

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 58 (1965)
Heft: 1

Artikel: Rb-Sr Altersbestimmungen an Glimmern im Grenzbereich zwischen voralpinen Alterswerten und alpiner Verjüngung der Biotite : Messungen an Gesteinen des Gotthardmassivs und des Tavetscher Massivs (Oberflächenproben und Proben aus den Stollen der Kraftwerke...

Autor: Arnold, Andreas / Jäger, Emilie
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-163269>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

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

SK 4 87. 550. 93

20

Rb-Sr Altersbestimmungen an Glimmern im Grenzbereich zwischen voralpinen Alterswerten und alpiner Verjüngung der Biotite

Messungen an Gesteinen des Gotthardmassivs und des Tavetscher Massivs (Oberflächenproben und Proben aus den Stollen der Kraftwerke Vorderrhein)

Von **Andreas Arnold und Emilie Jäger¹⁾**

Mit 3 Tabellen und 10 Figuren im Text

ABSTRACT

Rb-Sr age determinations on biotites and muscovites from the Gotthard and Tavetsch massifs are given. These pre-Tertiary massifs were metamorphosed during the Tertiary Alpine orogeny (E. NIGGLI, 1944). The analyzed rocks are situated in the chloritoid zone, the most southern sample (Z 12) in the kyanite zone of Alpine metamorphism (E. NIGGLI, 1960).

Two muscovites from pegmatites in this region show pre-Alpine age results of 365 and 295 m.y. (see table 3).

Biotites from one locality (see fig. 3), all within a distance of 7 meters, give different age results of 266, 164, 54 and 22.7 m.y., depending on the type of rock and on the extent of new mineral formation. The rock which preserved its pre-Alpine structure the best, an ultrabasic inclusion of 1 m³ (sample KAW 93), gives a pre-Alpine biotite age of 266 m.y. Between the basic inclusion and the strongly recrystallized quartz diorite is a small transition zone with coarse grained biotite. This biotite (KAW 126) gives an intermediate age result of 164 m.y. The quartz diorite lense of about 4 m in diameter shows the greatest degree of young mineral formation, the biotite giving the youngest age result of 22.7 m.y. (sample KAW 125). The surrounding gneiss (KAW 124), with pre-Alpine kyanite and sillimanite, seems to be less influenced than the diorite by the Alpine metamorphism. The age result on this biotite is 54 m.y. The Sr⁸⁷ of this biotite is only 13% radiogenic, the age result is therefore lowered by radiogenic strontium in the total rock to an age of 50 m.y., which is definitely higher than that found for the biotite from the quartz diorite.

In this locality we find another relationship: The biotite with the lower age result shows the higher content of sagenite (see fig. 10). This again means that the biotite which was transformed most strongly gives the youngest age result.

For comparison we measured biotites from other localities nearby. A gneiss-biotite from the surface (KAW 39) gives an age result of 42 m.y. In the tunnel, 800 W of the above locality, we analyzed the biotites from a gneiss and from an amphibolitic inclusion, samples KAW 235 and KAW 174. We found age results of 28.7 and 24.2 m.y. This gneiss-biotite (28.7 ± 2.4 m.y.) gives a younger age than biotites from other gneiss samples.

The youngest age was found on biotite (sample KAW 175) from an Alpine fissure, 15.1 ± 1.6 m.y.

We could not find a relationship between grain size and age result of the biotite, but in the first mentioned locality (fig. 3) we found a good relation between age result and extent of formation of new minerals in the rock. The younger the biotite age the higher is the extent of new mineral formation.

¹⁾ Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Bern.

This means that the age results of 266 and 164 m.y. were less affected by the Alpine metamorphism than the younger ages of 22.7 and 54 m.y., and again the age result of 22.7 m.y. was more strongly affected than the age on the gneiss-biotite of 54 m.y.

It is impossible to explain the different age results by different temperatures or by slower cooling after the metamorphism. We think that the different degree of formation of new minerals caused the different ages. The varying degree of recrystallization is a result of the durability of the rock during the Alpine metamorphism.

The process which caused the young ages cannot be explained wholly by a diffusion mechanism but must involve a chemical reaction which at the same time produced the crystallization of sagenite in the biotite.

The good relationship between age result and extent of new mineral formation was found only in one locality (fig. 3). Nearby, the biotite age of the gneiss (sample KAW 235) is lower, 28.7 ± 2.4 m.y., and cannot be distinguished from the age result of a biotite from an amphibolite inclusion, sample KAW 174, $- 24.2 \pm 1.7$ m.y.

Two of six gneiss-biotites in this region give age results of 42 and 49 m.y. We cannot decide whether these numbers are intermediate ages between 270 and 20 m.y. or whether they are remainders of an early Alpine phase of 46 m.y., which R. STEIGER (1964) seems to find with K-Ar ages on amphiboles. In every case the biotite ages give us the time of cooling after the metamorphism and not the time of metamorphism itself.

I. EINFÜHRUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Zweck dieser Arbeit war nicht die Lösung eines regionalen geologischen Problems mit Hilfe der Rb-Sr Altersbestimmung, sondern das Studium der Umstände, die zur Verjüngung von Biotiten führen. Wie E. JÄGER und Mitarbeiter (1961) und E. JÄGER (1962) zeigen konnten, stehen die Alterswerte an Biotiten in direkter Beziehung zum Grad der alpinen Metamorphose: In der Zone von alpin gebildetem Stilpnomelan (E. NIGGLI, 1960) vollzieht sich der Übergang von voralpinen Biotitaltern über Mischalterswerte zu jungen Alterswerten an der Grenze Stilpnomelan zu Stilpnomelan plus Chloritoid. Vereinzelt finden wir noch voralpine Alterswerte in der Chloritoid-Zone, in besonders geschonten Gesteinspartien, wie in der ultrabasischen Scholle aus dem untersuchten Gebiet.

In Zonen höherer Metamorphose finden wir nur junge Biotitalter. All diese jungen Alterswerte geben uns nicht die Zeit der Metamorphose, sondern die Zeit der Abkühlung auf eine bestimmte Temperatur nach der Metamorphose.

Fig. 1 gibt einen tektonischen Überblick über die Zentralalpen mit den Zonen alpiner Metamorphose nach E. NIGGLI, 1960, und E. WENK, 1962. Das untersuchte Gebiet ist in der Karte Fig. 2 dargestellt, es ist in Fig. 1 herausgehoben. Zwei Proben, Z 12 und Z 13, Granodioritgneis von Acquacalda und Gurschengneis, wurden zum Vergleich gemacht; sie fallen nicht in das Gebiet von Fig. 2, die Lokalitäten sind in Fig. 1 angegeben.

II. GEOLOGISCHE SITUATION UND KURZE BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN GESTEINSPROBEN

A. Allgemeiner Überblick

Das zwischen dem Aarmassiv und den von Süden her vorgeschobenen penninischen Decken liegende Gotthardmassiv erstreckt sich bogenförmig von Brig im Rhonetal bis Versam im Vorderrheintal. Östlich Andermatt schaltet sich zwischen Aar- und Gotthardmassiv das Tavetscher Zwischenmassiv ein. Beide werden von

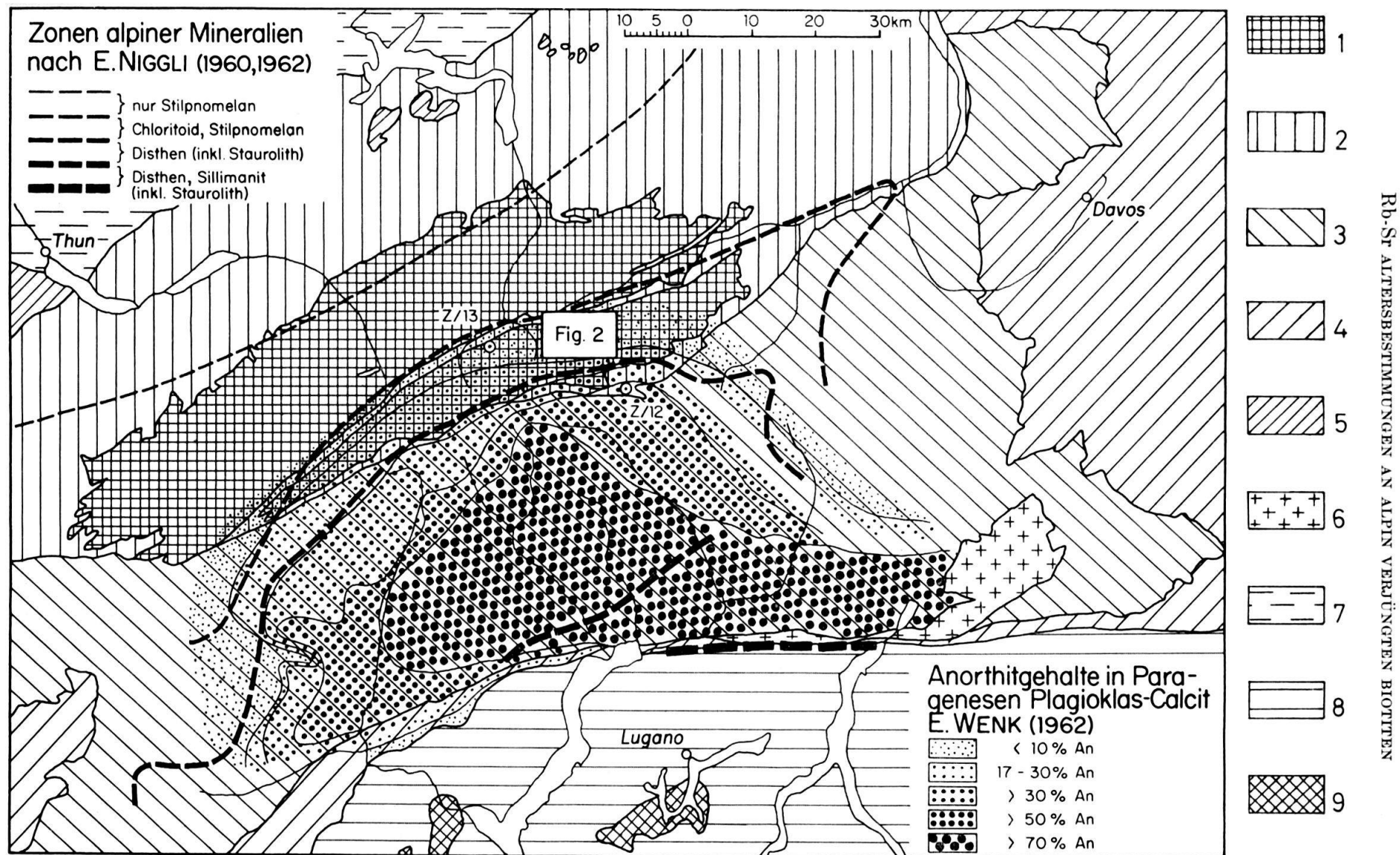


Fig. 1. Tektonische Übersichtskarte der Zentralalpen mit den Mineralzonen alpiner Metamorphose nach E. NIGGLI und E. WENK.
 1. Zentralmassive, Aar-, Tavetscher- und Gotthardmassiv. 2. Helvetische Decken. 3. Penninische Decken. 4. Ostalpine Decken. 5. Klippen und Préalpes. 6. Tertiäre Intrusivmasse des Bergell. 7. Molasse. 8. Südalpen allgemein. 9. Jungpaleozoische Intrusiva der Südalpen.
 Z 12 Biotit von Acquacalda. Z 13 Biotit aus dem Gurschengneis.

den meisten Autoren als polyorogene prätriadische Massive gedeutet. Sie wurden durch die alpine Orogenese epi- bis mesometamorph überprägt. Jungsedimentäre Gesteinszüge (Permokarbon und Mesozoikum) trennen die Massive weitgehend voneinander. Diese letzteren sind nur alpin monometamorph überprägt.

1. Das Tavetscher Zwischenmassiv

In seinem altkristallinen Anteil besteht das Tavetscher Zwischenmassiv vorwiegend aus polymetamorphen Paragneisen und Paraschiefern, in welche zahlreiche Talk- und Serpentinlinsen, sowie Strahlsteinschiefer eingelagert sind. Misch- und Injektionsgneise treten gegenüber dem Gotthardmassiv stark zurück. In dieser älteren Gruppe eingelagert finden sich zum Teil diskordante Pegmatite und Quarzporphyre, die zum herzynischen Magmenzyklus gerechnet werden (E. NIGGLI, 1944). Die alpine Überprägung ist im wesentlichen epizonal. Die jungsedimentären Züge sind ausser im östlichen Teil nur noch relikttisch vorhanden.

2. Das Gotthardmassiv

a. Das Altkristallin (mit seinen herzynischen Intrusionen)

Ein älterer Komplex von polymetamorphen Gneisen und Amphiboliten, mit verschiedenen Einlagerungen, und ein jüngerer Komplex von diskordanten Eruptivgesteinsstöcken (Granite und Granodiorite) und Gängen bilden den altkristallinen Anteil des Gotthardmassivs.

Der ältere Komplex ist zonal gegliedert und weist eine durchgehende Paralleltexur auf. An eine mittlere Zone von Streifengneis schliessen beidseitig Züge von Misch- und Paragneisen, sowie von Amphiboliten an. Die *Streifengneise* zeigen durchgehend herzynisch aufgeprägte Paralleltexur und Streifung. Sie werden von H. M. HUBER (1943) auf Grund ihrer Lagerungsverhältnisse als früh- bis vorherzynisch in die Paragneise intrudierte Granitgneise gedeutet. Diese Ansicht wurde durch neuere absolute Altersbestimmungen bestätigt. U-Pb-Bestimmungen an Zirkonen der Streifengneise gaben diskordante Alterswerte von 485–560 Millionen Jahren (M. GRÜNENFELDER und Mitarbeiter, 1962 und 1964). Die *Paragneise* bilden verschiedene Züge von teilweise bänderigen Biotitplagioklasgneisen. Diese enthalten zahlreiche Einschlüsse von Amphibolitlinsen, Kalksilikatlinsen, Dioritlinsen und seltener Serpentin- und Marmorlinsen. Auf weite Gebiete, vor allem in der Zone nördlich der Streifengneise, werden sie von *Misch-* und *Injektionsgneisen* durchsetzt. Die Bänderungen und Paralleltexuren sind auch diesen Gesteinen zu einem grossen Teil bereits herzynisch aufgeprägt. Die Paragneise werden von den Petrographen fast immer als präherzynische Sedimente gedeutet. U-Pb-Bestimmungen an Zirkonen eines Paragneises (Gurschengneis) ergaben diskordante Alterswerte, die auf ein sicher präkambrisches Alter (1000–1200 Millionen Jahre) der ältesten Zirkonfraktion schliessen lassen (M. GRÜNENFELDER, 1964).

Der jüngere Komplex ist in oberflächlich voneinander getrennten, verschiedenen Stöcken und Gängen in die älteren Gesteine eingedrungen. Die Stöcke bilden zwei Gruppen: im Westen den *Gamsboden-*, *Fibbia-* und *Rotondogranit*, im Osten den *Medelsergranit* und den *Cristallinagranodiorit*. Sie schneiden an ihren Kontakten alle erwähnten alten Strukturen ab. Das von den meisten Autoren postulierte spätherzynische Alter dieser Granite (mit Ausnahme des Rotondo-

granits) wurde von M. GRÜNENFELDER (1962) bestätigt. Für den Rotondogranit fanden E. JÄGER und E. NIGGLI (1964) Gesamtgesteinsalter von rund 260 Millionen Jahren durch Rb-Sr-Bestimmungen. Die Granite selbst weisen eine postherzynische metamorphe Überprägung auf, sind aber teilweise noch massig.

b. Die jungsedimentären Gesteine

Die jungsedimentären Gesteinszüge der Urserenzone im Norden und der Nufenen-Piora-Mulde im Süden trennen das Gotthardmassiv vom Tavetscher Zwischenmassiv und von den penninischen Decken ab.

c. Die alpine Metamorphose

Im Studium der alpinen Metamorphose nimmt das Gotthardmassiv eine Schlüsselstellung ein. Es liegt zwischen dem nur epimetamorph überprägten Aarmassiv im Norden und den durchgreifend mesozonal umgewandelten Gesteinen der lepontinischen Region im Süden. Auch im Massiv selber ist eine starke Zunahme der Metamorphose von Norden nach Süden festzustellen.

In der jungsedimentären Urserenzone haben wir vor allem epimetamorphe Gesteine, wie Phyllite, Serizitschiefer, Chloritoidschiefer usw. Im Süden des Massivs haben wir entsprechend Granat-, Disthen- und Hornblende-führende Schiefer, die Produkte einer mesometamorphen Überprägung sind.

Auch ein Blick auf Fig. 1 zeigt, dass das Massiv in den Zonen alpiner Metamorphose eine Zwischenstellung einnimmt. Es reicht von der Chloritoid-Stilpnomelanzone bis in die Disthenzone nach E. NIGGLI (1960), und von <10% bis >50% Anorthitgehalt nach E. WENK (1962).

d. Das engere Arbeitsgebiet

Das Gebiet, in dem unsere Altersbestimmungen durchgeführt wurden, liegt im nordöstlichen Gotthardmassiv und im angrenzenden Tavetscher Zwischenmassiv. Figur 1 und 2 orientieren über die geologische Lage.

E. NIGGLI fand 1944 ein Gebiet sehr geringer alpiner Überprägung nördlich des Piz Maler, zwischen der Val Nalps und der Val Curnera. Es handelt sich dabei um einen Komplex von Albitoligoklas- und Andesinlabradorgneisen mit zahlreichen Einschlüssen von Kalksilikatlinsen, und seltener, Einschlüssen von Amphiboliten, Diorit- und Quarzdioritlinsen. Daneben treten untergeordnet Sillimanitgneise und Orthogneise auf. Durch dieses Gebiet trieben die Kraftwerke Vorderrhein einen Stollen von Nalps nach Curnera. Es war naheliegend, hier nach Biotiten zu suchen, die der alpinen Verjüngung entgangen sein könnten. Dies wurde auf Anregung von Herrn Professor Dr. E. NIGGLI getan. Die erste, an der Oberfläche entnommene Probe enttäuschte und gab ein alpin verjüngtes Alter (KAW 39, Tab. 3). Während der Detailaufnahme des Stollens Nalps-Curnera wurde unsere Aufmerksamkeit auf die in einer Quarzdioritlinse eingeschlossene, ultrabasische Scholle gelenkt. Ihre alte Mineralparagenese zeigte sich auffallend homogen, und die Biotite, im Vergleich zu andern aus derselben Region, einschlussarm. Die Altersbestimmung an den Biotiten gab denn auch ein herzynisches Alter (KAW 93, Tab. 3). Eine deutliche Zunahme sowohl der Mineralneubildungen allgemein, als auch der Einschlüsse und randlichen

Umwandlung der Biotite vom Kern der ultrabasischen Scholle in den Quarzdiorit hinein, veranlassten uns, weitere Proben aus diesem Komplex zu untersuchen. Die Altersbestimmungen gaben uns sehr interessante Resultate, die in dieser Arbeit vorgestellt und besprochen werden sollen.

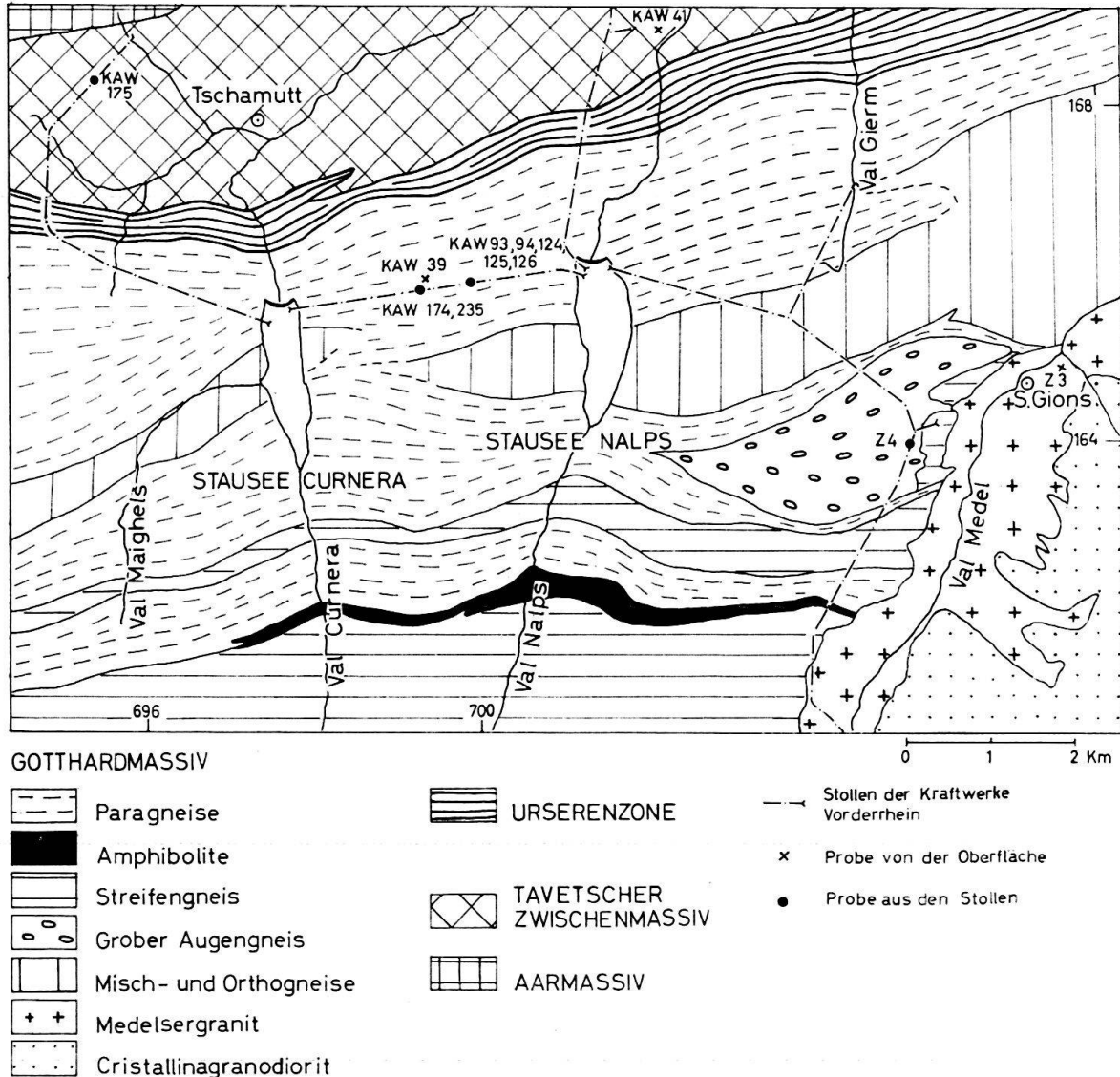


Fig. 2. Vereinfachte geologisch-petrographische Übersichtsskizze von der Val Maighels bis zum Lukmanier (Lage siehe Fig. 1).

B. Die einzelnen Proben

Die Proben des engeren Arbeitsgebietes sollen hier nur soweit petrographisch beschrieben werden, als dies zur Interpretation der Altersresultate erforderlich ist. Eine ausführliche Bearbeitung und Beschreibung dieser Gesteine wird in einer grösseren Arbeit später erfolgen.

Zum Vergleich wurden Messungen an Proben zum Teil ausserhalb des engeren Arbeitsgebietes gemacht, einige Resultate werden aus früheren Arbeiten zitiert. Diese Proben werden hier nicht petrographisch beschrieben, wir verweisen für die

Tab. 1. Die Proben und ihre Fundorte.

Proben Nr.	Mineral	Gestein	Lokalität	Koordinaten
KAW 93	Biotit	Ultrabasische Scholle in Quarzdiorit	Druckstollen Nalps-Curnera m 1136	699.970/166.010
KAW 126	Biotit	Grenzzone ultrabasische Scholle-Quarzdiorit	Druckstollen Nalps-Curnera m 1135	
KAW 124	Biotit	Biotit-Disthen-Sillimanitgneis	Druckstollen Nalps-Curnera m 1130	
KAW 125	Biotit	Quarzdiorit	Druckstollen Nalps-Curnera m 1133	
KAW 39	Biotit	Granat-Biotit-Andesingneis	NE. Piz Maler	699.350/165.950
KAW 174	Biotit	Biotitamphibolit	Druckstollen Nalps-Curnera m 1816	699.300/165.910
KAW 235	Biotit	Biotit-Hornblende-Andesingneis	Druckstollen Nalps-Curnera m 1729-1761	699.350/165.920
Z 3	Biotit	Medelsergranit	Pardatsch, Lukmanierpass	706.900/164.700
Z 4	Biotit	Streifengneis	Val Draus, Lukmanierpass	705.140/163.980
Z 12	Biotit	Granodiorit	Acquacalda, Lukmanierpass	706.880/155.100
Z 13	Biotit	Gurschengneis	Mätteli, S. Hospental	686.800/162.700
KAW 175	Biotit	Kluft (Tavetscher-Zwischenmassiv)	Stollen Oberalp-Val m 863	695.410/168.400
KAW 94	Muskowit	Pegmatit	Druckstollen Nalps-Curnera m 1115	699.990/166.020
KAW 41	Muskowit	Pegmatit	Strasse Sedrun-Nalps, N. Pardatsch	702.150/168.800

petrographische Charakterisierung dieser Proben auf die Literatur: Proben KAW 39 und KAW 41, Gneis und Pegmatit aus dem engeren Arbeitsgebiet – E. JÄGER, J. GEISS, E. NIGGLI, A. STRECKEISEN, E. WENK & H. WÜTHRICH (1961); Probe Z 12, Granodioritgneis Acquacalda – M. GRÜNENFELDER (1963); Proben Z 4 und Z 13, Streifengneis und Gurschengneis – M. GRÜNENFELDER, F. HOFMÄNNER & N. GRÖGLER (1964). Die Glimmerkonzentrate Z 3, Z 4, Z 12 und Z 13 verdanken wir Herrn Prof. Dr. M. GRÜNENFELDER, der an denselben Proben die U-Pb Altersbestimmungen der Zirkone machte.

Alle in dieser Arbeit beschriebenen Proben, mit Ausnahme von KAW 175 (Kluftbiotit aus dem Tavetscher Zwischenmassiv), stammen aus dem Stollen Nalps-Curnera. Sie liegen innerhalb einer Strecke von 750 m, unter einer Winkelabweichung von nur ca. 20° zum Streichen. Über die geologisch-geographische Lage der untersuchten Proben orientieren Fig. 2 und Tab. 1.

1. Die Quarzdioritlinse mit ultrabasischer Scholle

Eine Quarzdioritlinse wurde im Stollen Nalps-Curnera bei Laufmeter 1130 bis 1137 angetroffen. Ihre Verbandsverhältnisse sind in Fig. 3 dargestellt. Die in einem

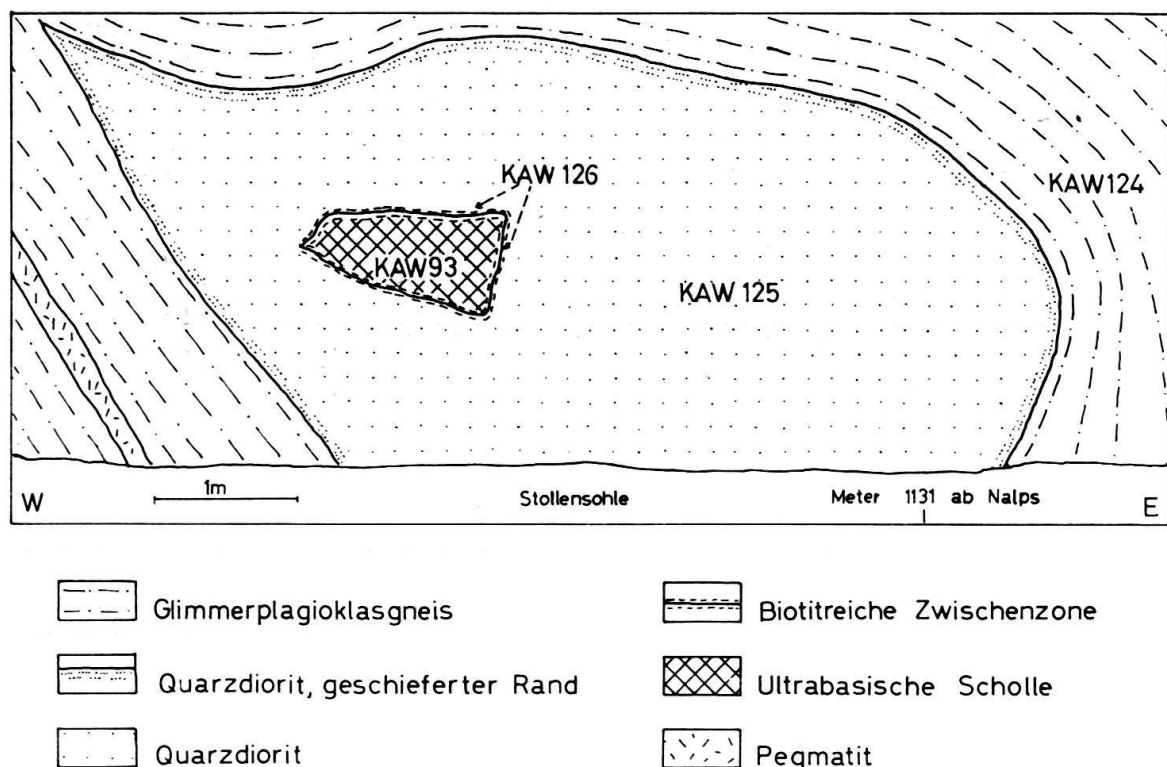


Fig. 3. Ansichtsskizze der Quarzdioritlinse aus dem Stollen Nalps-Curnera.

Biotit-Disthen-Sillimanitgneis eingebettete Linse hat eine maximale Länge von 7 m und dürfte ungefähr 5 m hoch und 3 m breit sein. Darin eingeschlossen findet sich eine ziemlich eckige ultrabasische Scholle von 1,30 auf 0,60 m. Am Rand dieser Scholle ist der Biotit deutlich angereichert.

Für die Altersbestimmung an Biotiten wurde von allen drei Gesteinen, sowie von der Biotitanreicherung am Rand der ultrabasischen Scholle, je eine Probe entnommen.

a. Die ultrabasische (bronzithornblenditische) Scholle (KAW 93)

zeigt makroskopisch ein massiges Gefüge von dunkelbraun glänzendem Biotit (bis 6 mm gross), grüner Hornblende (bis 1 cm lang) und bräunlichem Pyroxen. Daneben ist hie und da rosafarbener Granat sichtbar.

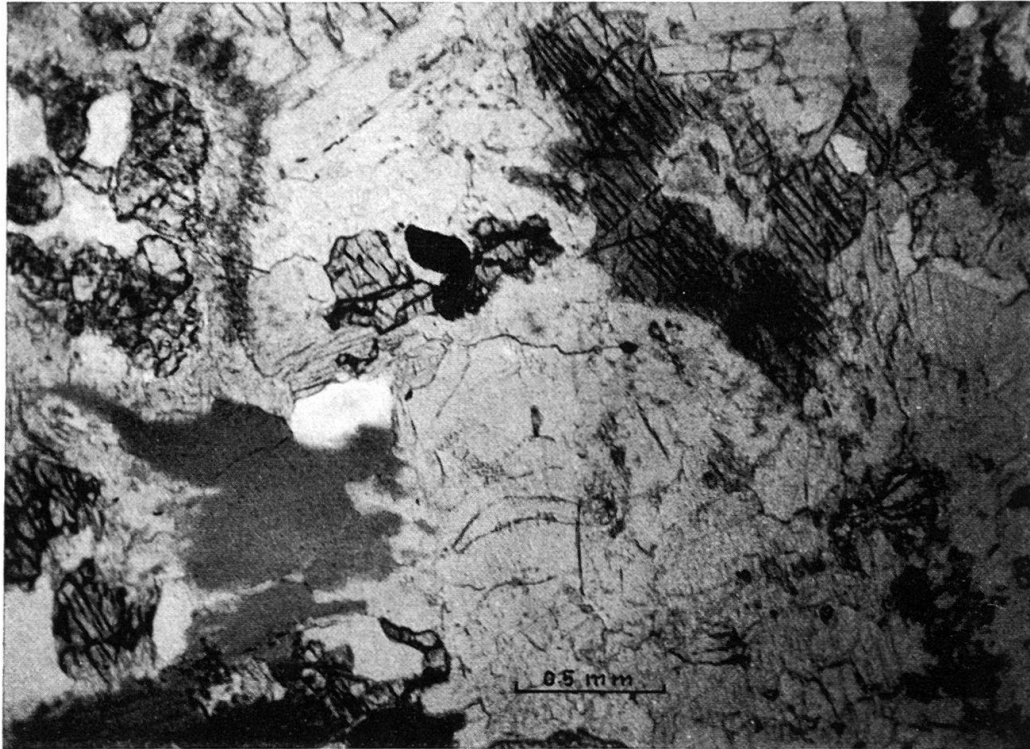


Fig. 4. *Ultrabasische Scholle* (KAW 93), Kern. Granoblastisches Gefüge von Amphibol (hellgraue grosse Flächen und Kristall mit guter Spaltbarkeit, obere Hälfte rechts), Pyroxen (hochlichtbrechende Körner mit guter Spaltbarkeit in Bildmitte und unten rechts), Biotit (unten links), Granat (oben links) und Quarz (helle weisse Körner). Der Biotit ist homogen. Der Granat ist stets von einem Zersetzungsnest umgeben.

Unter dem Mikroskop sind zwei getrennte Generationen von Mineralien sichtbar. Die erste besteht aus blassgrüner *Hornblende*, *Orthopyroxen* (*Bronzit*), *Biotit* (durchschnittlich 0.8 mm gross), *Granat* und evtl. *Quarz*. Die zweite Generation besteht aus aktinolithischem Amphibol, Biotit, Granat, Plagioklas, Quarz und Chlorit. Wieweit die Mineralien der zweiten Generation durch die alpine Metamorphose gebildet wurden, kann hier nicht entschieden werden. Sie bilden sich fast durchwegs intergranular und an Rissen der ersten Generation. Der grob abgeschätzte Mineralgehalt der noch vorhandenen, älteren Generation setzt sich, in Prozenten, wie folgt zusammen: Hornblende 41, Orthopyroxen (*Bronzit*) 30, Granat 10, Biotit 10 und Quarz 9. Der Anteil der Mineralien der zweiten Generation beträgt ca. 30–45%.

b. Der Rand der ultrabasischen Scholle (KAW 126)

besteht aus denselben Mineralien wie der Kern. Der *Biotit* (maximal 8 mm gross) ist deutlich angereichert und hat makroskopisch eine hellere, mattbraune Farbe.

Unter dem Mikroskop erscheint er schmutzig gelbbraun und ist stark von *Sagenit* und *Ilmenit* durchsetzt. Die Mineralien der ersten Generation sind allgemein stärker zersetzt als im Kern.

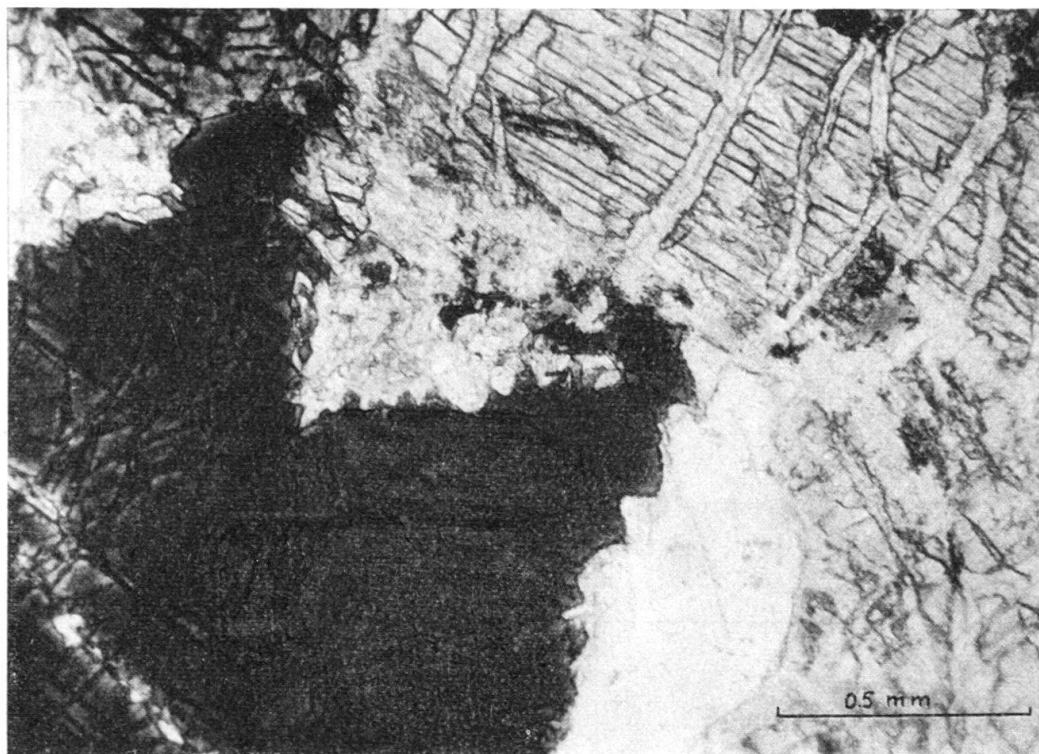


Fig. 5. *Rand der ultrabasischen Scholle (KAW 126)*. Der *Biotit* ist stark von *Sagenit* und *Ilmenit* durchsetzt und erscheint dunkel. Der *Pyroxen* (rechts oben und rechter Rand) wird von Mineralien der zweiten Generation bänderig durchwachsen.

c. Der Quarzdiorit (KAW 125)

zeigt im Handstück ein massiges Gefüge von braunem *Biotit*, dunkelgrünem *Amphibol* und hellen *Quarz-Feldspataggregaten*.

Unter dem Mikroskop fallen auch hier zwei Mineralgenerationen auf. Die erste setzt sich aus *Biotit*, blassgrüner *Hornblende*, *Pyroxen*, *Plagioklas (Andesin)* und *Quarz* (\pm *Granat*) zusammen. Zur zweiten gehören *Plagioklas*, *Aktinolith*, *Granat*, *Chlorit* und etwas *Biotit*. *Pyroxen* und *Hornblende* sind nur sehr selten als kleine Relikte vorhanden. Der gelbbraune *Biotit* (durchschnittlich 1 mm gross) ist sagenitreich und franst am Rand, unter Rekristallisation in Schuppen, hie und da aus.

Abgeschätzter Mineralbestand in Prozenten: *Plagioklas* 45, *Amphibol* 20, *Quarz* 15, *Biotit* 15 und *Granat* 5. Der Anteil an Mineralien der zweiten Generation ist hier schwer zu bestimmen. Er ist jedoch für dieselben Mineralien, die auch in der ultrabasischen Scholle vorkommen, hier bedeutend grösser.

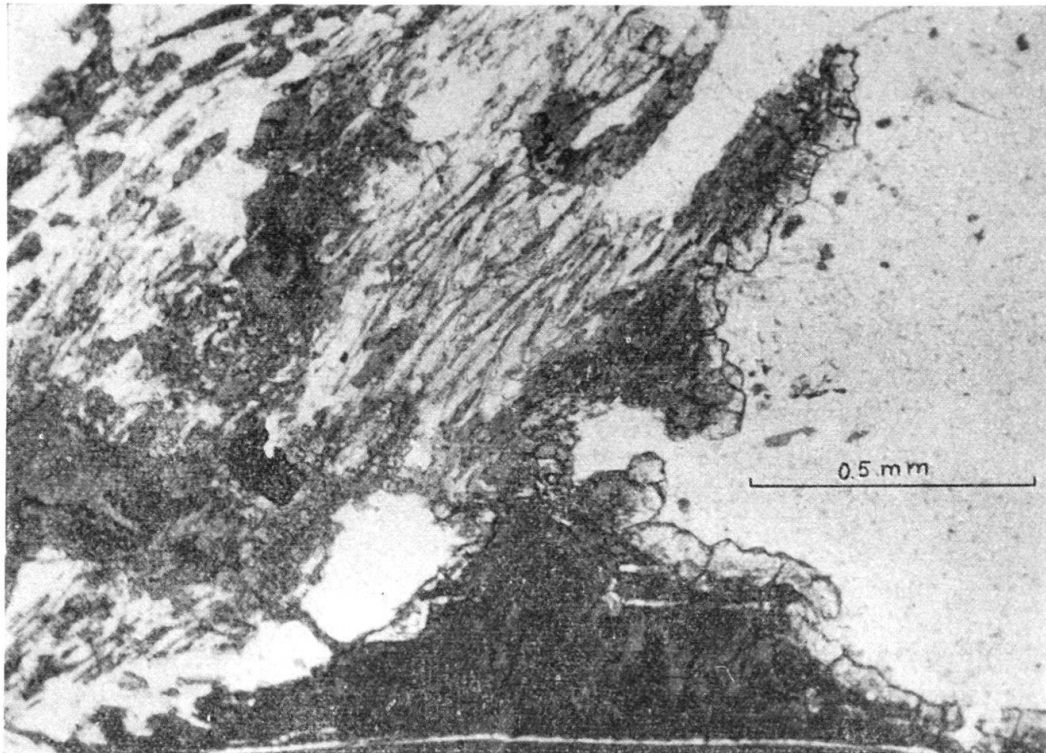


Fig. 6. *Quarzdiorit* (KAW 125). Der hier stark von Sagenit und Ilmenit durchsetzte Biotit ist stets von einem Granatkranz umgeben und franst unter Rekristallisation oft aus (Bildmitte und links).

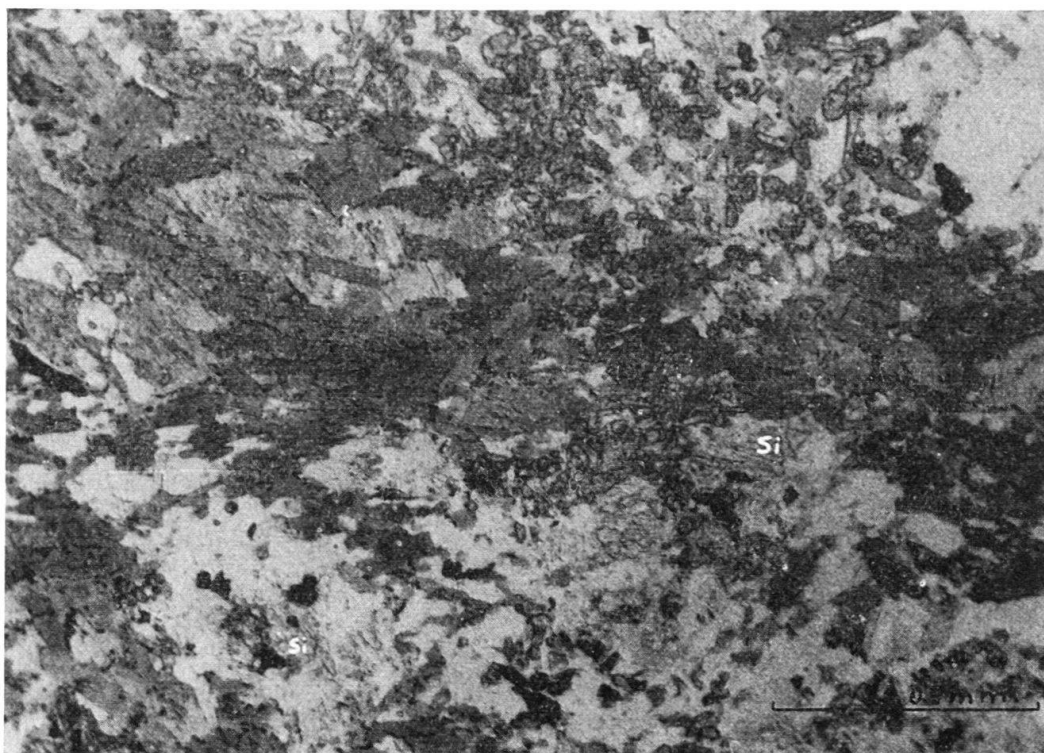


Fig. 7. *Biotit-Disthen-Sillimanitgneis* (KAW 124). Lepidoblastisches Gefüge von Biotit, Plagioklas, Quarz, Disthen (hochlichtbrechende kleine Körner in der oberen Bildhälfte) und Sillimanit (Si.). Der Biotit enthält viel Ilmenit.

d. Der Biotit-Disthen-Sillimanitgneis (KAW 124)

wurde in dieser Paragenese zum ersten Mal in diesem Gebiet festgestellt. Er ist im Handstück geschiefert und lässt auf dem Hauptbruch nur mattbraunen Biotit erkennen. Im Querbruch sind zwischen den Biotitlagen die hellen Bestandteile sichtbar. Bis 1,5 cm grosse Granate sind als Knollen eingelagert.

Unter dem Mikroskop erweist sich die alte Paragenese als recht gut erhalten. Sie besteht aus *Biotit*, *Plagioklas*, *Quarz*, *Disthen*, *Sillimanit* und *Granat*. Der gelbbraune Biotit unterscheidet sich in seinem Aussehen kaum von dem aus dem Quarzdiorit. Er ist aber feinkörniger (im Durchschnitt 0,2 mm gross). Ausser Serizit und etwas Zoisit sind wenig Neubildungen festzustellen. Grob abgeschätzter Mineralgehalt in Prozenten: Plagioklas 35, Quarz 30, Biotit 25, Disthen-Sillimanit 5, Serizit 3, Erz, Chlorit usw. 2.

e. Die jüngere Metamorphose,

die der Bildung der zweiten Mineralgeneration entspricht, dürfte wohl zu einem beträchtlichen Teil alpin sein. Sie ist den drei Gesteinen in recht verschiedenem Grade aufgeprägt.

Im Kern der ultrabasischen Scholle ist der alte Mineralbestand gut erhalten. Nur Granat ist durchwegs umgewandelt. Pyroxen und Amphibol sind zwar randlich und in Rissen etwas umgewandelt, im Innern aber stets homogen. Der Biotit der zweiten Generation steht nicht in direktem Zusammenhang mit den Biotiten der ersten Generation.

Am Rande der ultrabasischen Scholle lösen die Neubildungen den Amphibol und Pyroxen progressiv in Inseln auf. Am äussersten Rand überwiegen die Neubildungen bei weitem. Der Biotit, obwohl randlich etwas korrodiert, ist weitgehend ganz erhalten.

Im Quarzdiorit findet man den Pyroxen und Amphibol nur sehr selten in Relikten. Beide sind fast ganz in Aktinolithaggregate umgewandelt. Plagioklas und Quarz wurden teilweise rekristallisiert. Der Biotit wurde in die Umwandlung direkt einbezogen, indem er hie und da randlich ausfranst und in feinen Schuppen rekristallisiert.

Der Biotit-Disthen-Sillimanitgneis hat ausser etwas Serizit, Zoisit und Chlorit wenig Neubildungen. Beim Biotit können nicht direkt Rekristallisationen festgestellt werden.

Die junge Überprägung ist am stärksten im Quarzdiorit und nimmt sowohl im umhüllenden Gneis, wie in der ultrabasischen Scholle ab.

Auf Grund der deutlichen Abhängigkeit der Sagenitgehalte von der alpinen Verjüngung der Biotite einerseits (siehe Fig. 10) und der Paragenese von sicher altem Sillimanit und Disthen mit dem Biotit andererseits, dürfen wir annehmen, dass alle Biotite, ausser jenen der zweiten Generation, voralpin sind.

Für die Altersbestimmung wurden immer solche der ersten Generation ange-reichert.

2. Muskowit-Turmalinpegmatit (KAW 94)

In nur 25 m Entfernung vom gleichen Komplex wurde eine Pegmatitprobe entnommen. Es handelt sich dabei um einen im Stollen nur knapp angeschnittenen diskordanten Muskowit-Turmalinpegmatit.

Makroskopisch erscheinen die Feldspäte als zentimetergrosse graue Flecken. Der Muskowit ist in zwei Generationen vorhanden. Einerseits bildet er mehrere mm-dicke Pakete, die bis 2 cm Durchmesser haben, anderseits feine Schuppen und Serizithäutchen parallel zur Schieferung.

Sowohl bei der Probenahme im Feld, wie bei der Aufarbeitung, wurden die grossen Muskowite angereichert.

Unter dem Mikroskop erkennt man mosaikartige Aggregate von *Mikroklin* (im Durchschnitt 0,5 mm gross). Sie entsprechen den grauen Flecken. Beim *Muskowit* erkennt man auch hier zwei Generationen. Der ersten entsprechen grosse, teilweise verbogene Plättchen; der zweiten feine Schuppen parallel zur Schieferung. Quarz ist oft unter Paralleltexur, besonders gegen den Gneis hin, rekristallisiert.

Der Einfluss der jungen Metamorphose ist innerhalb des Ganges verschieden. Neubildungen nehmen gegen den Rand hin zu.

3. Biotit-Hornblende-Andesingneis mit Biotitamphibolitlinsen

Rund 800 m westlich vom oben genannten Komplex wurden Biotitalter von einem bänderigen Biotit-Hornblende-Andesingneis und einer darin eingeschlossenen Biotitamphibolitlinse gemacht. Vom Gneis standen hierfür nur drei Handstücke zur Verfügung.

a. Die Biotitamphibolitlinse (KAW 174)

gehört zu einer Gruppe von runden, 1–2 m grossen, vom Gneis konkordant umgebenen Einschlüssen. Grüne Hornblende (bis 8 mm gross), die zwischen Nestern von Biotit und anderen Mineralien liegt, bestimmt das makroskopische Bild des Gesteins.

Unter dem Mikroskop fallen zwei Mineralgruppen sofort auf. Die gröbere, ältere Fraktion besteht aus Aggregaten von *blassgrüner Hornblende* (durchschnittlich 0,2–0,4 mm gross) und *Biotit* (im Mittel 0,2–0,5 mm gross). Dazwischen liegt ein feinkörniges, sich den Mineralien der ersten Generation anschmiegendes Gefüge, bestehend aus Plagioklas, Quarz, Amphibol und Biotit (meist unter 0,1 mm), sowie etwas Zoisit und Chlorit.

Der Biotit der gröberen Fraktion enthält wenig Sagenit, besitzt aber stets einen Titanitkranz. Er unterscheidet sich vom Biotit der zweiten Generation durch sein Gefüge und seine Grösse.

Für die Altersbestimmung wurde der Biotit der gröberen Fraktion angereichert.

b. Der Biotit-Hornblende-Andesingneis (KAW 235)

weist schon im Handstück eine durch Hornblendeanreicherung bedingte Bänderung auf. Das körnig geschieferte Gestein zeigt auf dem Hauptbruch dunkelbraun

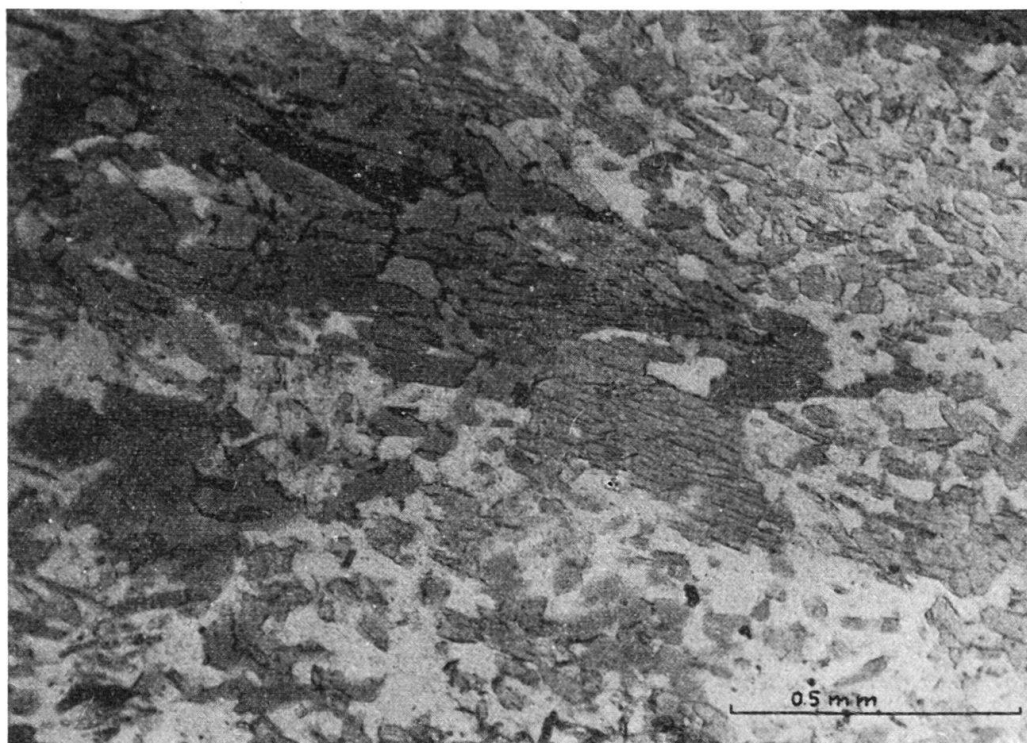


Fig. 8. *Biotitamphibolit* (KAW 174) Erste Generation: links oben und linker Rand – dunkelgrau – Biotit mit schwarz erscheinenden Titaniträndern, mittelgrau mit guter Spaltbarkeit – Hornblende. Zweite Generation: (am rechten oberen Rand) Hornblende-Plagioklas-Aggregate, (untere Bildmitte) feinschuppiger Biotit hier ohne Titanitränd.

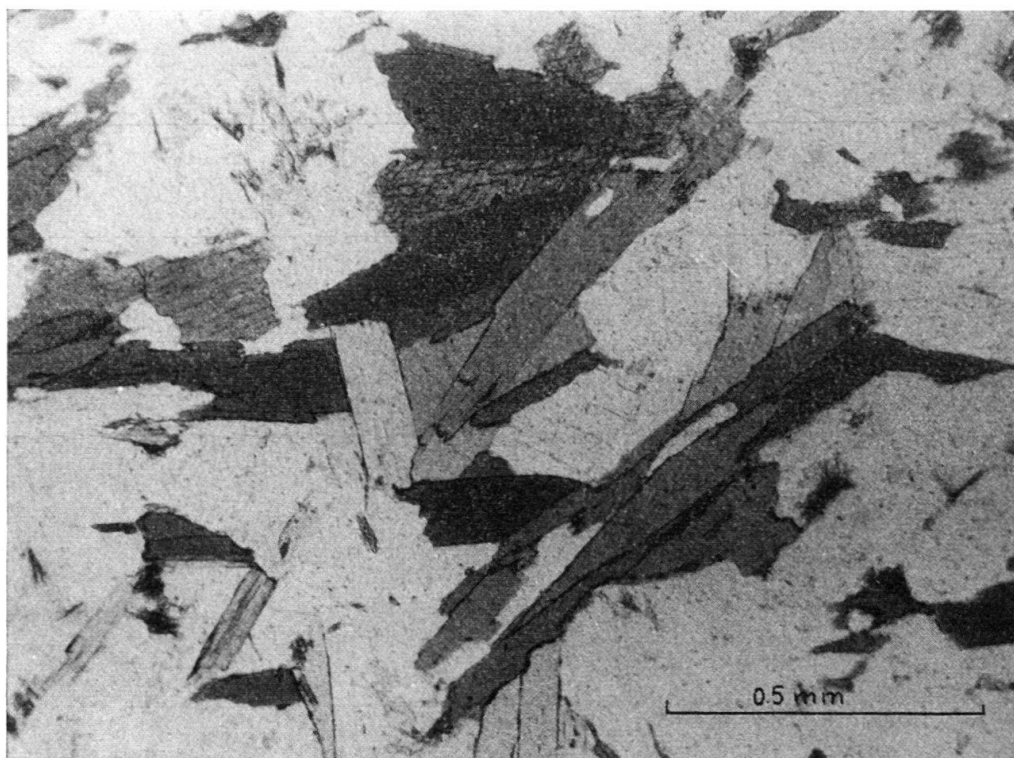


Fig. 9. *Biotit-Hornblende-Andesingneis* (KAW 235). Sauberes Gefüge von Andesin, Quarz, Biotit und Hornblende. Auch hier ist der praktisch sagenitfreie Biotit von einem Titanitkranz umgeben.

glänzenden Biotit (bis 3 mm gross). Dazwischen lassen sich grüne Hornblende und die hellen Gemengteile erkennen. Im Querbruch ist das Gestein lagig geschiefert.

Unter dem Mikroskop fällt die saubere Mineralparagenese auf. Der *Biotit* (im Mittel 0,8 mm gross) ist rötlichgelbbraun und durchwegs von einem Titanitkranz umgeben. Der *Plagioklas* enthält als Einschlüsse etwas Zoisit. Die hell bräunliche *Hornblende* ist im Mittel 0,5–1 mm lang.

c. Die jüngere Metamorphose

ist auch hier den beiden Gesteinen verschieden aufgeprägt. Die Mineralien der ersten Generation sind aber im ganzen Komplex noch gut erhalten.

Im Biotitamphibolit sind die Neubildungen weit ausgeprägter als im umgebenden Gneis. Biotit und Amphibol kommen deutlich in zwei Generationen vor.

Im Biotit-Hornblende-Andesingneis sind, ausser der Bildung von etwas Zoisit und Quarz, kaum Indizien für junge Rekristallisation vorhanden.

4. Der Kluftbiotit aus dem Tavetscher Zwischenmassiv (KAW 175)

Der Kluftbiotit (KAW 175) wurde von einer mit Biotit vollständig gefüllten kleinen Zerrkluft entnommen. Die Kluft befindet sich in einem kompakten, aber alpin metamorph ziemlich stark überprägten Amphibolit. Der Biotit ist sehr homogen rötlichbraun und hat als Begleitminerale Quarz, Kalzit und Chlorit.

C. Die Glimmerkonzentrate.

Bei der Aufbereitung der Biotite wurde stets die gröbere Fraktion angereichert, so dass wir, bei Vorhandensein mehrerer Generationen von Biotit, hier stets von den älteren sprechen. Dasselbe gilt für den Muskowit.

Tab. 2. Gehalt an Fremdmineralien in den analysierten Biotitkonzentraten

Probe	Chlorit	Biotit mit Sagenit und Ilmenit ¹⁾	Primäre ²⁾ Mineralien	Sekundäre ³⁾ Mineralien
KAW 93 ultrabasische Scholle	0	300	0,4	0
KAW 126 ultrabasische Scholle, Rand	0	550	0,5	1
KAW 124 Biotit-Disthen-Sillimanitgneis	0	800	0,4	3
KAW 125 Quarzdiorit	0	950	0,7	1
KAW 39 Biotitgneis	4	900	1	10
KAW 174 Biotitamphibolit	0	100	0,2	6 ⁴⁾
KAW 235 Biotit-Hornblende-Andesingneis	0	50	0,1	5 ⁴⁾
Z 3 Medelsergranit	30	100	1	40
Z 4 Streifengneis	10	600	30	20
Z 13 Gurschengneis	5	550	1	1
KAW 175 Kluftbiotit	–	0	–	–

¹⁾ Biotite, die Sagenit oder Ilmenit enthalten (in Promille).

²⁾ Primäre Mineralien: Zirkon, Apatit, Quarz, Feldspat, Muskowit, Amphibol (in Promille).

³⁾ Sekundäre Mineralien: Titanit, Epidot, Zoisit, Erzminerale (in Promille).

⁴⁾ Titanit (vor allem am Rand der Biotite).

Von allen Glimmerkonzentraten stellten wir Präparate für mikroskopische Beobachtungen her. Es wurden dann von jeder Probe mindestens 1000 Biotite ausgezählt und deren Gehalt an Fremdmineralien bestimmt bzw. abgeschätzt. Über die Resultate gibt Tab. 2 Auskunft. Es seien hier nur einige Ergänzungen angebracht.

a. Im Bereich der Quarzdioritlinse

stellte sich eine direkte Abhängigkeit der Sagenit und Ilmenitgehalte der Biotite von der alpinen Verjüngung heraus. In Fig. 10 sind die Werte auf ein Diagramm

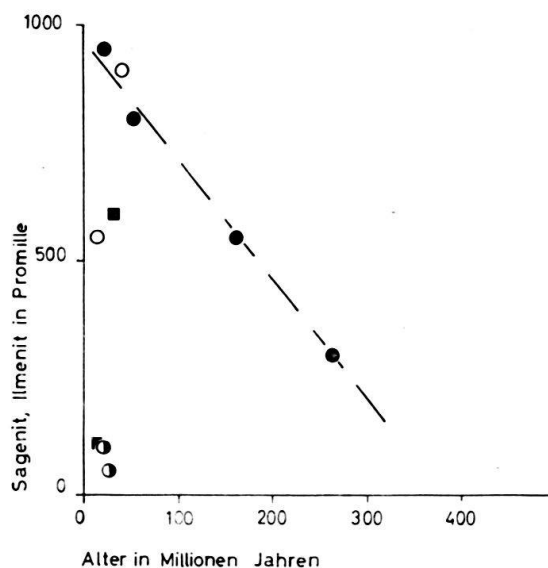


Fig. 10. Alterswerte und Sagenitgehalte der Biotite. Schwarze Punkte: Biotite aus dem Komplex der Quarzdioritlinse mit ultrabasischer Scholle; weisse Kreise: Biotite aus den Paragneisen an der Oberfläche; schwarzweisse Kreise: Biotite aus dem Komplex der Biotit-Hornblende-Andesingneise mit Biotitamphiboliteinschlüssen; schwarze Vierecke: Biotite aus dem Medelsergranit und dem Streifengneis. Die Punkte aus dem Komplex der Quarzdioritlinse mit ultrabasischer Scholle liegen auf einer Geraden.

gezeichnet, in welchem auf der Horizontalachse das Alter und auf der Vertikalachse der Gehalt an Ilmenit und Sageniteinschlüssen aufgetragen sind.

Aus weiteren Beobachtungen geht hervor, dass Ilmenit vom Kern der Linse zum Gneis hin zunimmt. Im basischen Kern ist nur wenig Ilmenit neben Sagenit vorhanden, im Gneis dagegen sehr wenig Sagenit neben viel Ilmenit. Dazwischen haben wir Übergänge. Die übrigen Einschlüsse sind gering und bestehen vor allem aus Titanit, Zirkon, etwas Quarz und Erzmineralien.

Die Farbe der Biotite weist nicht sehr grosse Unterschiede auf. Während der Biotit im Kern der basischen Scholle rötlichgelbbraun ist, wird er im Quarzdiorit und im Gneis eher schmutziggelbbraun.

b. Im Bereich des Biotit-Andesin-Hornblendegneises

verschwindet der Sagenit zum grössten Teil. An seine Stelle tritt Titanit, der stets am Rand der Biotite auskristallisiert ist. Seltener findet man kleine, schön idio-

morphe Körner im Innern. Bei der Abschätzung der Titanite wird nur deren kleinster Teil erfasst, denn bei der Aufbereitung werden die randlichen Titanite fast vollständig entfernt.

In der Farbe sind die Biotite rötlichgelbbraun und unterscheiden sich im Gneis und Amphibolit nicht voneinander.

c. Die Biotite aus der Kluft

sind rötlichbraun und sehr sauber. Sie enthalten ausser Chlorit fast keine Verunreinigungen.

III. ANALYSENMETHODEN UND ALTERSRESULTATE

Es wurden im wesentlichen die Methoden der Altersbestimmung verwendet, wie sie von L. T. ALDRICH und Mitarbeitern, 1956, angegeben wurden. Die speziellen Probleme der Messung junger Alter wurden von E. JÄGER, 1962, kurz dargestellt. Tab. 3 gibt die Analysendaten und Altersresultate von 10 neuen Bestimmungen,

Tab. 3. Analysendaten und Altersresultate.

Proben Nr.	Mineral	Rb ⁸⁷ ppm	Sr ⁸⁷ rad. ppm	% rad.	gew. Sr ppm	Alter in Millionen Jahren
KAW 93	Biotit	130	0,506	62,5	4,41	264 ± 11
		129	0,510	60,9	4,75	268 ± 11
KAW 126	Biotit	114	0,276	46,5	4,61	164 ± 7
KAW 124	Biotit	74,3	0,0589	12,8	5,82	54 ± 9
		73,9	0,0589	13,4	5,51	54 ± 8
KAW 125	Biotit	93,9	0,0313	26,4	1,27	22,7 ± 2.2
		94,9	0,0316	28,0	1,18	22,6 ± 2.0
KAW 39 *)	Biotit	103	0,0633	12,6	6,39	42 ± 5
KAW 174	Biotit	116	0,0412	35,7	1,08	24,2 ± 1.7
KAW 235	Biotit	98,5	0,0415	25,7	1,74	28,7 ± 2.4
Z 3 *)	Biotit	289	0,0924	7,9	15,7	21,7 ± 5.6
Z 4 *)	Biotit	198	0,0939	4,6	28,3	32 ± 14
Z 12	Biotit	174	0,0428	24,2	1,95	16,7 ± 1.6
Z 13	Biotit	150	0,0403	7,3	7,44	18,3 ± 5.2
KAW 175	Biotit	198	0,0440	22,9	2,15	15,1 ± 1.6
KAW 94	Muskowit	85,3	0,458	31,1	14,7	365 ± 21
		84,9				
KAW 41 *)	Muskowit	108	0,470	37,1	11,6	295 ± 14

*) Diese Analysen wurden folgenden Arbeiten entnommen: JÄGER, E., GEISS, J., NIGGLI, E., STRECKEISEN, A., WENK, E., & WÜTHRICH, H. (1961) und JÄGER, E. (1962).

zusammen mit vier Analysen aus der Literatur. Der Ausdruck « % rad. » in Tab. 3 gibt uns den Anteil von radiogenem am gesamten Strontium-87:

$$\% \text{ rad.} = \frac{\text{Sr}^{87} \text{ rad.}}{\text{Sr}^{87} \text{ rad.} + \text{Sr}^{87} \text{ gew.}} \times 100$$

Zur Berechnung der Messergebnisse wurden folgende Konstanten verwendet:

Zerfallskonstante = $1,47 \times 10^{-11}$ Jahre⁻¹

Rubidium: 85/87 = 2,591 (Atomverhältnis)

Strontium: 88/86 = 8,432 (Atomverhältnis)

87/86 = 0,7091 (Atomverhältnis)

Die angegebenen Fehler sind Analysenfehler und beinhalten nicht den Fehler der ungenauen Kenntnis der Zerfallskonstante.

Spezielle Probleme in der Bearbeitung dieser Proben ergaben sich durch die hohen Gehalte an Titanit, Sagenit und Ilmenit in den Biotiten. Sagenit und Ilmenit sind so fein in den Biotiten eingewachsen, dass hier die Mineraltrennung versagt. Der Gehalt an Sagenit und Ilmenit bringt wohl auch weniger gewöhnliches Strontium als höhere Gehalte von Titanit. Es wurde daher versucht, durch wiederholtes Reiben der Biotitkonzentrate im Achatmörser unter Alkohol die Titanitränder von den Biotiten zu brechen. Wie Tab. 2 zeigt, ist dies recht gut gelungen.

Die hohen Gehalte an Titanmineralien boten auch in der chemischen Aufarbeitung der Proben gewisse Schwierigkeiten, da in den Lösungen der Biotite immer wieder Fällungen von Titansäure entstanden.

Wegen des doch noch recht hohen Gehaltes an Fremdmineralien in den Biotitkonzentraten ist der Wert von gewöhnlichem Strontium mit durchschnittlich 7 ppm recht hoch, auf alle Fälle viel höher als in den einschlussarmen Biotiten der Tessiner Gneise. Damit ist auch die Fehlergrenze der Altersbestimmung bei diesen Proben ziemlich gross.

Um zu beweisen, dass das gemessene Alter des Biotits aus dem Gneis KAW 124 tatsächlich höher ist als das Biotitalter aus dem Quarzdiorit, KAW 125, machten wir an der Gneisprobe auch die Analyse des gesamten Gesteins. Für das Gesamtgestein KAW 124 ergaben sich folgende Werte: 23,2 ppm Rb⁸⁷, 260 ppm Strontium, das Verhältnis 87/86 im Strontium dieser Probe ist um 1,29% erhöht gegenüber dem Wert von normalem Strontium. Berechnet man nun das Alter des Biotits mit diesem höheren Verhältnis Sr⁸⁷/Sr⁸⁶, so erniedrigt sich das Alter des Biotits von 54 ± 8 auf 50 ± 8 Millionen Jahre.

IV. DISKUSSION DER ALTERSWERTE

Wohl die interessantesten Resultate liefern uns die Proben KAW 93, KAW 126, KAW 124 und KAW 125, die alle von einer Lokalität stammen und nicht weiter als 7 m voneinander entfernt sind, siehe Fig. 3. Diese vier Proben lieferten Biotit-Alterswerte von 266, 164, 54 und 22,7 Millionen Jahren. Diese Alter sind alle eindeutig voneinander unterscheidbar. Durch Analyse des gesamten Gesteins der Probe KAW 124 konnte gezeigt werden, dass der Überschuss von radiogenem Strontium im gesamten Gestein klein ist; das Biotitalter wird durch die Korrektur

mit radiogenem Gesteins-Strontium von 54 auf 50 Millionen Jahre erniedrigt, unterscheidet sich also immer noch eindeutig vom jüngeren Alterswert des Biotits aus dem Diorit, Probe KAW 125, mit 22,7 Millionen Jahren.

Das höchste Alter aus dieser Lokalität liefert uns die Probe KAW 93, eine ultrabasische Scholle von ungefähr 1 m³ Rauminhalt. Dieses Gestein zeigt relativ wenig alpine Beeinflussung, der neugebildete Mineralbestand beträgt 30–45%. Das nächsthöhere Alter von 164 Millionen Jahren finden wir im Übergangsbereich zwischen der basischen Scholle und der sie umgebenden Linse von Quarzdiorit. Der Quarzdiorit (Probe KAW 125) ist viel stärker umgewandelt als die ultrabasische Scholle, der neue Mineralbestand ist wesentlich höher. Der jüngste Alterswert wurde in dieser Lokalität am Biotit des Quarzdiorits gemessen. Der umgebende Gneis (KAW 124) scheint weniger beeinflusst durch die alpine Metamorphose, obwohl da die Abschätzung von altem und jungem Mineralbestand recht schwierig wird. Entsprechend einer kleineren Beeinflussung durch die alpine Metamorphose resultiert auch ein älterer Biotit-Alterswert von 54, beziehungsweise 50 Millionen Jahren.

In dieser Lokalität zeigt sich recht deutlich, dass die Verjüngung der Biotitalter umso grösser wird, je grösser das Ausmass einer jüngeren Reaktion war.

Es ergibt sich hier eine weitere interessante Beziehung: Der Gehalt an Sagenit im Biotit ist umso grösser, je niedriger der Biotit-Alterswert ist, siehe Fig. 10. Dies deutet ebenfalls darauf hin, dass das Alter umso stärker verjüngt wird, je stärker die alpine Reaktion wird, und als solche müssen wir die enorm starke Sagenit- und Ilmenit-Bildung ja deuten. Wir wollen damit nicht verallgemeinern, dass nun aller Sagenit alpin gebildet wurde, der Biotit der Probe KAW 93, der seinen voralpinen Alterswert bewahrt hat, hat ja immerhin auch einen beträchtlichen Gehalt an Sagenit, siehe Tab. 2. Wir können auch nicht sagen, dass während der alpinen Metamorphose immer Sagenit im Biotit gebildet wurde, bei den Proben KAW 235 und KAW 174, die nur 800 m von der obigen Lokalität entfernt sind, tritt anstelle von Sagenit die Neubildung von Titanit. Die Beziehung zwischen Sagenitgehalt der Biotite und Rb-Sr Alterswert gilt also nur für den Gesteinsverband einer Lokalität.

Der Gehalt an Titanit im Mineralkonzentrat kann nicht zu einer Aussage über das Ausmass der alpinen Reaktion herangezogen werden, schon deshalb, weil wir den Titanit so weit als möglich aus dem Glimmerkonzentrat abtrennten.

Die Proben KAW 235 und KAW 174 stammen ebenfalls aus den Stollen, ungefähr 800 m westlich der oben erwähnten Lokalität, siehe Fig. 2. Der Biotit aus einer Biotit-Amphibolitlinse, KAW 174, ergibt einen Alterswert von $24,2 \pm 1,7$ Millionen Jahren, der Biotit aus dem umgebenden Gneis, KAW 235, liefert ein Alter von $28,7 \pm 2,4$ Millionen Jahren. Wegen der relativ hohen Fehler können diese beiden Altersresultate nicht voneinander unterschieden werden. Das Biotitalter aus dem Gneis KAW 235 ist jedoch eindeutig niedriger als der Alterswert von 50 Millionen Jahren am Biotit der Gneisprobe KAW 124.

Der Biotit aus dem Streifengneis ergibt ein Biotitalter von 32 Millionen Jahren, das wegen der hohen Fehlergrenze von ± 14 Millionen Jahren weder von der Altersgruppe um 20, noch von der um 40 Millionen Jahre unterschieden werden kann.

Gurschengneis und Granodioritgneis von Acquacalda, Z 13 und Z 12, liefern junge Alterswerte an Biotiten von rund 18 und 17 Millionen Jahren.

Mit diesen jungen Alterswerten hat man nun nicht die letzte Phase der alpinen Metamorphose datiert, sondern die Abkühlung nach der Metamorphose auf eine bestimmte Temperatur. Die letzte Phase der alpinen Metamorphose muss also älter sein als die Alterswerte an jungen Biotiten. Andererseits sollte man an Gesteinen, aus denen die Biotite stammen, eine Analyse am gesamten Gestein machen, bevor man eine Aussage machen kann über das Minimalalter der Metamorphose. Durch einen Überschuss an radiogenem Strontium im Gestein würde sich nämlich, wie im Fall der Probe KAW 124, das gemessene Alter des Biotits erniedrigen.

Probe KAW 175 ist ein Biotit aus einer Kluft, er gibt uns mit 15 Millionen Jahren den jüngsten Alterswert aus diesem Gebiet.

Zum Vergleich wurden zwei Muskowite aus Pegmatiten gemessen, einer von der Oberfläche, KAW 41, und einer aus den Stollen, KAW 94, 25 m entfernt von der in Fig. 3 dargestellten Lokalität des Quarzdiorits. Beide Muskowite zeigen voralpine Alterswerte, sind also von der alpinen Metamorphose nur wenig oder nicht beeinflusst. Die beiden Resultate, 295 und 365 Millionen Jahre, deuten auf primäre Altersunterschiede hin, was jedoch mit einer grösseren Anzahl von Messungen überprüft werden müsste.

Zusammenfassend können wir sagen, dass die Altersunterschiede an Biotiten verschiedener Gesteine einer Lokalität nicht durch verschiedene Temperatur- und Druck-Bedingungen entstanden sein können.

Wir finden keine Abhängigkeit der Alterswerte von der Korngrösse der Biotite; wir finden jedoch bei verschiedenen Gesteinstypen einer Lokalität eine eindeutige Beziehung zwischen den Biotit-Alterswerten und dem Ausmass der Neukristallisation im Gestein: Je grösser der Gehalt an neugebildeten Mineralien wird, desto jüngere Alterswerte finden wir an den Biotiten. Das Ausmass der Neukristallisation im Gestein und damit das Alter der Biotite wurde also bestimmt von der Resistenz eines Gesteins während der Metamorphose.

Der Zusammenhang zwischen Biotitalter und Neukristallisation liefert uns einen weiteren Hinweis, dass die Mineralneubildung durch die alpine Metamorphose verursacht wurde.

Der Prozess, der zur Verjüngung der Biotitalter führte, kann nicht allein mit Hilfe eines Diffusionsmodells gedeutet werden, S. R. HART (1964). Es muss sich dabei um eine Reaktion handeln, die gleichzeitig auch zur Kristallisation von Sagenit im Biotit führte.

Die Abhängigkeit der Alterswerte vom Ausmass der Neukristallisation konnten wir nur an Proben einer Lokalität eindeutig zeigen, Fig. 3. Ganz nahe von dieser Lokalität ist das Alter des Gneis-Biotits soweit verjüngt, dass es wegen der relativ hohen Fehlergrenze nicht mehr vom Biotitalterswert eines Biotit-Amphibolits unterschieden werden kann.

Die Aussage von R. STEIGER (1964), dass er mit K-Ar Altersbestimmungen an Hornblenden des südlichen Gotthardmassivs eine alpine Phase mit ungefähr 46 Millionen Jahren datiert, können wir auf Grund unserer Messungen weder stützen noch widerlegen. Wir fanden an zwei von sechs Gneis-Biotiten Alterswerte von 54, beziehungsweise 50 und 42 Millionen Jahren. Ob es sich bei diesen Altern um Mischalter zwischen 270 und 20 Millionen Jahren oder tatsächlich um das Alter einer

alpinen Phase handelt, können wir nicht entscheiden. Wir datieren aber mit Rb-Sr Altersbestimmungen an Biotiten sicher nicht den Zeitpunkt der Metamorphose, sondern eine Zeit der Abkühlung nach der Metamorphose, d. h. das Durchschreiten einer bestimmten Abkühltemperatur. Nach S. R. HART (1964) ist diese Temperatur wesentlich höher für K-Ar Messungen an Hornblenden als für Rb-Sr Messungen an Biotiten. Das bedeutet, dass selbst dann, wenn man mit diesen beiden Methoden ein geologisches Ereignis datiert, der Rb-Sr Alterswert am Biotit entsprechend der Abkühlgeschwindigkeit jünger sein könnte als das K-Ar Alter der Hornblende.

Das Alter des Kluftbiotits ist zwar das jüngste aus diesem engeren Gebiet, es ist aber überraschenderweise höher als Alterswerte an Gesteinsbiotiten des südlichen Aarmassivs (H. WÜTHRICH, in Druck).

Unser Dank gilt vor allem Herrn Prof. Dr. E. Niggli, der uns die Anregung zu dieser Arbeit gab und mit wertvollen Ratschlägen und Diskussionen wesentlich beitrug zu ihrem Gelingen; wir danken ihm ferner für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Die Proben Z 3, Z 4, Z 12 und Z 13 verdanken wir Herrn Prof. Dr. M. Grünenfelder (ETH Zürich); ihm und Herrn Dr. H. Wüthrich schulden wir unseren Dank für anregende Diskussionen. Wir danken Herrn Dr. S. Graeser für die Mikroaufnahmen, Herrn H. Bühlmann, Herrn J. Lüthi und Fräulein A. Oetz für wertvolle Hilfe im Labor.

Der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanzierte die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit, wofür wir ihm zu grossem Dank verpflichtet sind. Die Stollen wurden im Auftrag der Kraftwerke Vorderrhein AG, Baden, aufgenommen. Sowohl für ihre Erlaubnis, die Ergebnisse wissenschaftlich auszuwerten, wie für die Hilfe bei der Probennahme sei ihr und Herrn E. Weber, Maienfeld, hier unser Dank zugesichert.

LITERATURVERZEICHNIS

- ALDRICH, L. T., DAVIS, G. L., TILTON, G. R., & WETHERILL, G. W. (1956): *Radioactive ages of minerals from the Brown Derby Mine and the Quartz Creek granite near Gunnison, Colorado*. J. Geophys. Res. 61, 215.
- GRÜNENFELDER, M. (1962): *Mineralalter von Gesteinen aus dem Gotthardmassiv*. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 42, 6.
- (1963): *Heterogenität akzessorischer Zirkone und die petrogenetische Deutung ihrer Uran/Blei-Zerfallsalter. I. Der Zirkon des Granodioritgneises von Acquacalda (Lukmanierpass)*. Schweiz. min. petrog. Mitt. 43, 235.
- GRÜNENFELDER, M., & HAFNER, S. (1961): *Das Zirkonalter granitischer Gesteine aus dem Gotthardmassiv*. Experientia 17, 295.
- (1962): *Über das Alter und die Entstehung des Rotondogranits*. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 42, 169.
- GRÜNENFELDER, M., HOFMÄNNER, F., & GRÖGLER, N. (1964): *Heterogenität akzessorischer Zirkone und die petrographische Deutung ihrer Uran/Blei-Zerfallsalter. II. Präkambrische Zirkonbildung im Gotthardmassiv*. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 44, 543.
- HART, S. R. (1964): *The petrology and isotopic-mineral age relations of a contact zone in the Front Range, Colorado*. J. Geol. 72, 493.
- HUBER, H. M. (1943): *Physiographie und Genesis der Gesteine im südöstlichen Gotthardmassiv*. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 23, 72.
- JÄGER, E., GEISS, J., NIGGLI, E., STRECKEISEN, A., WENK, E., & WÜTHRICH, H. (1961): *Rb-Sr Alter an Gesteinsglimmern der Schweizer Alpen*. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 41, 255.
- JÄGER, E. (1962): *Rb-Sr age determinations on micas and total rocks from the Alps*. J. Geophys. Res. 67, 5293.
- KULP, J. L., & ENGELS, J. (1963): *Discordances in K-Ar and Rb-Sr isotopic ages*. Radioactive Dating, Intern. Atom. Energy Agency, Vienna, 219.

- NIGGLI, E. (1944): *Das westliche Tavetscher Zwischenmassiv und der angrenzende Nordrand des Gotthardmassivs*. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 24, 58.
- (1948): *Zur zeitlichen Abfolge der magmatischen und metamorphosierenden Vorgänge im Gotthardmassiv*. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 28, 165.
 - (1960): *Mineral-Zonen der Alpinen Metamorphose in den Schweizer Alpen*. Int. Geol. Congr., Rep. 21. Session, Part XIII, Copenhagen, 132.
- STEIGER, R. (1964): *Dating of Orogenic Phases in the Central Alps by K-Ar Ages of Hornblende*. J. Geophys. Res. 69, 5407.
- WENK, E. (1962): *Plagioklas als Indexmineral in den Zentralalpen: Die Paragenese Calcit-Plagioklas*. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 42, 139.
- WÜTHRICH, H. (in Druck): *Rb-Sr Altersbestimmungen am alpin metamorph überprägten Aarmassiv.*, Schweiz. Min. Petr. Mitt.