hauptsache mit den Erzminerale in Beziehung, die das Uran begleiten. Die bisher vorliegenden Werte können eine erste Orientierung über zu erwartende Spuren geben. Im allgemeinen folgt das Cu dem U. In der  $m_1$ -Probe beträgt der Cu-Gehalt 1100 ppm bei U = 2160 ppm. In Schlitzproben von Grand Alou steigt der Cu-Gehalt auf 2600–2800 ppm bei entsprechend höheren U-Werten von 8050–9450 ppm. In diesen U-reicheren Proben wurde bis 40 ppm Ag gefunden. Die Werte für Cr, Ni, Th und Zn liegen in der Regel unter 100 ppm. Das Pb geht meist mit dem U (Pb = Zerfallsblei und/oder gewöhnliches Blei). Bei Anwesenheit von Bleiglanz kann ein erhöhter Pb-Wert aber auch in Proben mit kleinerem U-Gehalt auftreten. Aus der Gruppe der Seltenen Erden ist bis jetzt bloß Y bestimmt worden. In den m-Proben schwanken die Y-Gehalte, bei stark wechselnden U-Gehalten, nur von 30–50 ppm. Analog verhalten sich die P- und Q-Proben (Y = 20–50 ppm). In Schlitz- und Einzelproben steigt der Y-Gehalt, bei einem U-Gehalt von 88400 ppm, maximal auf 160 ppm. Im Gegensatz dazu wurden in mineralisierten Quarziten des Mattertales, die stellenweise Flußspat führen, im allgemeinen bei hohen U-Gehalten deutlich höhere Y-Gehalte gefunden. Eine solche Einzelprobe enthält neben 52200 ppm U noch (in ppm): Y 5100, Gd 900, Sm 350, Dy 300 (siehe HÜGI, 1963). Es bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten, vermehrt Daten über Seltene Erden zu beschaffen.

In den P-, Q- und m-Proben schwanken die Ti-Gehalte zwischen 1400 und 5300 ppm. Im Stollen ist zwar Rutil in allen erzmikroskopisch untersuchten Anschliffen angetroffen worden (siehe S. 39); nach den vorliegenden chemischen Daten scheint aber keine klare Abhängigkeit zwischen U- und Ti-Gehalt in den genannten Proben zu bestehen. Es fehlen zwar zuverlässige Daten über exakte Gehalte an Ti-Mineralien (wie Rutil, Titanit) in verschieden stark bis schwach mineralisierten Proben. Wie auf S. 56 erwähnt wird, ist Rutil nach mikroskopischen Beobachtungen in der Verteilung gänzlich unabhängig von Pechblende und Sulfidmineralien.

In den P-, Q- und m-Proben bewegen sich die Mn-Werte zwischen 210 und 1700 ppm.

## Kapitel VI

# Die Genese der Uranvererzungen bei Isérables

### A. Die geologischen Altersbeziehungen von Gesteins- und Erzmineralien

Wie aus den geologischen und petrographischen Befunden hervorgeht ist die vererzte Gesteinsart in gleicher Weise wie die Gesteine der weiteren Umgebung metamorph. Die Série de Nendaz läßt sich eindeutig als Paraserie erkennen, die pechblendeführenden Lagen der «Casanna inférieurs» ebenfalls. Die Série de Nendaz kann an Hand von Relikten als Folge von sehr quarzreichen, im allgemeinen karbonatarmen Brekzien und Sandsteinen mit Zwischenlagen von Tonschiefern gedeutet werden. Da sie ins Perm gestellt wird, kann die Metamorphose nur alpin erfolgt sein, sie gehört wie in der ganzen Region in den Epibereich.

Pechblende und Begleiterze liegen ohne Gangart unmittelbar im Gestein. Sie werden, falls sie sich prä-metamorph bildeten oder während der Metamorphose einwanderten, ebenfalls in metamorpher Form vorliegen. Nur bei einer posttektonischen Erzeinwanderung von hydrothermale Charakter wäre eine normale Ausscheidungsfolge zu erwarten.

Die Vererzungsbilder in den Stollenaufschlüssen sowie die mikroskopischen Untersuchungen zeigen, daß eine posttektonische Bildung auszuschließen ist. Es liegt somit eine metamorphe Lagerstätte vor, wie dies auch von Huttenlocher, Halm und Gilliéron für die in Tabelle 4 angeführten weiteren Erzvorkommen in den Casannaschiefern des Wallis angenommen und im einzelnen beschrieben wird.

In der Übersichtsdarstellung wird versucht auf Grund der Dünnschliff- und Anschliffbeobachtungen die Bildungsgeschichte der Gesteins- und Erzmineralienkomponenten, speziell für die Série de Nendaz zu deuten. Widerspruchsfrei ist dies allerdings nicht möglich, besonderes scheinen Deutungsdifferenzen zwischen den Beobachtungen an den Stollen- und den verschiedenen Oberflächenvorkommen zu bestehen, bei denen ja auch die Trägersteine und die Mineralisierung etwas verschieden sind. Wie bei vielen Erzvorkommen, besonders bei solchen metamorphen Charakters, muß man auch für Isérables erwarten, daß die Umlagerungen und Neukristallisationen der Erz- und Begleitmineralien teilweise auf komplexere und heute nicht mehr vollständig erfäßbare Art erfolgen.

### B. Physikalische Altersbestimmungen

STAUFFER (1959) hat an zwei U-führenden Gesteinsproben des Bernhardkristallins Altersbestimmungen nach der  $U^{238}/Pb^{206}$ -Methode durchgeführt. Probe 2 dieser Tabelle entstammt der im Kap. III ausführlich beschriebenen Vererzung im Stollen Fionnay-Rhône, Probe 1 der Vererzung von permotriasischem Alter, die ca. 5,8 km S davon im Fensterstollen von Sarreyer (vgl. S. 14) gefunden wurde. Die Resultate der Altersberechnungen sind in Tabelle 16 zusammengestellt. Spalte 1 enthält die Gewichtsprozente radiogenes  $Pb^{206}$  gemessen am Totalblei, Spalte 2 die gemessene spezifische Aktivität (RaD-Zerfälle pro mg Totalblei und sec), Spalte 3 die auf das radiogene  $Pb^{206}$  korrigierte spezifische Aktivität (RaD-Zerfälle pro mg  $Pb_{rad}^{206}$  · sec) und Spalte 4 die berechneten  $U^{238}/Pb^{206}$ -Alter, kurz 238/206-Alter in Ma.

Tabelle 16

## Altersbestimmungen an Proben von Sarreyer und Isérables

Probe	Gew. % Pb <sup>206</sup> rad.	Zerfälle RaD mg. Totalblei. sec	Zerfälle RaD mg. Pb <sup>206</sup> rad. . sec	238/206- Alter in Ma
Probe 1 Sarreyer	33,05 ± 0,45	92 ± 3	280 ± 13	320 ± 15
Probe 2 Isérables	8,67 ± 0,74	663 ± 20	7640 ± 900	15 ± 3

Wegen des hohen Anteils an akzessorischem Blei war es nicht möglich, das 207/235- und 206/207-Alter zu berechnen.

Zu den Resultaten kann nach STAUFFER (1959) folgendes gesagt werden: Sowohl für die Probe 1, Sarreyer, als auch für die Probe 2, Isérables, ergibt sich eine Diskrepanz zwischen dem «geologischen Alter» und dem U<sup>238</sup>/Pb<sup>206</sup>-Alter: Die Sedimentation der Serizitquarzite (Probe 1, Sarreyer) hat in der Permo-Trias (HÜGI, DE QUERVAIN, WELTI, 1958) stattgefunden, was einem Alter von über 180 Ma entsprechen würde. Das U<sup>238</sup>/Pb<sup>206</sup>-Alter beträgt 320 ± 15 Ma, liegt also zu hoch. Die Sedimentation der Casannaschiefer hat im Permo-Karbon stattgefunden. Das U<sup>238</sup>/Pb<sup>206</sup>-Alter der Probe 2, Isérables, ist mit 15 ± 3 Ma viel zu klein.

Ein zu junges U<sup>238</sup>/Pb<sup>206</sup>-Alter kann im Prinzip erklärt werden durch:

1. Uranzufuhr,
2. Bleiverlust.

Diese Effekte können einmalig oder kontinuierlich stattgefunden haben. Die Bleiabtrennung kann auch nur teilweise geschehen sein.

Ein zu hohes U<sup>238</sup>/Pb<sup>206</sup>-Alter kann erklärt werden durch:

1. Uranverlust,
2. Zufuhr von radiogenem Blei,
3. Radonverlust in letzter Zeit. Konstanter Radonverlust beeinträchtigt das U<sup>238</sup>/Pb<sup>206</sup>-Alter nicht (falls dieses nach der RaD-Methode bestimmt wurde).

Veränderungen des Gehaltes an gewöhnlichem Blei beeinflussen die gefundenen Werte nicht (auch Verunreinigungsblei während der chemischen Aufarbeitung stört nicht).

Unter der Annahme, daß die Uranvererzung gleichzeitig mit der Sedimentation erfolgte, ergibt sich folgendes Bild:

1. Probe Sarreyer: Zufuhr von radiogenem Blei ist zu unwahrscheinlich, als daß dieser Effekt ernsthaft in Betracht gezogen werden könnte. Verlust von Uran ist die wahrscheinlichste Erklärung für das zu hohe Alter. Dieser müßte offenbar während der alpinen Metamorphose stattgefunden haben\*.

2. Probe Isérables: Sowohl Uranzufuhr als auch Bleiabtrennung sind möglich. Ist während der alpinen Metamorphose eine vollständige Trennung des Bleis vom Uran erfolgt, so ist deren Zeitpunkt bestimmt durch das zu junge U<sup>238</sup>/Pb<sup>206</sup>-Alter. Dieses Resultat würde allerdings im Widerspruch zu den Resultaten an ähnlichen italienischen Uranvorkommen stehen, welche für die alpine Metamorphose ein Alter von 80–90 Ma ergeben haben (FERRARA, LEDENT, STAUFFER, 1958). Bei dieser Probe können lokale Inhomogenitäten eine wesentliche Rolle spielen. Es wäre hier sehr aufschlußreich, die Altersbestimmung getrennt an den Pechblende-Körnern und am Muttergestein durchzuführen. Das würde zeigen, ob lokale Wanderungen von Blei aus den Pechblendekörnern erfolgten, was insofern unser zu junges Alter erklären würde, als die aufgearbeitete Substanz zu einem großen Teil aus Pechblendekörnern bestand.

Schließlich sei erwähnt, daß die Altersbestimmung in beiden Fällen keinen Anhaltspunkt darüber liefert, ob die Vererzung tatsächlich gleichzeitig mit der Sedimentation erfolgte. Es ist zu vermuten, daß umfangreichere Messungen der U/Pb-Verhältnisse und der Blei-Isotopenverhältnisse weitere Schlüsse über den

\* Nach neueren Beobachtungen soll allerdings U-Verlust selten sein (mündliche Mitteilung von V. Köppel).

Zeitpunkt und den Mechanismus der Vererzungen ergeben würden. Da beide untersuchten Proben einen großen Gehalt an gewöhnlichem Blei aufweisen, konnten die anderen Bleialter nicht bestimmt werden. Nun lassen sich aber gerade aus übereinstimmenden oder diskordanten Bleialtern wichtige Schlüsse ziehen. Es müßte daher bei der Probenwahl darauf geachtet werden, möglichst solche Stück auszusuchen, die einen geringen Gehalt an gewöhnlichem Blei aufweisen.

In STAUFFER (1958), Tab. 2, entsprechen die Proben  $S_1$  = Sarreyer und  $S_3$  = Isérables.

Vergleicht man die Alterswerte der Tabelle 2 in FERRARA-LEDENT-STAUFFER (1959) und (1958) so fällt auf, daß die Werte der Proben von Preit und andern Stellen der italienischen Westalpen weniger stark streuen. Diese Gesteine sind allgemein weniger stark metamorph überarbeitet als die des Wallis. In diesem Zusammenhang sei zur erwähnten Tabelle 2 noch folgendes bemerkt: Bei der Probe Ackersand mit  $69 \pm 3$  Ma handelt es sich um einen U-führenden permotriadischen Quarzit (= Serizit-Albitgneis) aus dem Mattertal. Bei der Probe Gougtra wurde die Bestimmung an einem pechblendehaltigen Pegmatit vorgenommen, der als exsudative Einlagerung in Casannaschiefer eines Stollens der Kraftwerke Gougtra zwischen Val d'Anniviers und Turtmantal gefunden wurde. Das Alter von  $395 \pm 25$  Ma steht mit dem geologischen Alter der Casannaschiefer (Permokarbon, evtl. älter) in relativ gutem Einklang.

Gesamthaft gesehen werden aber die geologischen Alter der verschiedenen U-führenden Horizonte im Bernhardkristallin durch die physikalischen Altersbestimmungen nur z. T. gestützt. Es ist aber zu sagen, daß die Metamorphose und die tektonische Beeinflussung dieser Gesteine von Ort zu Ort recht verschieden sein kann. Es sollten daher unbedingt weitere Altersbestimmungen an einer größeren Zahl von Proben ausgeführt werden.

## C. Genetische Deutung

Für die primäre Erzbildung sind nach dem Ausschließen der postalpinen Bildung folgende drei Fälle zu diskutieren:

Fall 1. Die Uranvererzung erfolgte bereits syngenetisch sedimentär im klastischen Perm.

Fall 2. Die Vererzung der permischen Sedimente erfolgte epigenetisch als hydrothermale Absätze (primär oder sekundär), wobei Spätphasen des herzynischen Metallogens oder Frühphasen der alpinen Orogenese in Frage kommen könnten, z. B. Zusammenhänge mit den mesozoischen Ophiolithen.

Fall 3. Die Erzzufuhr erfolgte während der alpinen Metamorphose, z. B. auf Bewegungsbahnen, wie dies mehrfach beschrieben worden ist.

Es ist nicht verwunderlich, daß Beobachtungen an den intensiv metamorphisierten Gesteinen keine direkten Beweise für den einen oder andern Fall, sondern nur Anhaltspunkte vermitteln können.

Für Fall 1 läßt sich folgendes anführen:

a) Das Fehlen einer eigentlichen Gangart (Ankerit, Baryt, Quarz), die bei allen hydrothermal gedeuteten Lagerstätten (mit Cu-Bi, Co-Ni, oder Pb-Zn) der Casannaschiefer sonst auftritt. Die meisten im Alpengebiet im nicht oder wenig veränderten Perm liegenden Uranvererzungen weisen keine Gangart auf.

b) Das Auftreten der Begleitmetalle Cu, Pb, As in kleinen Mengen, wie dies für viele permische Vererzungen typisch ist. Bei den unter a) genannten Lagerstätten der Casannaschiefer ist das eine oder andere Metall weit stärker konzentriert.

Die zur Hauptsache schichtige Ausbildung der Lagerstätte möchte ich dagegen nicht als Beweis für eine primär syndimentäre Bildung betrachten. Die meisten hydrothermalen Vorkommen in den Casannaschiefern erscheinen heute in konkordanter lagergangartiger Form.

Gegen Fall 2 sprechen die unter Fall 1 genannten Tatsachen. Die Erzvorkommen mit Cu-Bi, Co-Ni und Pb-Zn, allerdings in älteren Casannaserien liegend, wären dagegen hier einzureihen.

Für Fall 3 gibt es folgende Argumente:

a) Die Vererzungen befinden sich tatsächlich im Bereich von ausgeprägten Bewegungsphasen. Hier wäre auch der Albitreichtum der Trägergesteine zu nennen. Albit ist allerdings im penninischen Kristallin des Wallis verbreitet, als Porphyroblasten doch vorwiegend an Bewegungsbahnen mit Lösungszirkulation gebunden.

b) Die Uranmineralisation ist im Raume Isérables nicht auf die permokarbonische Série de Nendaz beschränkt, sondern findet sich ebenso häufig auch in benachbarten, petrographisch ähnlichen Gesteinen der Série de Siviez aus dem Komplex der «Casanna inférieurs». Außerhalb des genannten Gebietes erscheint sie auch in andern Gliedern (vgl. S. 81).

Die Beobachtungen, die für die Fälle 1 und 3 sprechen, ließen sich vereinigen durch die Annahme einer primär im klastischen Perm enthaltenen Lagerstätte, die während der alpinen Metamorphose eine beträchtliche Mobilisierung erfuhr, verbunden mit einer erheblichen Lösungswanderung auf Bewegungsbahnen, die auch zu einem teilweisen Absatz der Erzminerale in benachbarten Schichten außerhalb der permischen Serie führten.

Auf die Möglichkeit der Abwanderung von Uran aus tiefer gelegenen Herden, insbesondere im Bereiche tektonisch überarbeiteter Gesteinskörper sowie die nachfolgende Ablagerung von Uranerz in permeablen Sedimenten, wie Sandsteinen, hat bereits PAGE (1960) hingewiesen. In solchen Muttergesteinen tritt Uran nicht in Gängen, sondern im Gestein selbst, ohne Gangart, beispielsweise parallel zur Gesteinsschichtung auf. Im Fall Isérables gehen erzeiche Partien konkordant oder schwach diskordant zu Schieferungselementen.

### Vergleich mit den genetischen Verhältnissen der Pechblendevorkommen in Quarziten der Permotrias des Mattertales

Auf Grund der mikroskopischen Untersuchung der Vorkommen Isérables und Mattertal (Törbel, Emd) ist man geneigt, anzunehmen, daß das letztere noch ältere Phasen erkennen läßt als das von Isérables. Folgende Gründe sprechen für diese Annahme:

Die pechblendereichen Lagen in Isérables zeigen meist eine schwache, hie und da aber sogar eine ganz ausgesprochene Diskordanz zum Nebengestein. Im Mattertal hingegen zeigen sie, soweit das am Handstück beurteilt werden konnte, stets eine ausgesprochene Konkordanz, die besonders in den stark verfältelten Proben zum Ausdruck kommt. Dort ist die Pechblende (und auch ein Teil des Pyrites) älter als die Verfältelung. Dagegen ist die Pechblende-Vererzung älter als die Albitisierung des Nebengesteins. In Isérables hingegen ist die Pechblende wohl älter als die letzte tektonische Beanspruchung, doch zum Teil sicher jünger als die Verfältelung (Grand Alou) und ebenfalls jünger als die Albitisierung des Nebengesteins (Le Fou). Im Mattertal können wir also neben Neubildungen wie Rézbanyit, Linneit (in den stark verfältelten Proben gehört hiezu noch ein Teil des Pyrites, ferner das Fahlerz und der Kupferkies) noch einen Altbestand unterscheiden, der in den stark beanspruchten Proben die Pechblende und einen Teil des Pyrites umfaßt, in den nicht beanspruchten Teilen kommen noch dazu Fahlerz, Kupferkies, Bleiglanz und Molybdänglanz. In Isérables konnten solche Erscheinungen nirgends mit Sicherheit beobachtet werden.

### Übersicht der Bildung der pechblendeführenden Gesteine der Série de Nendaz

(nach den Beobachtungen im Stollen)

Ausgangsgestein	Folge von grob- bis mittelklastischen sehr quarzreichen Sedimenten mit pelitischen, tonig-eisenschüssigen Zwischenlagen. Vermutlich lokale kalkspatreiche Einschaltungen.
Vor- oder frühmetamorphes Auftreten von U, Pb, Cu, As, Mo	Entweder gesamthaft schon im Ausgangsmaterial vorhanden oder in frühen Phasen der Metamorphose gemeinsam zugeführt. Erste (wahrscheinlich zum Teil erhaltene) Auftretensform des U als feinstkörnige Pechblende, bevorzugt in eisenschüssigen Lagen von mittel- bis grobklastischen Typen ausgeschieden (primär oder sekundär). Bei den andern Metallen ist die Form der ersten Ausscheidung nicht mehr feststellbar.
Hauptmetamorphose des Gesteins	Allgemeine Verschieferung unter Kataklyse der groben Quarzkörner, Bildung der Quarz-Feldspatgewebe, der Chlorit-Serizitzüge und der reinen Serizit-Muskowitlagen. Natronzufuhr ist anzunehmen, damit zusammenhängend Bildung von Albitporphyroblasten.
Heutige Ausbildung der Erzminerale (zur Hauptsache den Spätphasen der Gesteinsmetamorphose angehörend oder postmetamorph)	Teilweise Umformung der primären Pechblende in Uraninit oder in größere amorphe Gebilde unter mannigfaltigen Anreicherungen. Bildung der Pyritporphyroblasten mit nachfolgender verbreiteter Kataklyse (auch der größeren Pechblendekugeln). Neukristallisation der weitem Sulfide und der Sulfosalze in der vorwiegenden Reihenfolge: Bleiglanz – Fahlerz (und weitere Cu-As-Sulfosalze) – Kupferkies (und weitere Kupfersulfide).

Späte Neubildungen oder Umlagerungen von Gesteinsmineralien

Bildung von idiomorphem Turmalin, Rutil, und vereinzelt Titanit.  
Während oder anschließend an Fahlerzbildung erneute Neu- oder Umkristallisation von Albitporphyroblasten.  
Umkristallisierung der Hauptmenge des Kalkspates.  
Bildung der reinen, erzfreien Quarzlagen und -knauer.  
Vereinzelte erzfreie Karbonatadern.

## Kapitel VII

# Beurteilung der Lagerstätte. Schürfmöglichkeiten

### A. Natur und Ausdehnung der Lagerstätte

Die ersten Beobachtungen im Stollen Fionnay-Rhône, die das Vorhandensein gutbegrenzter Lagen zeigten, ließen vermuten, daß man es mit einer syngenetischen Lagerstätte zu tun habe. Die weitere Untersuchung ergab aber bald die Unregelmäßigkeit der Vererzung und später die ungleiche stratigraphische Lage der Vererzung im Stollenniveau und an der Oberfläche und ferner, daß die Aufschlüsse vererzten Gesteins zwischen 2200 m und 2400 m am N-Hang von Le Fou über eine viel größere Gesteinsmächtigkeit verteilt waren als im Stollen, wo die vererzte Zone wenig über 25 m mächtig zu sein scheint. So gelangte man zur Annahme, daß das Erz mindestens teilweise, vermutlich während der alpinen Faltungsvorgänge, in tektonisch gelockertem Gestein, insbesondere längs Schieferungsflächen, an seinen jetzigen Ort gewandert ist (vgl. Kap. VI).

Uranführendes Gestein wurde – vgl. Fig. 1 und 2 – auch in andern Gesteinszonen der Casannaschiefer im weiteren Sinne beobachtet, z. B. in der Série de Siviez nahe der Grenze zur Série du Mt. Gond («la Tsacha», Fig. 2), oder in der Série du Greppon blanc (Lac de Cleuson, Fig. 2). Nie wurde es aber bisher im Abschnitt Isérables in stratigraphisch jüngeren Teilen des Permokarbons und der Trias festgestellt. Isolierte Funde von uranführendem Gestein der Casannaschieferzone finden sich zahlreich in der südlichen Fortsetzung des Abschnittes von Isérables, im Val d'Entremont, namentlich im Gebiet von Bourg St-Pierre, ebenso in der östlichen Fortsetzung, wo aber erst in den permotriadischen Serizitquarziten von Törbel-Emd-St. Niklaus eine mehr durchgehende Vererzung vorliegt.

Die bedeutendsten Erzkonzentrationen sind zweifellos die im Sondierstollen von Isérables angetroffenen, wo mehrere Tonnen unsortiertes Gestein aus der am stärksten radioaktiven Partie des Sondierstollens einen mittleren Urangehalt von über 1 kg pro Tonne Gestein zeigten (vgl. Tabelle 7), also eine Konzentration, die beim Vorhandensein genügender Vorräte solchen Erzes und bei günstigen Gewinnungs- und Transportverhältnissen ein Uranvorkommen im allgemeinen als abbauwürdig erscheinen lassen. Sehr hohe Urangehalte wurden an den Oberflächenproben von Grand Alou, Le Fou und Col des Mines nur lokal beobachtet, doch lassen sich die Ergebnisse an Schlitzproben nicht ohne weiteres mit denen von Massenproben vergleichen. Immerhin stellt sich angesichts der größeren Streuung der Fundstellen an der Oberfläche die Frage, ob die Aussicht, in größerer Höhe, die einer größeren Entfernung von der Bildungsstätte des Erzes entsprechen dürfte, ähnliche Konzentrationen wie in der Tiefe zu finden, geringer sind. Andererseits ist zu bedenken, daß die Erzführung in dem verhältnismäßig kleinen Abschnitt, der im Stollen zufällig auf 1400 m Höhe zugänglich wurde, keineswegs gerade die günstigste Entwicklung der vererzten Zone in diesem Niveau zu zeigen braucht.

Daß im Gebiet von Isérables drei getrennte erzführende Abschnitte vorliegen, zu denen nur der isolierte Aufschluß von Les Plans und vielleicht derjenige von Les Eaux kommt, ist offensichtlich nur dadurch bedingt, daß zwischen ihnen das anstehende Gestein unter einer ausgedehnten Schuttdecke verborgen ist. In Wirklichkeit dürfte es sich bei der Lagerstätte von Isérables um ein mehr oder weniger durchlaufendes Band von vererztem Gestein von mindestens 5 km Länge handeln. Ob die im Abschnitt von Le Fou viel zahlreicheren Erzfundstellen auf einer kräftigeren Erzführung beruhen oder ob darin nur die gegenüber Grand Alou und Col des Mines geringere Schuttbedeckung zum Ausdruck kommt, ist schwer zu beurteilen.

## B. Schürfmöglichkeiten

Zur Abklärung der wirtschaftlichen Bedeutung der Lagerstätte müßten größere Schürfarbeiten ausgeführt werden, die darüber Aufschluß zu geben hätten, ob Erzkonzentrationen, wie sie im Sondierstollen angetroffen wurden, in genügender Zahl und Größe und räumlicher Konzentration vorhanden sind, um einen minimalen Erzvorrat zu ergeben, der sich auf wirtschaftliche Weise abbauen ließe.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Erschürfung bei Erzvorkommen der vorliegenden Art durch Bohrungen allein wenig zweckmäßig ist. Da die Vererzung zur Hauptsache nicht flözartig, sondern, wie im Stollenniveau, eher unregelmäßig und diffus zu sein scheint, brauchte es sehr zahlreiche Bohrungen, um einen genügenden Einblick in einen kleinen Sektor zu bekommen, wobei aber für die sichere Ermittlung der Erzkonzentration doch nicht genügend Material anfallen würde. Eine wirklich zuverlässige Beurteilung der Verhältnisse kann voraussichtlich nur durch die Ausführung zweckmäßig angesetzter Stollen erzielt werden, die eine direkte Beobachtung des Gesteins auf größeren zusammenhängenden Flächen und die Entnahme größerer Gesteinsproben gestatten. Kernbohrungen können dann unter Umständen die so gewonnenen Ergebnisse ergänzen und zur Ermittlung der Grenzen des Vorkommens benützt werden.

Im folgenden sollen kurz die sich bietenden Schürfmöglichkeiten mittels horizontaler Stollen betrachtet werden.

Wenn zur Zeit der Arbeiten am Stollen Fionnay-Rhône größere finanzielle Mittel zur Ausführung weiterer Schürfarbeiten zur Verfügung gestanden hätten und der Untersuchung nicht durch den Kraftwerkbau Grenzen gesetzt gewesen wären, wäre es verhältnismäßig leicht gewesen, sich ein besseres Bild von der Erzführung auf dem Niveau 1400 bis zu einem gewissen Abstand von der Stollenachse zu verschaffen. Heute kommt ein Versuch, unter Verwendung des südlichen Fensterstollens von Drotse in die Vererzungszone zu gelangen, kaum mehr in Frage. Die kürzeste Entfernung von der Einmündungsstelle des Fensterstollens zur Vererzungszone dürfte hier ca. 900 m betragen. Übrigens müßte der Druckstollen in einem gewissen Abstand überfahren werden, was alle Arbeiten erschweren würde. Andererseits würde jeder andere Versuch, das Niveau 1400 oder auch nur das Niveau 1600 vom Kessel von Le Rosey aus durch einen Horizontalstollen zu erreichen, die Ausführung eines Stollens von weit über 1 km Länge erfordern. Unter den gegebenen Umständen bleibt kaum etwas anderes übrig, als Schürfarbeiten im Bereich der vorhandenen Aufschlüsse auf höheren Niveaux auszuführen.

Die geeignetste Stelle für die Ausführung von solchen Schürfarbeiten scheint auf den ersten Blick der N-Hang von Le Fou zu sein, wo die uranföhrnde Zone in ihrer ganzen Mächtigkeit gut aufgeschlossen ist. Durch einen unter dem untern Rand der vererzten Zone auf ca. 2200 m angesetzten Querschlag von etwa 170 m Länge könnte die Hauptmasse der vererzten Lagen durchfahren werden, wie aus Fig. 8 zu ersehen ist. Von diesem Querschlag aus würden eine oder zwei Strecken die Zone im Schicht- bzw. Schieferungsstreichen auf 100 m Länge im Streichen erschließen, worauf durch Parallelquerschläge in geringen Abständen die Erzführung in einer ca. 2 m hohen Gesteinsplatte zuverlässig untersucht werden könnte. Bei günstiger Entwicklung könnte das gleiche Verfahren zur Kontrolle auf einer 10 oder 20 m höheren Sohle wiederholt und könnten beobachtete erzeiche Partien durch Aufhauen von Sohle zu Sohle verfolgt werden.

Leider ist das Aufschlußgebiet verkehrsmäßig und vom bautechnischen Standpunkt aus gesehen sehr ungünstig gelegen. Die Anlage eines Transportweges oder einer Seilbahn wäre mit beträchtlichen Kosten verbunden und die Schaffung des erforderlichen Werkplatzes und einer Unterkunft wegen der Steilheit des Geländes und Gefährdung durch Steinschlag eine heikle Aufgabe.

Die Aufschlüsse von Grand Alou und Col des Mines liegen verkehrsmäßig vielleicht etwas günstiger, doch bietet hier die Wahl einer günstigen Ansatzstelle für die Ausführung von Stollen wegen der stärkeren Streuung der Aufschlüsse und den allgemeinen topographischen Verhältnissen Schwierigkeiten anderer Art.

Einen wesentlich leichter zu erreichenden Ausgangspunkt für eine Schürfung bietet der Talkessel von Les Plans, der seit kurzem durch eine Fahrstraße mit Riddes im Rhonetal verbunden ist, die den Rand des Kessels in 2120 m Höhe erreicht (vgl. Tafeln I und IV). Ca. 300 m SE vom Endpunkt der Straße und nur 60 m höher liegt die Uranfundstelle von Les Plans, so daß mit verhältnismäßig geringem Aufwand ein Stollen in unmittelbarer Nähe dieses Aufschlusses angesetzt werden könnte. Doch erheben sich gegen die Wahl dieser Stelle als Ausgangspunkt einer größeren Schürfung verschiedene Bedenken. Es ist nicht ausgeschlossen, daß der isolierte Aufschluß einer versackten oder mindestens stark zerrütteten Gesteinsmasse angehört. Ferner ist es sehr unwahrscheinlich, daß man es hier mit der untern Grenze der Vererzung zu tun hat, weshalb man den

Stollen auf alle Fälle genügend tief unter diesem Aufschluß ansetzen müßte, um die Basis der bergwärts einfallenden Vererzungszone anzutreffen und sie im Streichen verfolgen zu können. Da die Schuttmächtigkeit gegen den tiefsten Punkt der Mulde hin zweifellos beträchtlich zunimmt, müßte ein Stollen in Richtung auf den Erzaufschluß wesentlich unterhalb des Endpunktes der Straße angesetzt werden, wo sich aber erst auf ca. 1940 m eine geeignete Stelle finden dürfte, von der aus die Basis der vererzten Zone in einem rund 500 m langen Stollen erreicht würde.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, die Vererzungszone am Nordende des Kessels von Les Plans durch einen kürzeren Stollen zu erreichen, von einem Punkt ca. 500 m NE des Endpunktes der Straße aus, etwa dort, wo der Talkessel in den steilen W-Hang von Le Fou übergeht, in etwa 2170 m Höhe. Die Schuttmächtigkeit dürfte hier gering sein und die Basis der vererzten Zone bei ca. 150 m erreicht werden. Eine Schürfung an dieser Stelle besäße den bedeutenden Vorteil geringerer Kosten für die Erstellung eines Transportweges, die Einrichtung eines Werkplatzes und den Transport des Materials. Die topographischen Verhältnisse gestatten die Erstellung geeigneter Unterkünfte und Magazine an ungefährdeter Stelle. Auch die Beschaffung von Wasser dürfte keine Schwierigkeiten bieten.

Eine weitere interessante Schürfmöglichkeit besteht im Gebiet von Les Eaux, am W-Hang des Val de Nendaz, das an der Straße Nendaz-Cleuson liegt. Wenn es sich bei dem im Kapitel I auf S. 27 erwähnten Aufschluß im Wald von Les Eaux auf 1600 m Höhe tatsächlich um anstehendes Gestein handelt und wenn die vielen radioaktiven Blöcke in diesem Gebiet aus der wahrscheinlich hier durchziehenden Vererzungszone stammen sollten (vgl. Tafel VI, E-Rand), dann würde hier eine ausgezeichnete Möglichkeit vorliegen, die Vererzungszone in verhältnismäßig geringer Höhe zu untersuchen. Von einem etwa im Niveau der Straße genügend weit in den Fels vorgetriebenen Stollen aus könnte die ganze Erzzone durch eine Reihe von Querschlägen leicht erfaßt werden. Allerdings ist zu bedenken, daß die Entfernung dieser Stelle von der Vererzung im Stollen mehr als 4 km beträgt, daß daher die Erzführung von derjenigen im Kraftwerkstollen wesentlich verschieden sein kann und ein ungünstiges Schürfergebnis für die Beurteilung der Erzführung im Gebiet von Le Fou nicht maßgebend wäre.

Die vorstehenden Angaben sind rein grundsätzlicher Natur. Für die definitive Wahl einer ersten Schürfstelle müßten selbstverständlich die topographischen Verhältnisse und die übrigen Umstände an Ort und Stelle genauer untersucht werden, um die tatsächlichen technischen Erfordernisse und die mutmaßlichen Kosten solcher Schürfungen bestimmen zu können. Es ist vorgesehen, im Sommer 1967 durch ergänzende geologische und radiometrische Untersuchungen im Raume zwischen Val de Nendaz - Val de Bagnes zunächst die geologischen Unterlagen im Hinblick auf eine zweckmäßige Wahl der Ansatzstellen für größere Schürfungen nach Möglichkeit zu vervollständigen.

# Literaturverzeichnis

- ADAMS, J. A. S., and FRYER, G. E. (1964): Portable Gamma-ray Spectrometer for Field Determination of Thorium, Uranium and Potassium, in: Adams, J. A. S., and Lowder, W. M., The Natural Radiation Environment, Chicago, Illinois, University Chicago Press, p. 577–596.
- BÄCHTIGER, K. (1963): Die Kupfer- und Uranmineralisationen der Mürtchenalp (Kt. Glarus, Schweiz). Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie, Lief. 38. – Diss. ETH, Zürich. Kommissionsverlag Kümmerly & Frey, Bern.
- CALAME, J.-J. (1954): Etude géologique de la région de Nendaz (Valais). Thèse, Genève.
- CAMERON, S. N. (1961): Ore microscopy. John Wiley u. Sons, Inc., New York.
- CARTE DES GÎTES MINÉRAUX DE LA FRANCE 1:320000, Feuille Lyon (1963). Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Paris. Schweizerischer Teil bearbeitet von der Schweizerischen Geotechnischen Kommission.
- CEVALES, G. (1960): Erzmikroskopische Untersuchung von zehn Uranvorkommen des italienischen Perms der West- und Ostalpen. N. Jb. Miner. Abh. 94, S. 733–758.
- CEVALES, G. (1961): Metamorphe Mobilisationsvorgänge in der Uranlagerstätte des Preittales. N. Jb. Miner. Abh. 96, S. 112–123.
- CHENEVAL, R. Ed. (1947): Le gisement de galène argentifère de Praz-Jean (Val d'Hérens). Thèse, Genève.
- EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT – Euratom (1963): Das Problem der Uranvorräte und der Uranversorgung auf lange Sicht. Publikation Eur. 414.d. – Der Beirat der Versorgungsagentur, Brüssel.
- FERRARA, G., LEDENT, D., und STAUFFER, H. (1958): L'età delle mineralizzazioni uranifere nelle Alpi Occidentali. Studi e ricerche della Divisione Geomineraria, Vol. I, Parte II, p. 725–737. Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari, Roma.
- FERRARA, G., LEDENT, D., und STAUFFER, H. (1959): Blei-Isotopenverhältnisse sedimentärer Uranvorkommen in der Schweiz und in Italien. Helv. Physica Acta, 32, S. 279–282.
- FRENZEL, G. (1959): Idait und «blaubleibender Covellin». N. Jb. Miner. Abh. 93, S. 87–132.
- GEFFROY, J., et SARCIA, J. A. (1959): Les minerais uranifères français. I. Les minerais noirs. Bibliothèque des Sciences et Techniques Nucléaires. Paris.
- GEOLOGISCHE GENERALKARTE DER SCHWEIZ, 1:200000, Blatt Sion (1942), mit Erläuterungen (1965). Schweiz. Geologische Kommission. Kommissionsverlag: Kümmerly & Frey, Bern.
- GEOTECHNISCHE KARTE DER SCHWEIZ, 1:200000, Blatt Nr. 3 (Genève – Lausanne – Sion) mit Erläuterungen, zweite Auflage (1965). Schweiz. Geotechnische Kommission. Kommissionsverlag: Kümmerly & Frey, Bern.
- GERLACH, H. (1873): Die Bergwerke des Kantons Wallis, Bericht vom 15. Juli 1859. Sitten.
- GILLIÉRON, F. (1946): Geologisch-petrographische Untersuchungen an der Ni-Co-Lagerstätte Kaltenberg (Turtmanntal, Wallis). Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie, Lief. 25. Diss. Bern. Kommissionsverlag: Kümmerly & Frey, Bern.
- GIUSCA, D. (1930): Die Erze der Lagerstätte Lengenbach im Binnental. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 10, S. 152–177.
- GRAESER, ST. (1965): Die Mineralfundstellen im Dolomit des Binnatales. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 45, S. 597–795. – Diss. Bern.
- HALM, E. (1945): Die Kupfer-Wismutlagerstätten im obern Val d'Anniviers (Wallis). Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie, Lief. 22. – Diss. Bern. Kommissionsverlag: Kümmerly & Frey, Bern.
- HIRSCHI, H. (1939): Radiohalos im Chlorit der Erzlagerstätte von Kaltenberg im Turtmanntal (Wallis). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 19, S. 222–223.
- HUGI, E., und HIRSCHI, H. (1938): Die metamorphen, erzführenden, radioaktiven Gesteine von Feldbach (Binnental). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 18, S. 12–39.
- HÜGI, TH. (1958): Uranvererzungen in Gesteinen des Wallis. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 38, S. 393–402.
- HÜGI, TH., und DE QUERVAIN, F. (1958): Der gegenwärtige Stand der Erforschung der Uranvorkommen in den Schweizer Alpen. Mitteilungsblatt des Delegierten für Fragen der Atomenergie 2. Jg., Nr. 4, S. 34–36.
- HÜGI, TH., DE QUERVAIN, F., und WELTI, G. (1958): Uranvererzungen in Gesteinen des Bernhardkristallins (Kt. Wallis, Schweiz). Experientia 14, S. 234.
- HÜGI, TH., DE QUERVAIN, F., und RICKENBACH, E. (1959): Der gegenwärtige Stand der Erforschung der Uranvorkommen in der Schweiz. Mitteilungsblatt des Delegierten für Fragen der Atomenergie, 3. Jg., Nr. 3/4, S. 20–32.
- HÜGI, TH., DE QUERVAIN, F., et RICKENBACH, E. (1959): Les minéralisations d'uranium dans les Alpes suisses. Colloque de Grenoble sur la genèse des minéralisations uranifères des Alpes Occidentales, p. 85–95.
- HÜGI, TH., DE QUERVAIN, F., RICKENBACH, E., mit HOFMÄNNER, F. (1962): Übersichtskarte der Uran- und Thorium-Mineralisationen der Westalpen. Unter Mitarbeit von Lenoble, A., Marinelli, G., Mittempergher, M., Schweiz. Geotechnische Kommission. Kümmerly & Frey, Bern.
- HÜGI, TH. (1963): Uranvorkommen in der Schweiz. «die atomwirtschaft», Düsseldorf. Jg. 8, Nr. 10, S. 524–529.
- HÜGI, TH. (1963): Uranvorkommen in der Schweiz. Jahrbuch des Obaergaus. S. 127–143.
- HÜGI, TH. (1964): Uranprospektion in der Schweiz unter besonderer Berücksichtigung des alpinen Raumes. Beilage zum Bull. Nr. 2 der Schweiz. Vereinigung für Atomenergie. S. 1–8.
- HÜGI, TH. (1965): Möglichkeiten einer schweizerischen Urangewinnung. Beilage zum Bull. Nr. 2 der Schweiz. Vereinigung für Atomenergie, S. 1–6.
- HÜGI, TH. (1966): Zur Geochemie der Uranvererzungen in den Schweizeralpen. Geol. Rundschau 55, S. 437–445.
- HUTTENLOCHER, H. (1925): Zur Kenntnis verschiedener Erzgänge aus dem Penninikum und ihrer Metamorphose. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 5, S. 181–229.

- HUTTENLOCHER, H. (1934): Die Erzlagerstättenzonen der Westalpen. Beitr. Geol. Schweiz, Kleinere Mitt. 4 – Schweiz. Min. Petr. Mitt. 14, S. 22–149.
- KÜNDIG, E., und DE QUERVAIN, F. (1953): Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz. Mit Übersichtskarte 1:600000. Zweite Ausgabe. Schweiz. Geotechnische Kommission. Kümmerly & Frey, Bern.
- LANG, A. H., GRIFFITH, J. W., and STEACY, H. R. (1962): Canadian Deposits of Uranium and Thorium. Geological Survey of Canada, Dept. of Mines and Technical Surveys. Economic Geology Series No. 16 (second edition), Ottawa.
- LECOQ, J.-J., et SARCIA, J.-A. (1964): Quelques problèmes posés par la normalisation dans le domaine de la prospection et de l'exploitation des minerais radioactifs. Annales des Mines, Oct., p. 33–42.
- MARUMO, F., and NOWACKI, W. (1964): The Crystal Structure of Lautite and of Sinnerite, a New Mineral from the Lengenbach Quarry. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 44, S. 439–454.
- MAUCHER, A. (1962): Die Lagerstätten des Urans. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig.
- PAGE, LINCOLN R. (1960): The source of Uranium in Ore Deposits. Int. Geol. Congress, Rep. of the 21st. Session Norden, Part XV, p. 149–164.
- DE QUERVAIN, F. (1958): Chalkographische Beobachtungen an der Uranlagerstätte Isérables im Wallis. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 38, S. 487–490.
- RAMDOHR, P. (1960): Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. 3. Auflage. Akademie-Verlag Berlin.
- RICKENBACH, E. (1959): Der Stand der Uranforschung in der Schweiz. Bull. Ver. Schweiz. Petr. Geol. u. Ing., 25, Nr. 69, S. 14 bis 19.
- RICKENBACH, E. (1960): Die Suche nach Uran in der Schweiz. Beilage zu Bull. Nr. 11 der Schweiz. Vereinigung für Atomenergie, S. 1–5.
- RYBACH, L. (1961): Radiometrische Untersuchungen in der Misoixermulde. Beitr. Geol. Schweiz. Kleinere Mitt. 22 – Schweiz. Min. Petr. Mitt. 41, S. 85–102.
- RYBACH, L., und HAFNER, ST. (1962): Radioaktivitätsmessungen an Gesteinen des St. Gotthard-Profiles. Beitr. Geol. Schweiz. Kleinere Mitt. 25 – Schweiz. Min. Petr. Mitt. 42, S. 209–219.
- SCHAER, J. P. (1959): Géologie de la partie septentrionale de l'éventail de Bagnes. Archives des Sciences, Genève, 12, p. 473–620. – Thèse Neuchâtel, 1960.
- SCHMIDT, C. (1920): Texte explicatif de la Carte des Gisements des matières premières minérales de la Suisse 1:500000. Commission Géotechnique Suisse.
- SIGG, J. (1944): Contribution à l'étude pétrographique et minière de la partie inférieure du Val d'Anniviers et plus particulièrement de la région Saint Luc – Bella Tola. Mat. Géol. Suisse, Série géotechnique 21. – Thèse Genève.
- STAUFFER, H. (1958): Isotopenanalysen von Mikrogramm-Mengen von Blei. Diss. Bern. Gekürzte Fassung 8 S.
- VALLET, J.-M. (1950): Etude géologique et pétrographique de la partie inférieure du Val d'Hérens et du Val d'Héremence (Valais). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 30, S. 322–476. – Thèse Genève.

## Unveröffentlichte Berichte

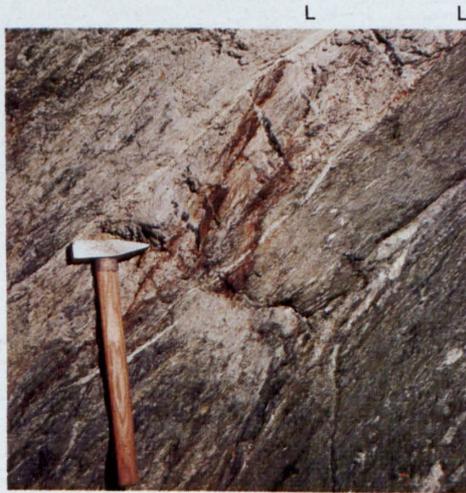
NB. AA = Arbeitsausschuß für die Untersuchung schweizerischer Mineralien und Gesteine auf Atombrennstoffe und seltene Elemente.

- GRANDE DIXENCE S.A. (Mitarbeiter: G. Welti): Rapport concernant les recherches d'uranium sur le territoire du droit de fouille de Grande Dixence S.A., (Geologische Übersichtspläne, Pläne der prospektierten Flächen zwischen Gr. St. Bernhard und Val de Nendaz, Detailpläne der Aufnahmen im Gebiet Grand Alou – Le Fou – Col des Mines). – 25. 11. 59
- GRANDE DIXENCE S.A.: Mesure de la radioactivité dans les galeries de la Grande Dixence S.A. (Meßprotokolle ab Juni 1957) – (AA-Ber. 101.a).
- GÜNTHER, A. W.: Dünnschliffuntersuchungen uranerhaltiger Gesteine aus dem Gebiet von Isérables. – 7. 5. 59. (AA-Ber. 136).
- JEAN-RICHARD, G.: Anreicherungsversuch an der Probe P der Galerie de recherche des Druckstollens Fionnay-Nendaz S Isérables (Grande Dixence S.A.). – Mai 1964. (AA-Ber. 244).
- JEAN-RICHARD, G.: Untersuchungsbericht über die angereicherte Probe P von Isérables. – 18. 3. 65. (AA-Ber. 267.)
- KÖPPEL, V.: Bericht über die erzmikroskopischen Untersuchungen der Uranvererzungen bei Törbel und Embd im Visper- und Mattertal (Wallis). – Febr. 1964. (AA-Ber.)
- LABHART, T.: Untersuchung der Bohrkerne der Sondierbohrungen im Stollen Fionnay-Rhône der Grande Dixence S.A. – 16. 12. 62 (AA-Ber. 211).
- MARTI, J., und LEU, H.: Radioaktivitätsmessungen im Stollen Fionnay-Rhône des Kraftwerks Grande Dixence (m 1970 bis m 4975 ab südl. Fensterstollen von Drotse) – Nov. 1958. (AA-Ber. 101.b.)
- QUERVAIN, F. DE: Bericht über die erzmikroskopischen Untersuchungen der Uranvererzung im Druckstollen Fionnay-Nendaz S Isérables. – Juni 1960. (AA-Ber. 152.)
- RICKENBACH, E.: Rapport sur la recherche d'uranium dans la région d'Isérables (Valais) jusqu'au printemps 1959. – 25. 7. 60. (AA-Ber. 153.)
- RIVAZ, B. DE: Premier rapport concernant la campagne de prospection scintillométrique dans la région Isérables-Nendaz. – 13. 10. 58. (AA-Ber. 125.a.)

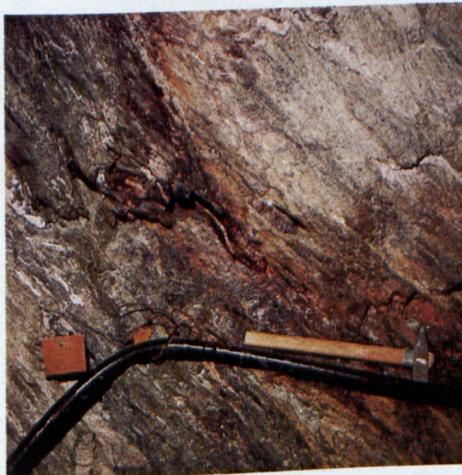
- RIVAZ, B. DE: Deuxième rapport sur la prospection radiométrique de la région Iséables-Nendaz de l'été 1958. – 15. 12. 58. (AA-Ber. 125.b.)
- RYBACH, L.: Quantitative Radioaktivitätsbestimmungen an Proben von Grand Alou und vom Sondierstollen Iséables. – 14. 2. 61/28. 3. 61. (AA-Ber. 167 b/c.)
- SACHS, O.: Rapport sur l'étude scintillométrique de surface effectuée du 11 au 23 août 1958 dans la région comprise entre le Col des Mines et la Dent de Nendaz. – 20. 9. 58. (AA-Ber. 123.)
- SCHAER, J. P.: Rapport sur l'étude scintillométrique de surface et l'étude géologique effectuées en Valais du 24 août au 6 octobre 1959 entre le Val d'Entremont et le Val d'Héremence. – Mars 1960 (AA-Ber. 150).
- STAUFFER, H.: Altersbestimmungen an uranführenden Vererzungen der Schweizeralpen. – 30. 1. 59. (AA-Ber. 155.)
- USONI, L.: Prove di arricchimento meccanico condotte sul minerale uranifero «P» di Iséables. – 18. 1. 62. (AA-Ber. 193.)
- WIENER, G. (Mitarbeiter: J. M. Margot, J. Meia, L. Kiraly, Ph. de Pury, B. de Rivaz): Schlußbericht über die «Campagne Grand Alou 1961». – 18. 12. 61. (AA-Ber. 181.)
- WIENER, G.: Schlußbericht über die Aufnahme Col des Mines – Les Plans. – 20. 1. 62. (AA-Ber. 182.)



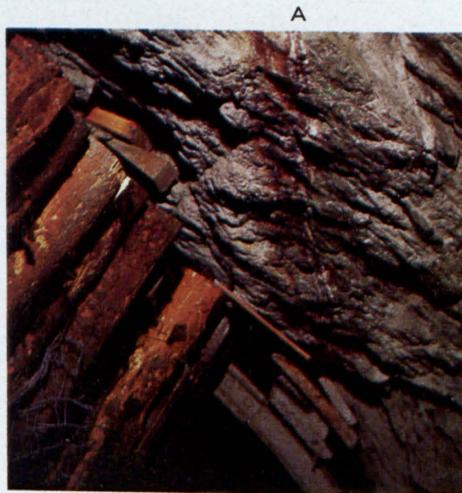
a) Vererzter Chlorit-Serizitgneis am E-Stoß gegen First, Zuleitungsstollen Fionnay-Rhône, m 1591,5. Pechblende führende Lagen beim Hammer.



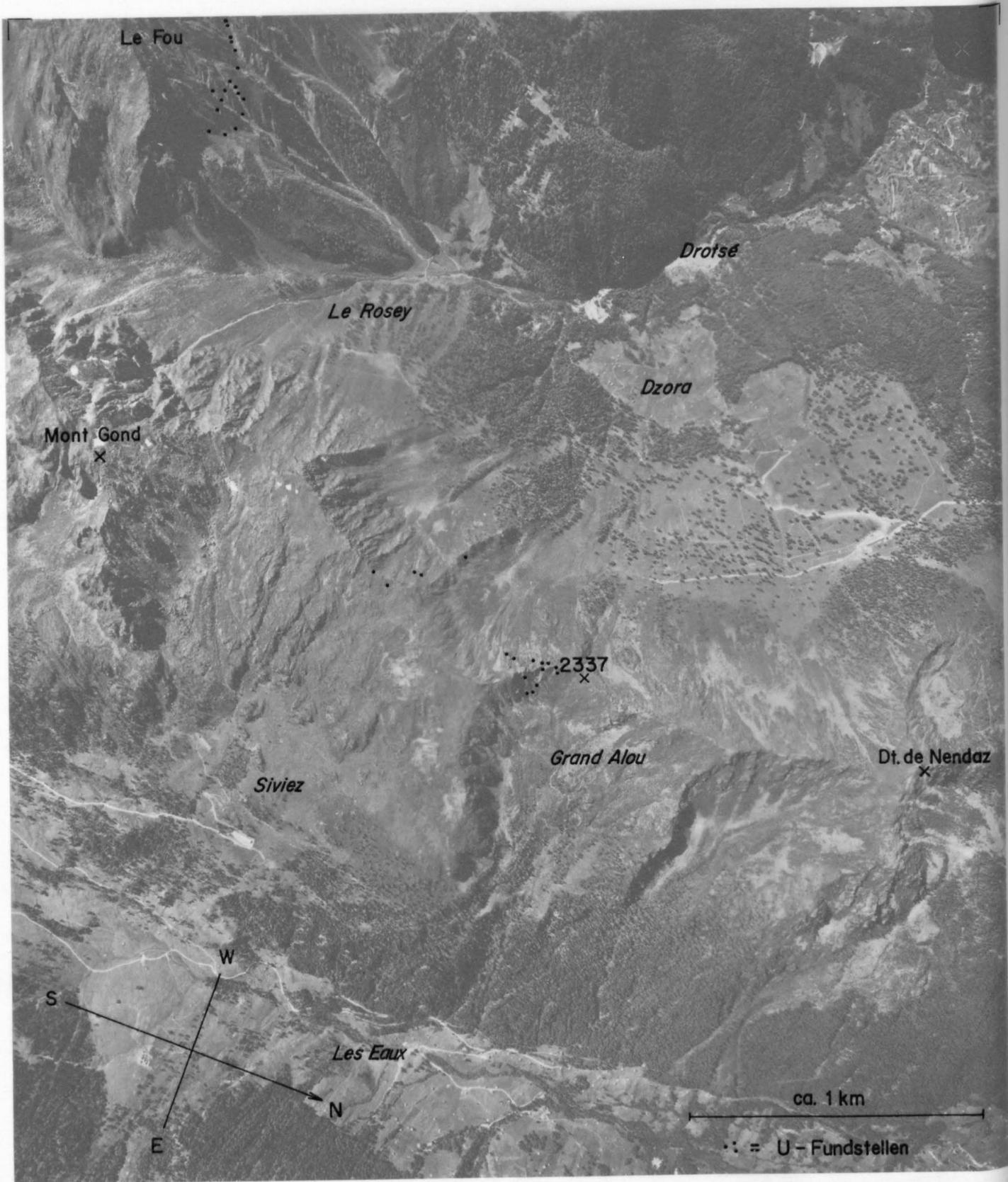
b) Vererzte von Lettenklüften (L) begleitete Partie. Sondierstollen SW-Stoß, m 15,2.



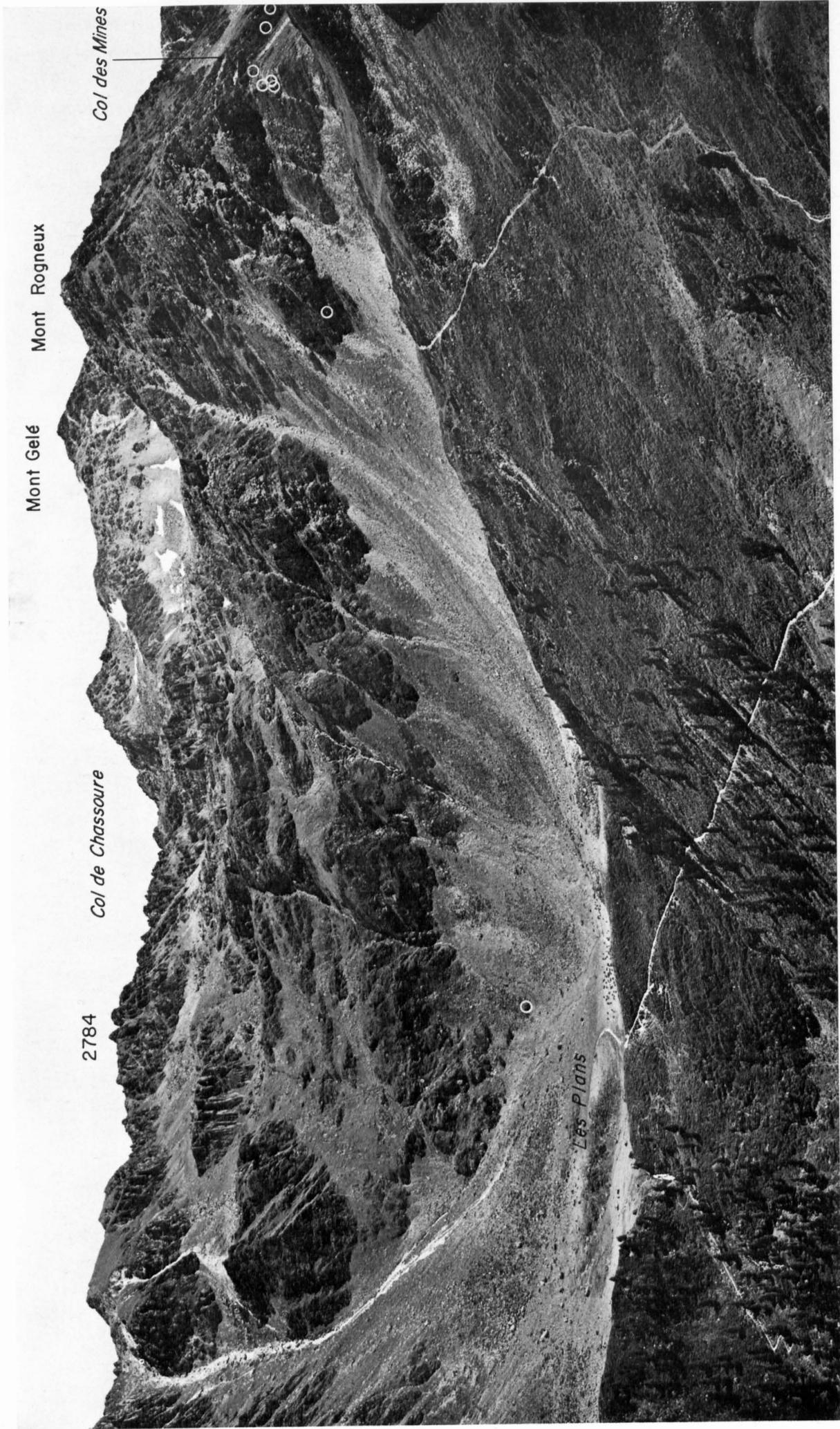
c) Ansicht einer vererzten Partie im Sondierstollen.



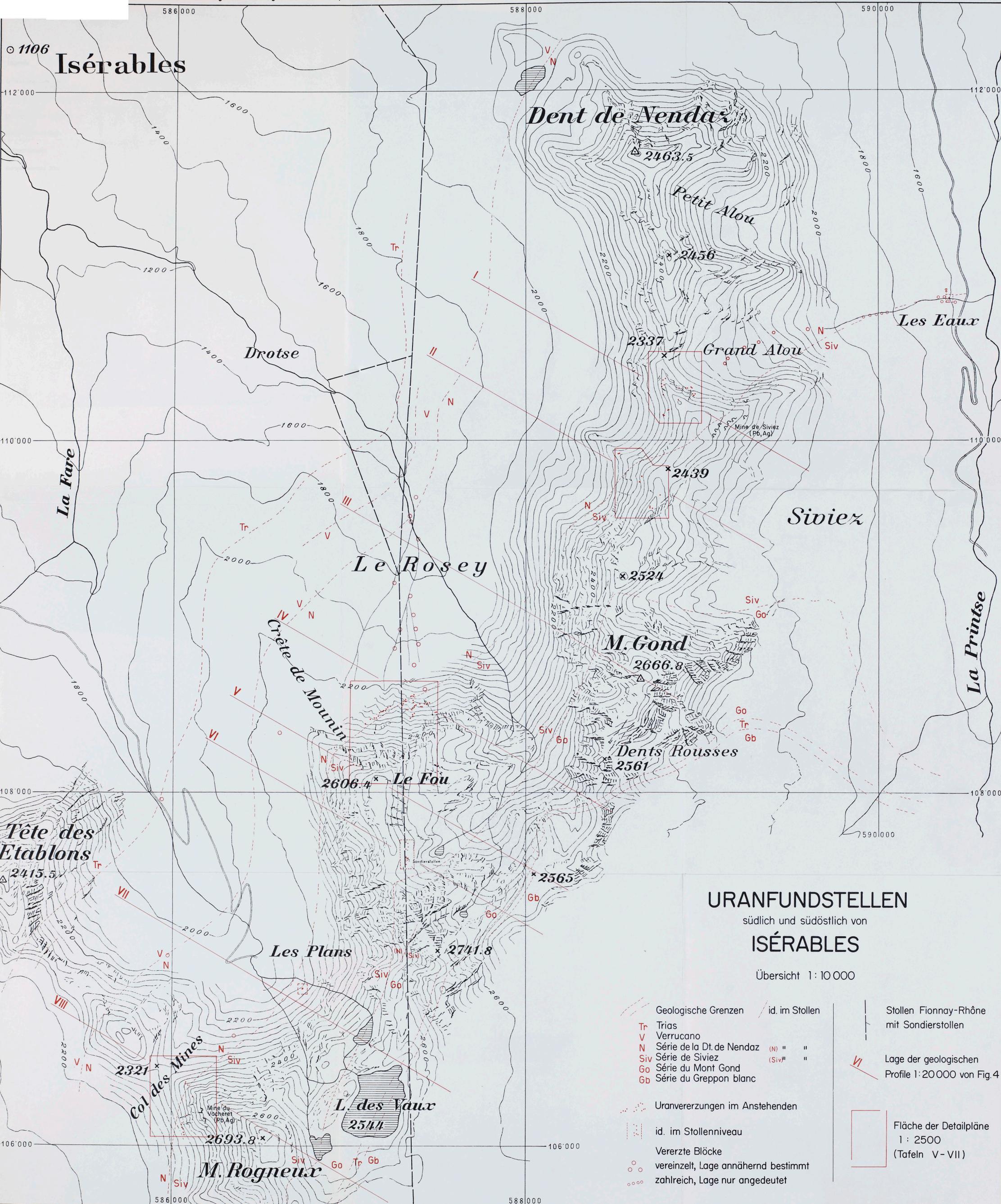
d) Vererzter Chlorit-Serizitgneis am Anfang des Sondierstollens. Braunes Band bei A = Pechblende führende Lage, begleitet von braunem Chlorit und Hämatit. Links: Zuleitungsstollen Fionnay-Rhône, Blick NNE, m 1585.



Tafel III. Luftaufnahme des Gebietes zwischen Dt. de Nendaz und Le Fou mit Angabe der Uranfundstellen. (Mit Bewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 18. 11. 1966)



Tafel I. Blick in den Kessel von Les Plans von der Tête des Etablons aus. (Aufnahme der Eidg. Landestopographie). — Die Kreise bezeichnen U-Fundstellen.



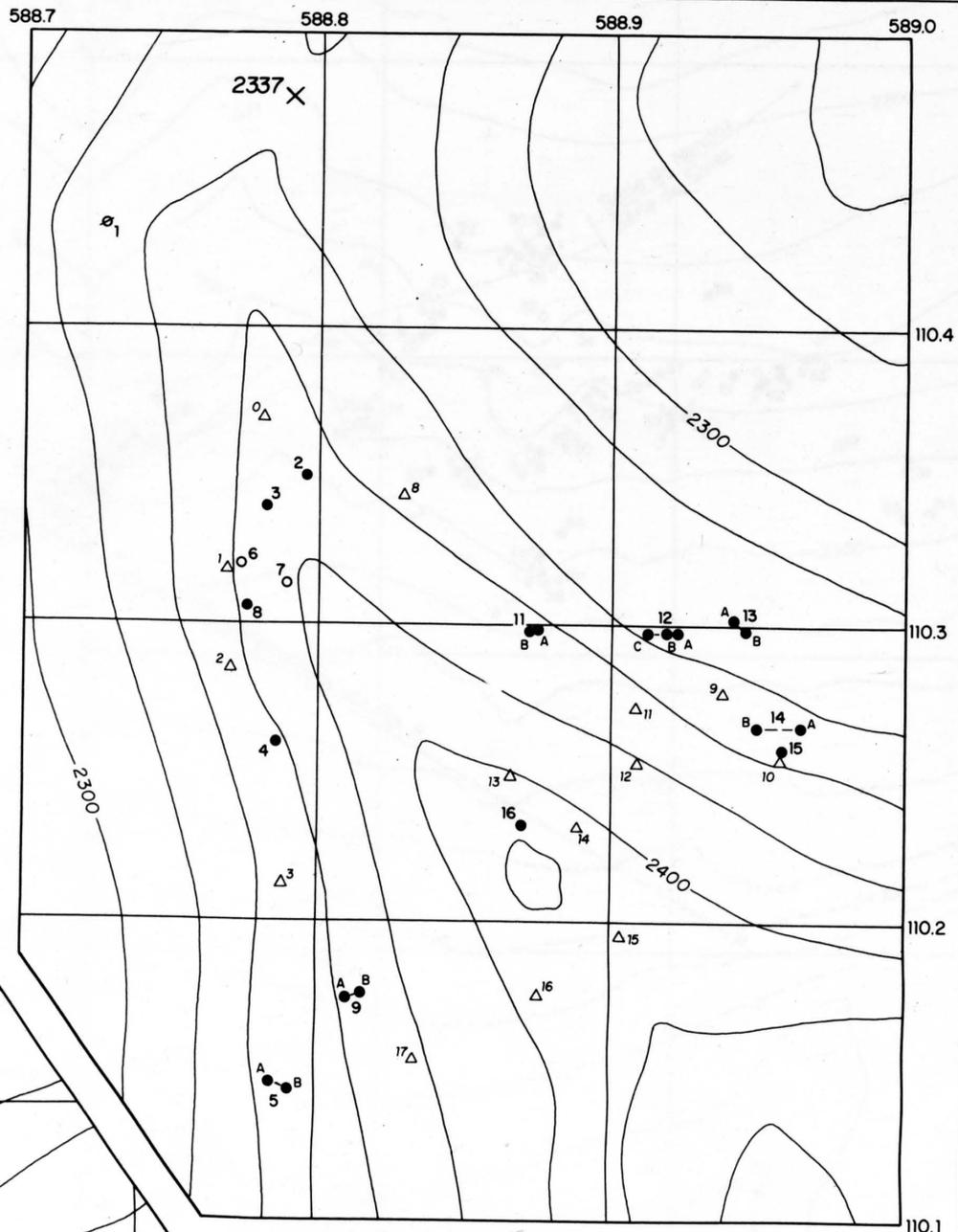
### URANFUNDSTELLEN

südlich und südöstlich von

### ISÉRABLES

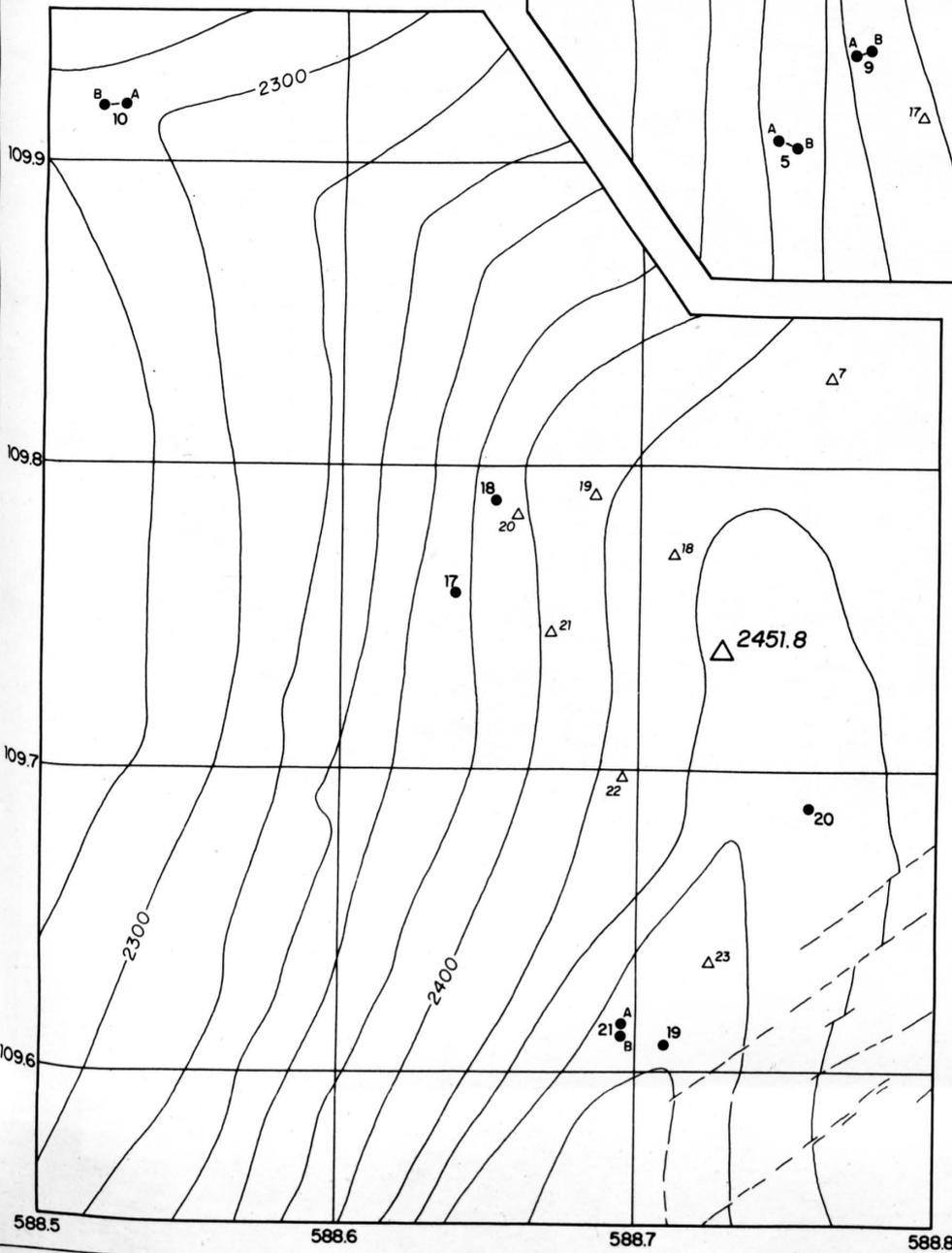
Übersicht 1 : 10 000

- Geologische Grenzen
- id. im Stollen
- Trias
- Verrucano
- Série de la Dt. de Nendaz (N) " "
- Série de Siviez (Siv) " "
- Série du Mont Gond
- Série du Greppon blanc
- Lage der geologischen Profile 1:20000 von Fig.4
- Uranvererzungen im Anstehenden
- id. im Stollenniveau
- Vererzte Blöcke
- vereinzelt, Lage annähernd bestimmt
- zahlreich, Lage nur angedeutet
- Stollen Fionnay-Rhône mit Sondierstollen
- Fläche der Detailpläne 1 : 2500 (Tafeln V - VII)



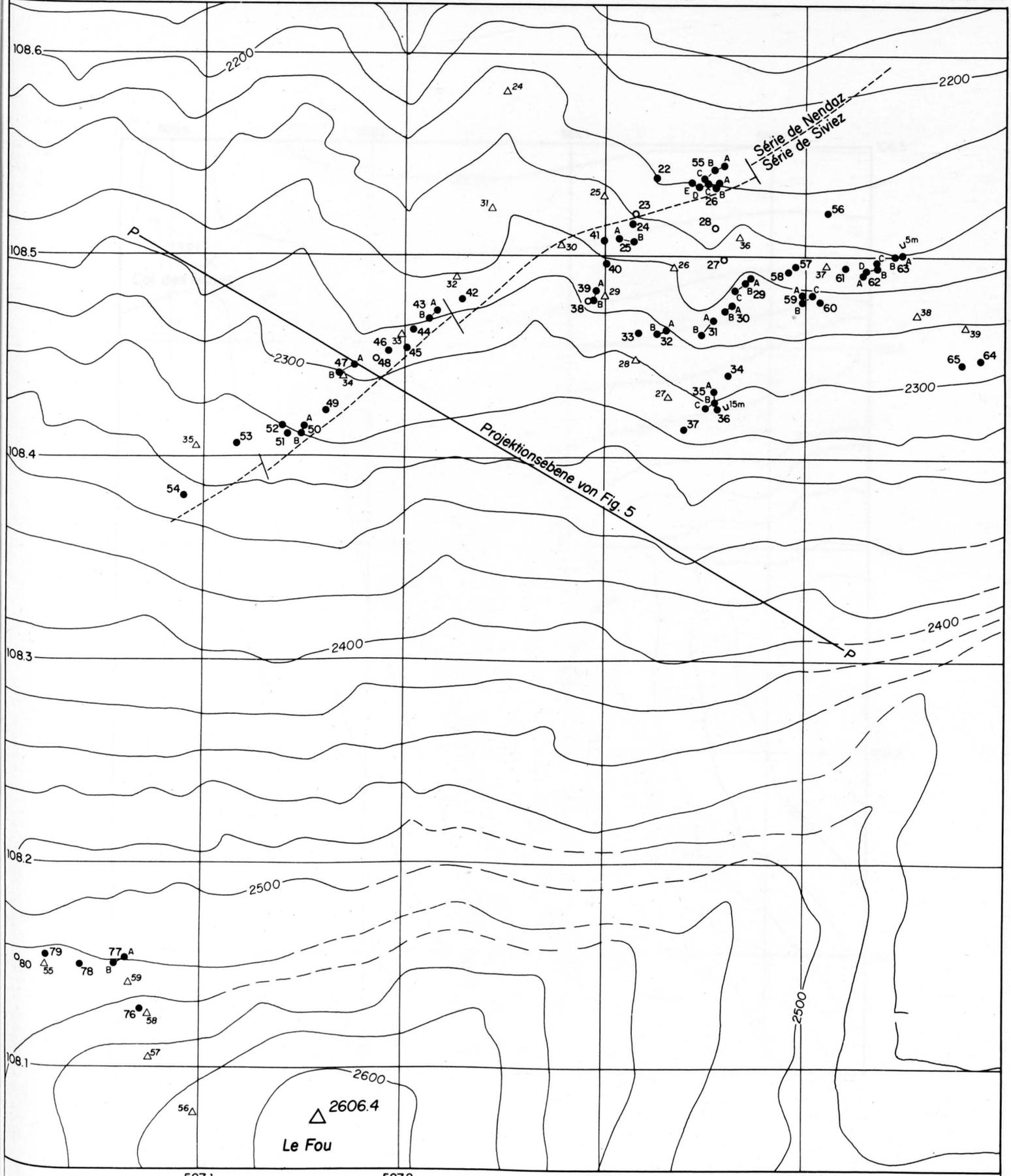
**Legende:**

- <sup>2</sup> U-Vererzung, Schlitzprobe  
± Handstückprobe
- <sup>6</sup> U-Vererzung, nur Handstückprobe
- ∅<sup>1</sup> U-Vererzung, nicht anstehend
- A<sup>13</sup>B Gruppe von Vererzungen
- △<sup>8</sup> Vermessungspunkt
- Isohypsenabstand 20m



**Uran - Fundstellen  
von  
GRAND ALOU**

1 : 2500

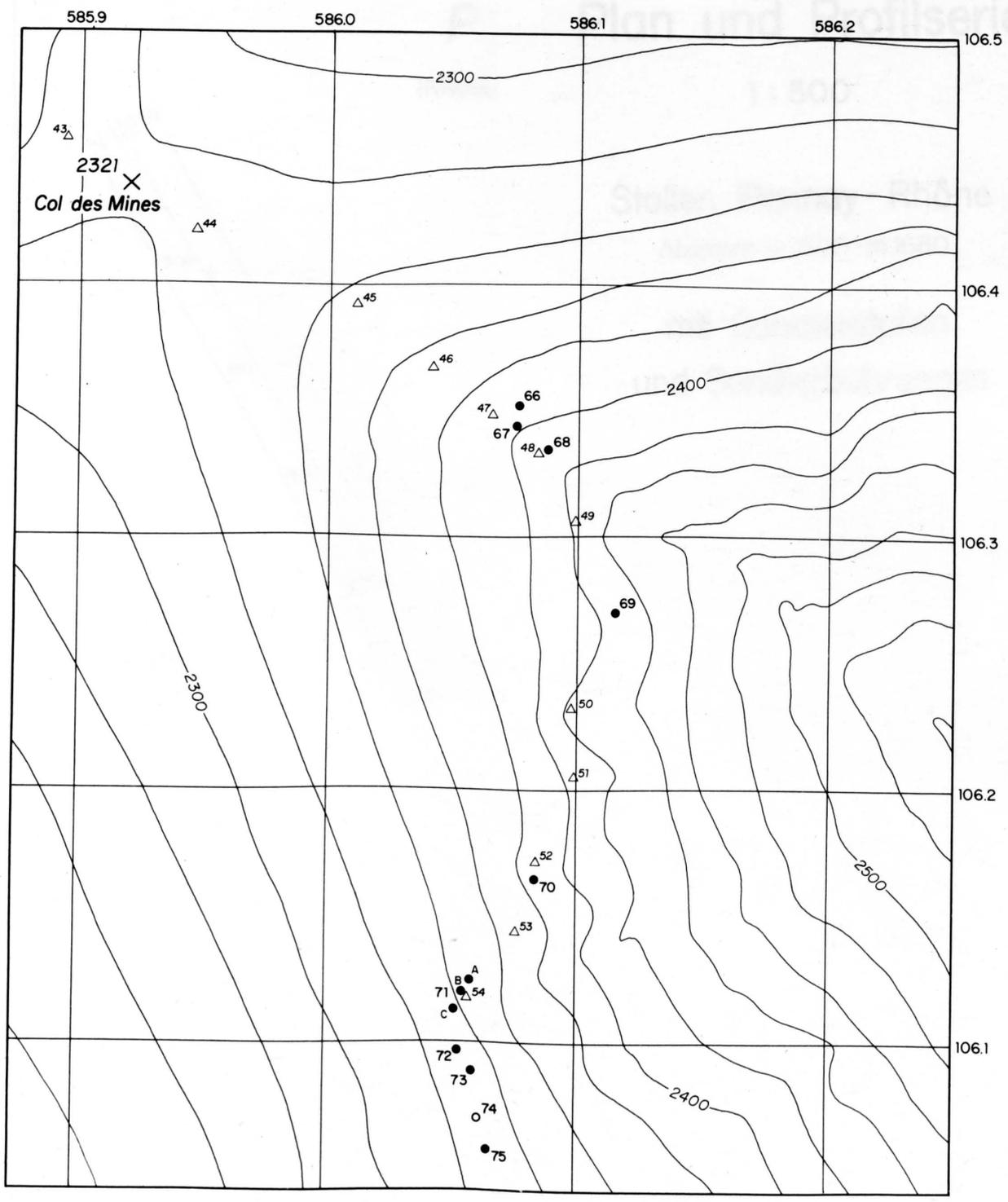


Legende:

- 22 U - Vererzung, Schlitzprobe ± Handstückprobe
- 23 U - Vererzung, nur Handstückprobe
- A  
● B  
● C  
● 29 Gruppe von Vererzungen
- △ 37 Vermessungspunkt
- U<sub>15m</sub> Alter Stollen mit Länge in m
- Isohypsenabstand 20 m

Uran - Fundstellen  
von  
**LE FOU**

1 : 2500



Legende:

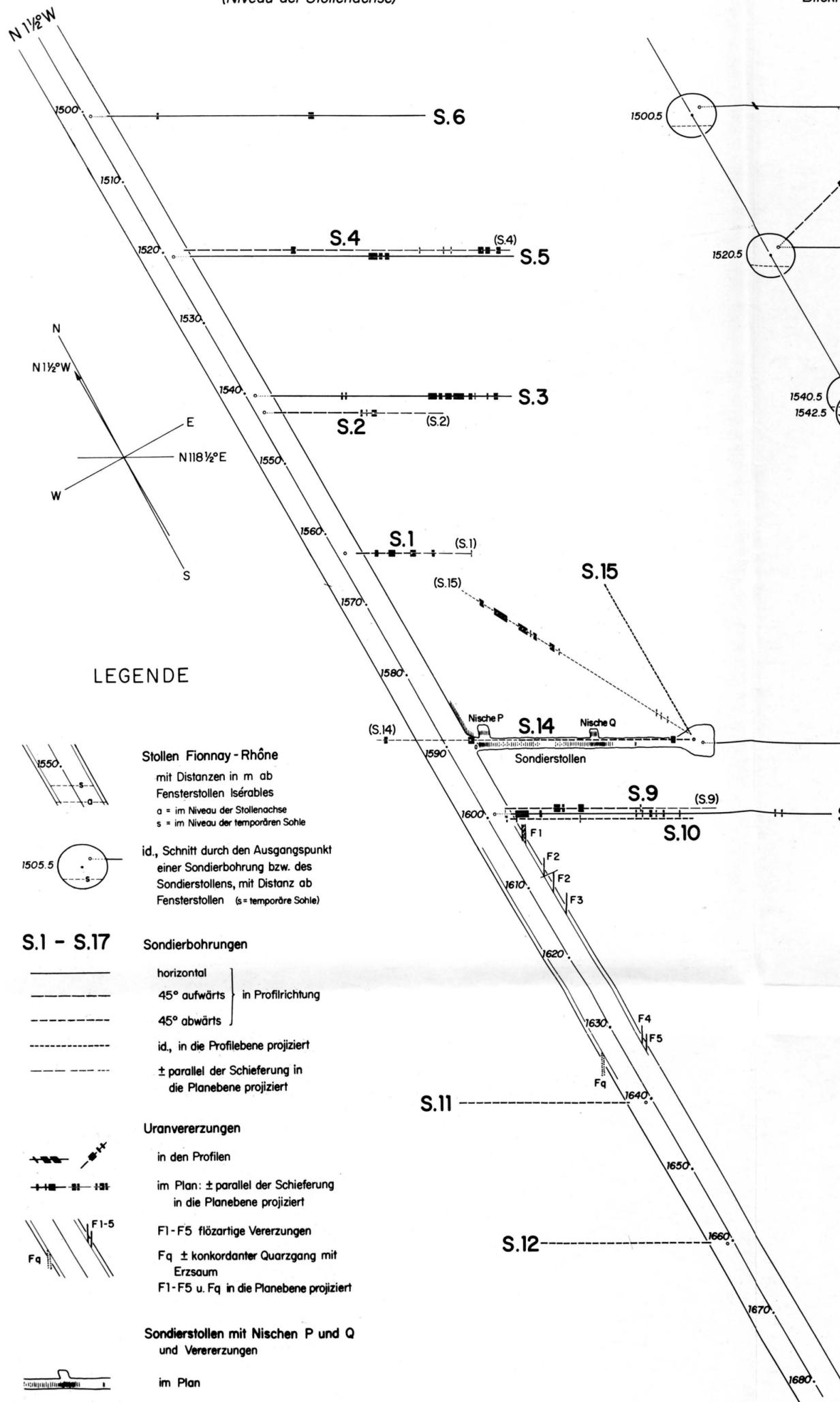
- <sup>75</sup> U-Vererzung, Schlitzprobe  
± Handstückprobe
- <sup>74</sup> U-Vererzung, nur Handstückprobe
- <sup>A</sup>  
●<sup>B</sup>  
●<sup>C</sup>  
●<sup>71</sup> Gruppe von Vererzungen
- △<sup>52</sup> Vermessungspunkt
- Isohypsenabstand 20m

Uran - Fundstellen  
von  
**COL DES MINES**

1 : 2500

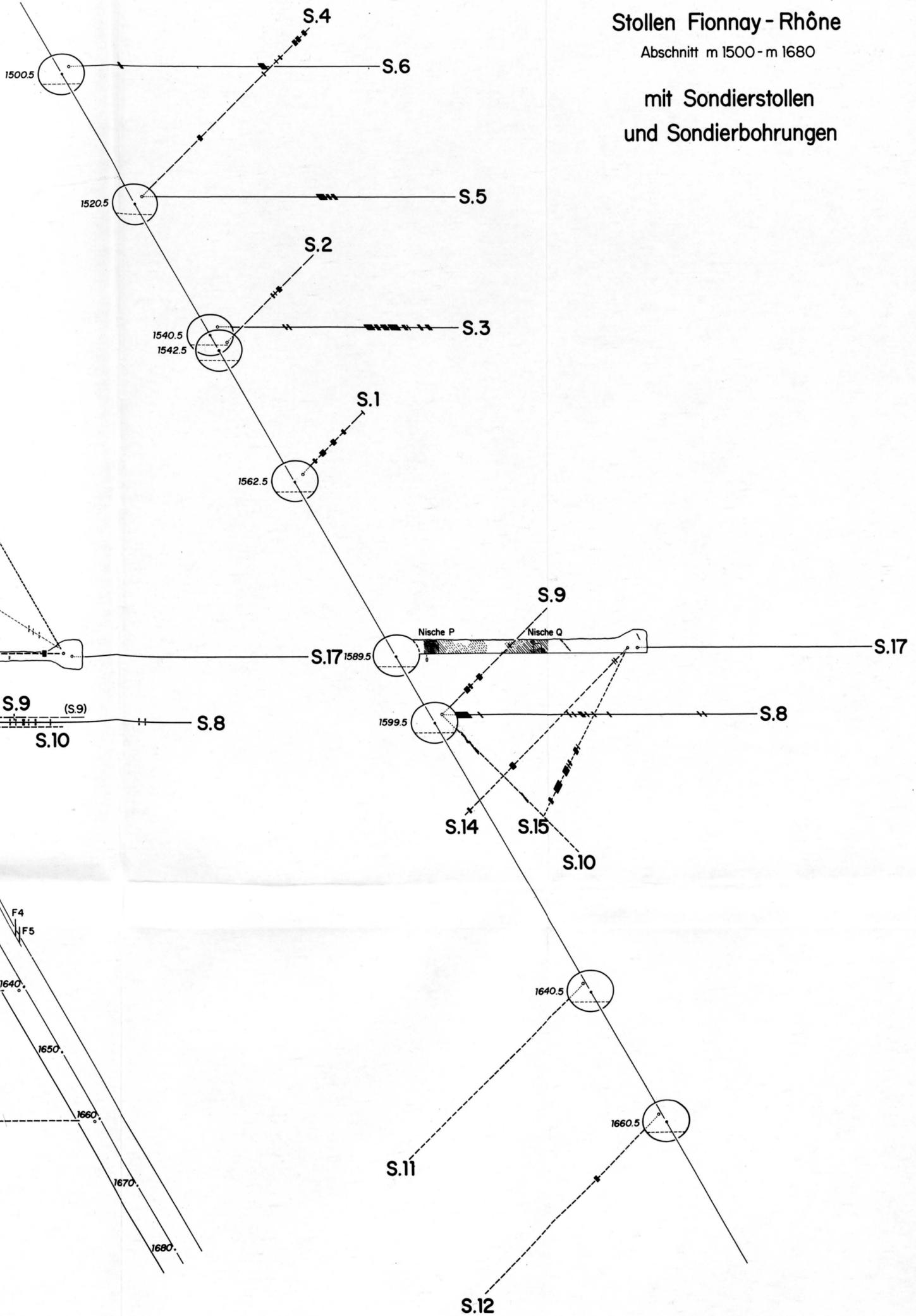
# Plan

(Niveau der Stollenachse)



# Profilserie

Blickrichtung N 28 1/2° E



# Plan und Profilserie

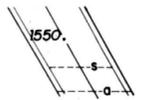
1 : 500

Stollen Fionnay - Rhône

Abschnitt m 1500 - m 1680

mit Sondierstollen  
und Sondierbohrungen

## LEGENDE



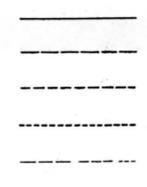
Stollen Fionnay - Rhône  
mit Distanzen in m ab  
Fensterstollen Isérables  
a = im Niveau der Stollenachse  
s = im Niveau der temporären Sohle



id., Schnitt durch den Ausgangspunkt  
einer Sondierbohrung bzw. des  
Sondierstollens, mit Distanz ab  
Fensterstollen (s = temporäre Sohle)

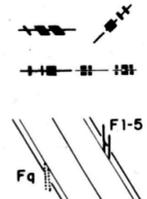
### S.1 - S.17

Sondierbohrungen



horizontal  
45° aufwärts } in Profilrichtung  
45° abwärts }  
id., in die Profilebene projiziert  
± parallel der Schieferung in  
die Planebene projiziert

Uranvererzungen



in den Profilen  
im Plan: ± parallel der Schieferung  
in die Planebene projiziert  
F1 - F5 flözartige Vererzungen  
Fq ± konkordanter Quarzgang mit  
Erzsaum  
F1 - F5 u. Fq in die Planebene projiziert

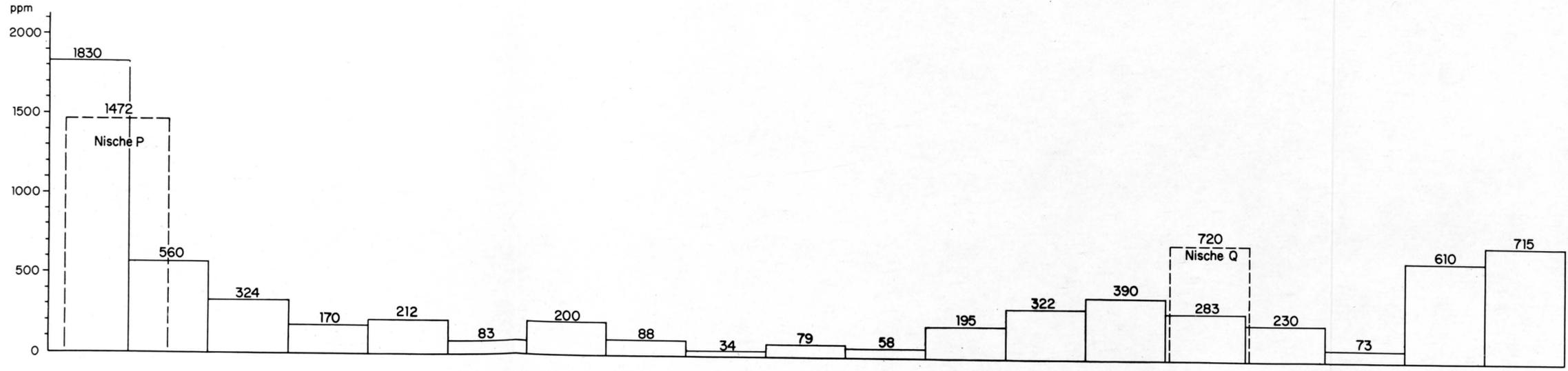
Sondierstollen mit Nischen P und Q  
und Vererzungen



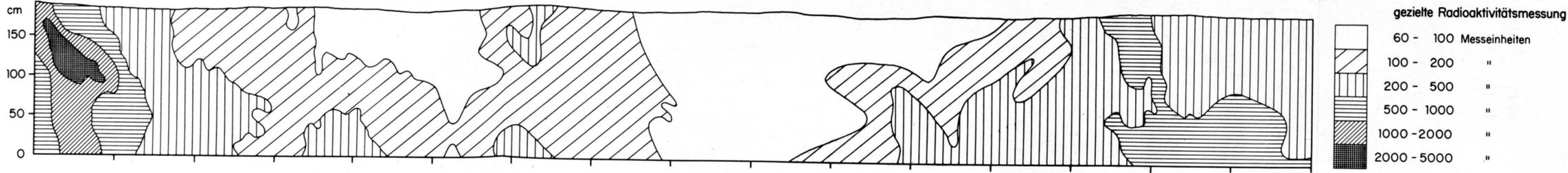
im Plan  
im Profil

# Beobachtungen im SONDIERSTOLLEN 1:50

Urangehalt der Meter- und Nischenproben aus der linken Stollenwand in ppm (=g/t)



Radioaktivitätsbild der linken Stollenwand (m15 - m16 von der rechten Wand übertragen)



Beobachtungen an den Stollenwänden

- sichtbare Vererzung
- weisser Quarz
- rosa Quarz
- dunkelgrüner Schiefer
- Gleitfläche
- Schieferungsmessung
- ungezielte Radioaktivitätsmessung in Imp/sec

