

Zeitschrift:	Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band:	54 (1974)
Heft:	1
Artikel:	Rb-Sr-Altersbestimmungen an Glimmern der westlichen Hohen Tauern : Interpretation und geologische Bedeutung
Autor:	Satir, Muharrem
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-42194

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: 24.01.2026

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

Rb-Sr-Altersbestimmungen an Glimmern der westlichen Hohen Tauern: Interpretation und geologische Bedeutung

Von *Muharrem Satir* (Bern)*)

Mit 6 Figuren und 1 Tabelle im Text

Zusammenfassung

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf das Gebiet des Tuxer-Stollens¹⁾, der den nördlichen Zentralgneiszug der westlichen Hohen Tauern quert. Studiert wurde vor allem der jüngste Granitkörper, der die höchsten Rb/Sr-Verhältnisse aufweist. Von diesem Granit wurden auf 300 m Distanz 8 Proben gesammelt, von denen Gesamtgestein, Biotit und Phengit datiert wurden. An einer Probe wurden ferner folgende Mineralien bestimmt: Chlorit, Plagioklas, K-Feldspat und Granat. Die Rb-Sr-Daten der Gesamtgesteinsproben dieses Granits definieren eine Isochrone von 237 ± 20 Mill. Jahren, mit einem initialen $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis von $0,7142 \pm 0,0042$. Die detaillierten Mineralanalysen an der einen Probe zeigen, dass während der alpinen Metamorphose keine Sr-Homogenisierung zwischen den einzelnen Mineralien erreicht worden war. Die Biotite der verschiedenen Proben ergeben nur dann übereinstimmende Alterswerte von 15 Mill. Jahren, wenn sie mit gewöhnlichem Sr oder mit dem initialen Sr der Gesamtgesteinsisochrone, nicht aber mit dem Sr der Gesamtgesteinsprobe berechnet werden. Dies bedeutet, dass die hier untersuchten Biotite während der alpinen Metamorphose selektiv radiogenes Sr verloren haben. Die untersuchten Biotite stellen eine selektive Anreicherung aus der grobkörnigen Biotitfraktion dar. Der Alterswert von 15 Mill. Jahren wird als Abkühlalter nach der Tauernmetamorphose interpretiert. Phengite geben immer streuende Alterswerte. Sie haben wohl bei ihrer alpinen Bildung in variablem Ausmass radiogenes Sr aufgenommen. Dies gilt speziell für die hohen Phengitalterswerte von 45 bzw. 70 Mill. Jahren. Die niederen Phengitalter von ungefähr 25 Mill. Jahren sind wohl am ehesten als Abkühlalter nach der Tauernmetamorphose zu interpretieren. Somit geben alle Glimmer aus dem Granit junge Alterswerte, die durch die Tauernmetamorphose verursacht wurden, nur der grobkörnige Muskovit aus einem Pegmatit des Nebengesteins ergibt noch einen variszischen Alterswert von 264 Mill. Jahren.

Abstract

Rb-Sr age determinations have been performed on rocks mainly from the Tuxer-Stollen, a tunnel which crosses the northern Central Gneiss Zone in the western Tauern

*) Adresse des Autors: M. Satir, Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität, Sahlstrasse 6, 3012 Bern.

¹⁾ Damit ist der Tuxbachüberleitungsstollen am Schlegeisspeicher gemeint.

Window. The granite with the highest Rb/Sr ratios was investigated in detail. 8 samples were collected across a distance of 300 m. Biotite, phengite and the total rock were dated by the Rb-Sr method. In addition, chlorite, plagioclase, K-feldspar and garnet from one sample were analyzed. The total rock isochron for the granite yields an age of 237 ± 20 m.y. with an initial strontium ratio of 0.7142 ± 0.0042 . The Sr-evolution diagram for the sample for which minerals in addition to the micas were analyzed shows clearly that Sr-homogenization was not achieved in the granite during the Alpine orogeny. The biotites yield uniform ages of 15 m.y. only when the ages are calculated with either common Sr or the initial Sr of the total rock isochron. Calculated with total rock Sr, the biotite ages scatter considerably (-17 to 12 m.y.), indicating variable loss of radiogenic Sr during the Alpine event. The biotites investigated represent a concentration of a relatively rare coarse-grained variety. 15 m.y. is interpreted to be a cooling age following the Tauern metamorphism (Alpine). That the phengites have incorporated radiogenic Sr in variable amounts is indicated by the wide range of ages obtained (25-70 m.y.). The lowest age, 25 m.y., is probably a cooling age. Although all mica samples from the granite show the effect of the Tauern metamorphism, a coarse-grained muscovite from a pegmatite which cuts the surrounding country rock yields a pre-Alpine age of 264 m.y.

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die vorliegenden Untersuchungen sind Teil einer grösseren Arbeit, in der mit Hilfe von radiometrischen Altersbestimmungen im Gebiet des Tauern-westendes die alpine Geschichte erarbeitet werden soll. Das Arbeitsgebiet ist in der tektonischen Übersichtskarte Fig. 1 dargestellt. Es umfasst folgende tektonische Einheiten: westliche Hohe Tauern, Schneebergzug und südlich angrenzendes Altkristallin.

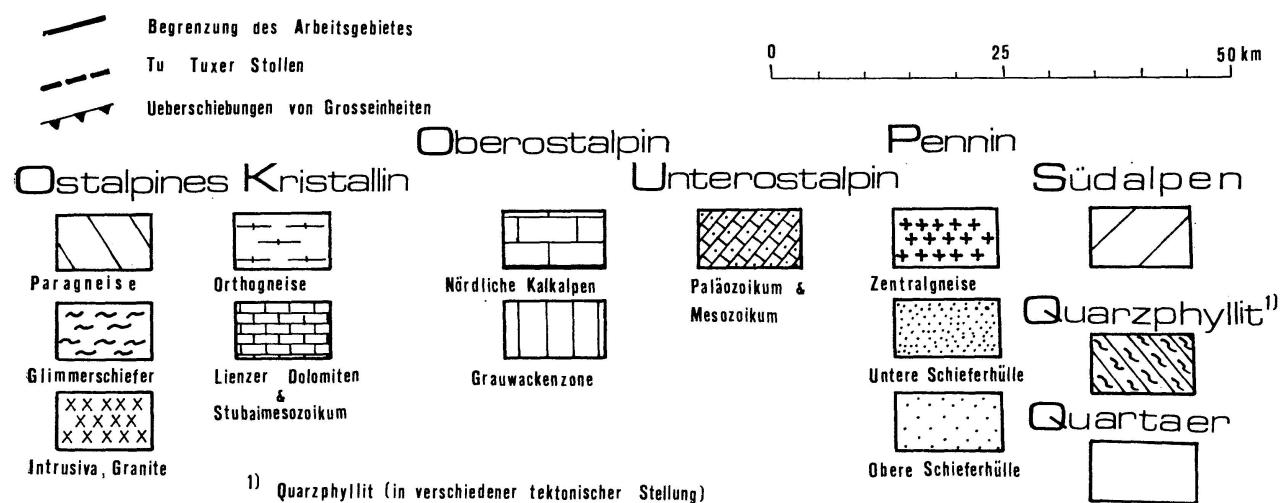
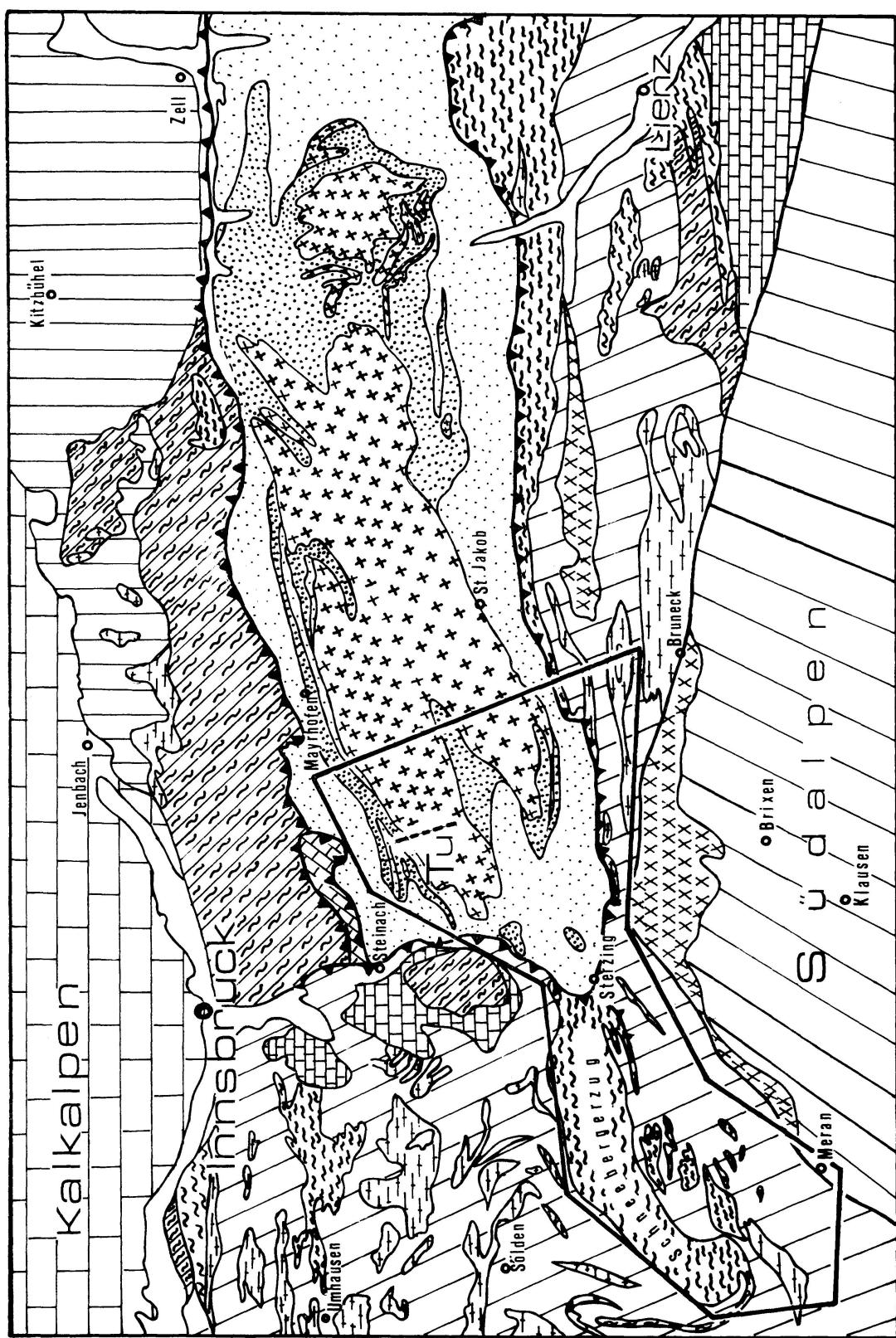


Fig. 1. Geologisch-tektonische Übersichtskarte des Arbeitsgebietes. (Nach P. BECK-MANNAGETTA 1964, z. T. vereinfacht und abgeändert.)



Um die Bedeutung der Alterswerte zu erarbeiten, war es zuerst notwendig, viele Analysen konzentriert auf einem relativ kleinen Raum auszuführen. Dazu mussten von einem Gesteinskörper mehrere frische Proben gesammelt werden. Der Bau des Tuxer-Stollens in den westlichen Hohen Tauern erwies sich dabei als glücklicher Umstand. Alle in dieser Arbeit untersuchten Proben entstammen dem 6,8 km langen Tuxer-Stollen, der auf der Karte Fig. 1 eingezeichnet ist. Dieser Tunnel durchschneidet in seinem NW-SE-Verlauf verschiedene Serien des nördlichen Zentralgneises. In dieser Arbeit wurde nur der jüngste Granit und ein Pegmatit studiert. Es wurde der Versuch unternommen, eine für die westlichen Hohen Tauern gültige Interpretation zu erarbeiten. Mineralalter sind nämlich für ein bestimmtes Gebiet nur dann von geologischer Bedeutung, wenn sie in einem Gesteinskörper auf kleinem Raum identisch sind.

Aus den westlichen Tauern liegen nur streuende Glimmeralter vor, die bisher keine sichere Interpretation erlauben, siehe E. JÄGER et al. (1969) und C. BESANG et al. (1968). Auch die neueren Daten von H. KREUZER (1973) und seinen Mitarbeitern sind schwierig zu interpretieren. Wesentlich mehr Altersdaten liegen aus den östlichen Hohen Tauern vor, wobei vor allem der Vergleich von Gesamtgesteinssalter interessant ist.

II. GEOLOGISCHE SITUATION

Der Tuxer-Stollen liegt in den Zillertaler Alpen. Er durchschlägt von SE nach NW folgende Gesteinsserien: Granite bis Granitgneise, Porphyroblastengneise mit grossen K-Feldspataugen, Migmatite, wechseltägig mit Porphyroblastengneisen und Bändergneisen. Im N-Teil wird eine Kuppel von Porphyroblastengneisen von einer klastischen Serie aus Glimmerquarziten, Arkosegneisen, Grauwacken, Zweiglimmergneisen und vulkanoklastischen Lagen überlagert, siehe K. MIGNON (1972). Diese klastische Serie wird von manchen Bearbeitern, V. HöCK (1969), als permoskythisch angesehen, die übrigen Gesteine zeigen deutlich eine voralpine, bis zur Migmatisation gesteigerte Metamorphose. Der Grad der Tauernmetamorphose weist allgemein eine deutliche Zunahme gegen den zentralen südlichen Teil auf, siehe W. FRISCH (1968), G. MORTEANI (1971) und P. RAASE (1971a). Die Grenze Grünschiefer-/Amphibolithfazies liegt im S-Teil des Tuxer-Stollens.

Das räumliche Bild ist folgendes: Die südliche Granit-, Granitgneis- und Migmatitzone (= nördlicher Tuxergneiskern) überlagert in Form eines Lappens, der als dünne Lage bei der Tuxbachfassung durchstreicht, die vom Permoskyth (?) überlagerte Fortsetzung des Ahornkernes (= Porphyroblastengneis). Wenn die Interpretation der klastischen Serie als Permoskyth zutrifft, wurde die heutige tektonische Grossform durch die alpine Tektonik geschaffen.

III. RESULTATE DER Rb-Sr-ALTERSBESTIMMUNGEN

a) Methodisches

Für präzise Rb-Sr-Alterswerte benötigt man Proben mit hohem Rb/Sr-Verhältnis. Es wurden daher sämtliche Gesteine des Tuxer-Stollens mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzmethode auf ihren Rb- und Sr-Gehalt untersucht. Dabei zeigte sich klar, dass nur ein Granit, der mittelkörnige junge Granit, speziell für die Rb-Sr-Methode geeignet ist. Die Resultate der Röntgenfluoreszenzanalyse sind in Fig. 2 dargestellt.

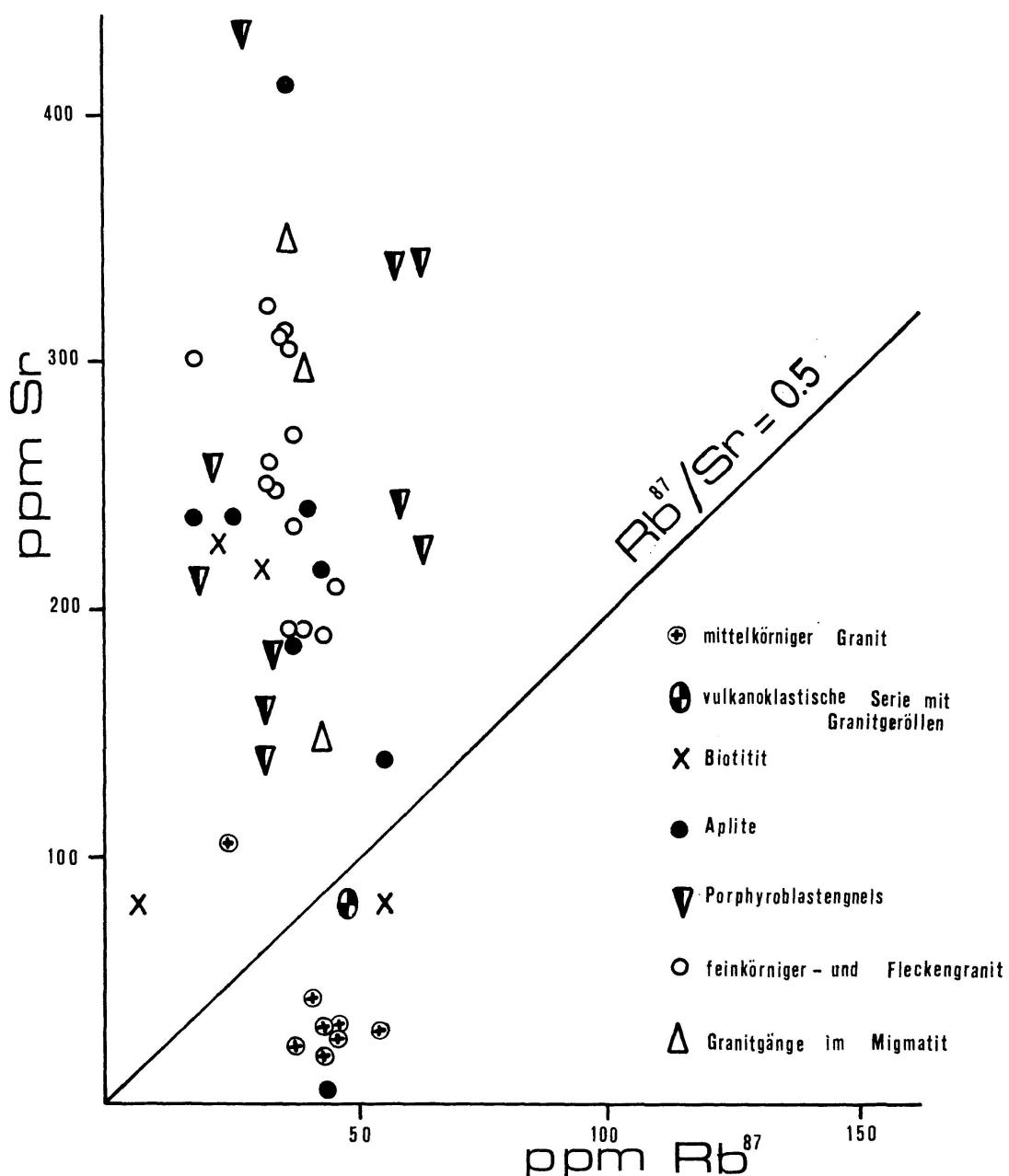


Fig. 2. Rb⁸⁷-Sr-Gehalte in kristallinen Gesteinen des Tuxer-Stollens.

Auf der Abszisse wurde Rb⁸⁷, auf der Ordinate Sr in ppm aufgetragen. Gesamtgesteinsproben sind nur dann gut bestimmbar, wenn sie hohe Rb/Sr-Verhältnisse haben. Die Gerade Rb⁸⁷/Sr = 0,5 ist ein Grenzfall für die Bestimmung variszischer Gesamtgesteinsproben. Alle Gesteine, die höhere Rb⁸⁷/Sr-Verhältnisse als Rb⁸⁷/Sr = 0,5 haben, sind gut datierbar. Gesteine mit wesentlich niedrigeren Rb⁸⁷/Sr-Verhältnissen sind nicht geeignet. Wie Fig. 2 deutlich zeigt, hat der mittelkörnige Granit nur eine relativ kleine Variation von Rb- und Sr-Gehalten. In diesem Typus überwiegt Hellglimmer (Phengit) den Biotit im allgemeinen bei weitem, er steht vor allem im S-Teil des Stollens, insbesonders im Bereich des Stollenausgangs an. Er zeigt allgemein sehr günstige, hohe Rb/Sr-Verhältnisse. Vielleicht ist die kleine Variation der Rb- und Sr-Gehalte ein Hinweis auf eine Entstehung aus einem nicht kontaminierten Magma. Auffallend ist auf alle Fälle, dass der Porphyroblastengneis und die Apliten eine wesentlich höhere Streuung der Sr-Gehalte aufweisen. Sie gehören sicher nicht demselben Muttergestein an.

An 8 Proben des mittelkörnigen Granits wurden Rb-Sr-Untersuchungen ausgeführt, und zwar an den Mineralien Biotit, Phengit und der Gesamtgesteinsprobe. Von einem Granit (KAW Nr. 811), der Probe mit dem höchsten Rb/Sr-Verhältnis, wurden neben den Glimmern noch Chlorit, Plagioklas, K-Feldspat und Granat analysiert. Die Resultate sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Nach der Isotopenverdünnungsmethode wurde die Bestimmung der Konzentration und der Isotopenverhältnisse durchgeführt. Den Altersberechnungen liegen folgende Konstanten zugrunde.

Rb ⁸⁷ -Zerfallskonstante:	$1,47 \times 10^{-11}$ Jahre ⁻¹
Strontium:	88/86 = 8,3752 (Atomverhältnis)
	87/86 = 0,70989 (Atomverhältnis)
Rubidium	85/87 = 2,591 (Atomverhältnis)

Die Gesamtgesteinsisochrone wurde nach D. YORK (1966) berechnet. Über die verwendete Analysenmethode soll in einer ausführlicheren Arbeit berichtet werden.

b) Interpretation und geologische Bedeutung

Zunächst soll die Probe, an der neben den Glimmern auch Feldspate, Granat und Chlorit bestimmt wurden, im Detail besprochen werden. Die Resultate an den einzelnen Mineralien und der Gesamtgesteinsprobe wurden im Sr-Entwicklungsdiagramm nach L. O. NICOLAYSEN (1961) dargestellt, siehe Fig. 3. Diese Darstellung zeigt klar, dass die Analysenpunkte der einzelnen Mineralien stark streuen und weit entfernt von einer Geraden liegen. Es hat also während der Tauernmetamorphose wohl ein beschränkter Sr-

Tabelle 1. *Analysendaten und Altersresultate*

Proben Nr.	Analysierte Probe	Rb ⁸⁷ ppm	Sr ⁸⁷ rad. ppm	% rad.	Sr comm. ppm	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Alter in Mill. Jahr.*)	Alter korr. in Mill. J.**)
KAW 1179 33 m ¹⁾	Gesamtgestein ²⁾	40,75	0,1469	7,28	26,95	0,7656	15,46	245 ± 65	—
	Phengit	152,9	0,0641	24,10	2,91	0,9352	536,9	29 ± 2	22 ± 1,6
	Biotit	162,4	0,0337	27,22	1,30	0,9754	1280	14 ± 1	11 ± 0,7
KAW 816 130 m	Gesamtgestein	34,56	0,1654	3,58	64,64	0,7329	5,50	324 ± 182	—
	Phengit	147,3	0,1547	9,82	20,45	0,7872	73,64	71 ± 14	34 ± 10,6
	Gesamtgestein	44,50	0,1735	6,94	32,34	0,7617	14,15	265 ± 73	—
KAW 818 138 m	Phengit	193,2	0,0721	21,82	3,74	0,9071	532,4	25 ± 2	19 ± 1,6
	Biotit	255,5	0,0559	13,19	5,33	0,8141	492,5	15 ± 2	7,4 ± 1,6
	Gesamtgestein	48,60	0,1771	9,20	25,17	0,7818	19,74	247 ± 51	—
KAW 1178 175 m	Phengit	199,2	0,1040	31,51	3,26	1,037	625,4	36 ± 2	29 ± 1,5
	Biotit	100,6	0,0560	12,13	5,84	0,8079	176,2	38 ± 6	11 ± 4,6
	Gesamtgestein	31,30	0,1562	4,33	48,74	0,7383	6,59	399 ± 71	—
KAW 856 210 m	Phengit	186,7	0,0854	13,16	8,17	0,8138	234,6	31 ± 4,5	23 ± 3,4
	Biotit	232,2	0,0473	21,62	2,48	0,9018	961,2	14 ± 1	12 ± 0,9
	Gesamtgestein	39,22	0,1598	5,45	39,93	0,7508	10,04	277 ± 99	—
KAW 1176 210,3 m	Phengit	172,2	0,0677	13,25	6,38	0,8183	275,9	27 ± 4	17 ± 2,9
	Biotit	250,4	0,0522	19,05	3,20	0,8769	800,6	14 ± 1	11 ± 1
	Gesamtgestein	46,40	0,1890	10,20	24,20	0,7867	19,70	276 ± 73	—
KAW 811 214 m	Phengit	208,3	0,0771	25,16	3,32	0,9443	644,2	25 ± 2	17 ± 1,4
	Biotit (96%)	314,1	0,0755	13,03	7,30	0,8128	442,4	16 ± 2	4 ± 1,8
	Biotit (reinw.)	327,0	—	—	7,39	0,8171	454,5	16	—
KAW 824 312 m	Chlorit (90%)	38,41	0,0304	7,56	5,39	0,7645	73,26	54 ± 14	-28 ± 10
	Chlorit (reinw.)	5,00	—	—	5,17	0,7589	9,93	340	57
	Plagioklas	6,18	0,0889	9,10	12,78	0,7810	4,94	972 ± 203	26 ± 40
KAW 827 1950 m	K-Feldspat	128,9	0,3991	9,71	53,44	0,7863	24,67	210 ± 41	-6 ± 40
	Granat	4,33	0,1133	8,33	17,95	0,7744	2,46	1758 ± 404	48 ± 40
	Gesamtgestein	49,15	0,1943	8,55	30,10	0,7728	16,78	268 ± 62	—
KAW 827 1950 m	Phengit	202,2	0,2660	31,45	4,30	1,036	488,6	45 ± 2	38 ± 1,9
	Biotit	256,1	0,0873	5,19	23,00	0,7487	113,9	23 ± 23	-17 ± 6,8
	Pegmatit	40,40	0,1558	1,26	175,4	0,7189	2,36	262 ± 412	—
KAW 827 1950 m	Muskovit	433,8	1,688	75,93	7,71	2,950	575,7	264 ± 11	264 ± 3,9
	Phengit	202,2	0,2660	21,79	13,75	0,9077	150,3	89 ± 7	87 ± 5,7

*) Alter berechnet mit gewöhnlichem Sr.

**) Alter korrigiert mit dem Sr der jeweiligen Gesamtgesteinsproben.

1) Die Metrierung im Tuxer-Stollen, von SE gegen NW.

2) Die untersuchten mittelkörnigen Granite.

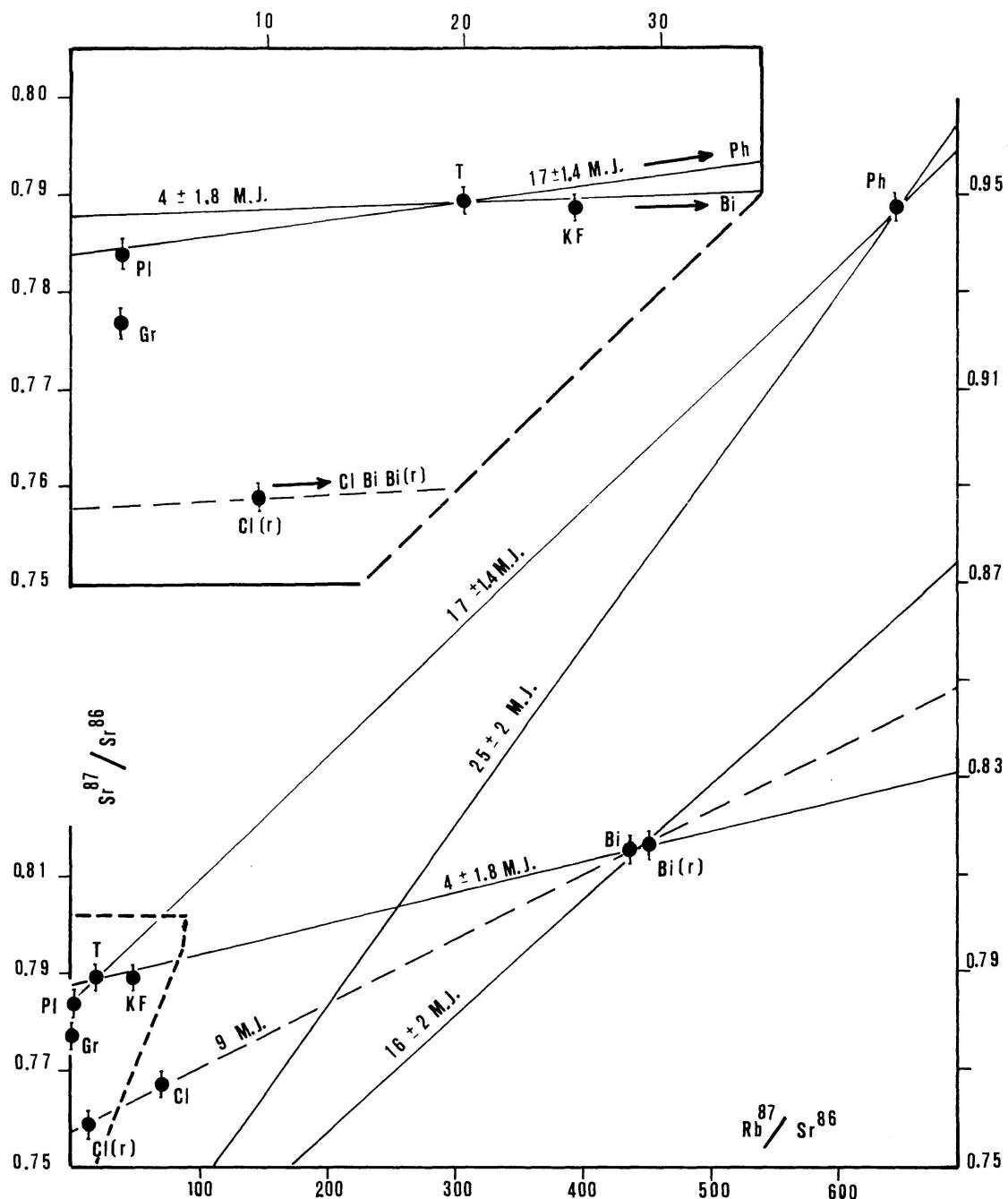


Fig. 3. Sr-Entwicklungsdiagramm des mittelkörnigen Granits der Probe KAW 811.

Austausch, aber keine Sr-Homogenisierung zwischen den einzelnen Mineralien stattgefunden. Damit ist die Berechnung der einzelnen Mineralalter schwierig, da man nicht weiß, welches Sr in alpiner Zeit von diesen Mineralien eingebaut wurde. Selbst die Rb-armen Mineralien wie Plagioklas und Granat zeigen heute hohe $^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnisse, also einen hohen Überschuss von radiogenem Sr^{87} .

Wir wissen also nicht, mit welchem Sr wir die Glimmeralter rechnen müssen: Mit gewöhnlichem Sr oder eventuell mit dem Sr des Gesamtgesteins. Die Be-

rechnung mit dem Gesamtgesteinssstrontium ist sicher nicht korrekt, da alpin keine Sr-Homogenisation in diesem Gestein stattgefunden hat. Hier kann uns zunächst die Dünnschliffuntersuchung weiter helfen.

Der *Phengit* ist auf alpinen Bewegungsbahnen oder in alten Biotitnestern alpin gebildet worden. Speziell der Phengit in alten Biotitnestern kann Sr mit sehr hohen $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnissen eingebaut haben. Da während der alpinen Metamorphose keine Sr-Homogenisierung erreicht wurde, ist es unwahrscheinlich, dass das vom Phengit aufgenommene Sr dem Durchschnitt des Gesteins entsprach. Der Alterswert von 17 Mill. Jahren, der für den Phengit mit dem Sr des Gesamtgesteinss berechnet wurde, hat damit wohl keine geologische Bedeutung. Ebensowenig dürfen wir aber annehmen, dass der Phengit bei seiner Bildung nur gewöhnliches Sr aufgenommen hat, wenn selbst Plagioklas und Granat heute beachtlichen Überschuss an radiogenem Sr zeigen. Hätte der Phengit gewöhnliches Sr aufgenommen, so ergäbe die Berechnung einen Alterswert von 25 Mill. Jahren, was einen maximalen Alterswert ergibt. Das berechnete Alter könnte aber durchaus sogar niedriger sein als 17 Mill. Jahre, wenn hochradiogenes Sr eingebaut wurde. Aus dieser einen Analyse erhalten wir zunächst kein Argument, welcher Alterswert von geologischer Bedeutung ist. Dazu müssen Altersbestimmungen an mehreren Proben helfen.

Der *Biotit* ist in diesem Granit äußerst selten. Aus 30 kg Granit lassen sich nur wenige Gramm Biotit konzentrieren. D. h. ein Schluss vom mikroskopischen Dünnschliffbild auf die Genese unseres Biotitkonzentrats ist schwierig. Im Dünnschliff finden wir alpin neugebildete, feine Biotitblättchen von relativ homogener olivgrüner Farbe. Makroskopisch findet man, allerdings selten, grobkörnige Biotitnester, die wohl noch den alten Biotitkörnern entsprechen. Bei der Mineralanreicherung haben wir sicher grobkörnigen Biotit konzentriert. Darauf deuten vor allem die verschiedenen Farben des separierten Biotits von braun zu braun-gelb bis zu olivgrün, die man an den feinen Biotiten im Dünnschliff nicht beobachten kann. Es zeigt sich auch deutlich, dass speziell in diesen Proben, aus denen viel Phengit separiert werden konnte, fast kein Biotitkonzentrat zu erhalten war. Phengitreiche Proben sind also biotitarm, phengitärmer biotitreich, was ebenfalls darauf hindeutet, dass sich der Phengit aus altem Biotit neugebildet hat.

Nimmt man an, dass der hier untersuchte Biotit in alpiner Zeit sein Sr mit allen Mineralien des Gesamtgesteinss ausgetauscht hätte, so müsste man den Biotitalterswert mit Hilfe von Rb und Sr der Gesamtgesteinssprobe berechnen. Dies liefert einen Alterswert von nur 4 Mill. Jahren, was selbst für ein Abkühlalter nach der alpinen Metamorphose viel zu jung ist. Es ist unmöglich, dass erst vor 4 Mill. Jahren die Abkühltemperatur von 300° C erreicht wurde. Berechnet man aber den Biotit mit dem $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis von gewöhnlichem Sr oder mit dem initialen $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis der Gesamtgesteinssisochrone, so erhält man einen wesentlich höheren Alterswert von 16 Mill. Jahren. Dieser

Alterswert wurde schon öfter in den Tauer gefunden. Er könnte durchaus ein Alter der Abkühlung auf ungefähr 300° C repräsentieren. Der wahrscheinlichere Biotitalterswert ist also derjenige, der mit gewöhnlichem Sr berechnet wurde. Dies hat folgende Konsequenzen:

- Entweder der Biotit ist neu kristallisiert, dann muss er gewöhnliches und kein radiogenes Sr aufgenommen haben. Das ist für ein Gestein, in dem selbst Mineralien wie Plagioklas und Granat hochradiogenes Sr enthalten, äusserst unwahrscheinlich. Die blosse Neukristallisation kann vermutlich keine Isotopentrennung erreichen.
- Oder der Biotit könnte sich aus einem alten Biotit durch selektive Ausscheidung von radiogenem Sr verjüngt haben, bzw. aus einem solchen neu gebildet worden sein. Man müsste sich dabei vorstellen, dass das Sr^{87} , das auf Gitterplätzen von Rb^{87} entsteht, schwächer gebunden ist als gewöhnliches Sr und dadurch bei der alpinen Metamorphose leichter aus dem Gitterverband ausgeschieden wird. Dies ist um so erstaunlicher, da Rb und Sr auf analogen Gitterplätzen eingebaut werden. Man könnte also nur annehmen, dass Sr^{87} deswegen schwächer gebunden ist, weil es an einem Platz ist, der vorher von Rb^{87} eingenommen wurde.

PURDY und JÄGER (in Vorbereitung) haben auch mit der K-Ar-Methode in der Chloritoid-Zone der Schweizer Alpen ähnliche Verhältnisse gefunden. K-Ar-Alter an Biotit stimmen nur dann mit den Rb-Sr-Altern überein, wenn man für die Korrektur des Biotitalters gewöhnliches Sr verwendet. Dies gilt nur für schwache Metamorphose, wo man keine Sr-Homogenisierung zwischen den einzelnen Mineralien beobachtet. PURDY und JÄGER kommen also unabhängig zu ähnlichen Aussagen.

Dieses Gestein enthält auch *Chlorit*. Es war nicht möglich, das Biotitkonzentrat hundertprozentig rein zu erhalten. Eine Röntgendiffraktometeranalyse, die ich Herrn Dr. M. FREY verdanke, ergab am Biotitkonzentrat 96 % Biotit und 4 % Chlorit. An den Analysendaten des Biotits ändert dies wenig, wie man aus dem Nicolaysendiagramm (Fig. 3) deutlich sieht. In diesem Diagramm wurden die Punkte für das analysierte Biotitkonzentrat und für die berechnete Biotitreinkomponente getrennt eingezeichnet. Die beiden Punkte liegen fast innerhalb der Fehlergrenze. Dies ist jedoch nicht so beim Chlorit. Der Chlorit konnte nur zu 90 % angereichert werden. Da aber die Rb- und auch die Sr-Gehalte im Biotit höher sind als im Chlorit, macht sich auch eine Korrektur von nur 10 % Biotit in der Chloritanalyse sehr stark bemerkbar, wie wieder Fig. 3 deutlich zeigt. Damit lässt sich für den Chlorit natürlich kein genauer Alterswert angeben. Eines steht jedoch fest, dass man mit einem höher radiogenen Sr rechnen muss und auf keinen Fall mit gewöhnlichem Sr berechnen darf wie beim Biotit. D. h., dass der Chlorit wohl Sr aus dem Biotit erhalten hat, aber auch radiogenes Sr aus anderen Mineralien eingebaut hat.

Zusammenfassend lässt sich an den Analysen aus dieser einen Probe (KAW 811) sagen, dass das Gestein während der alpinen Metamorphose für Rb und Sr weitgehend ein geschlossenes System geblieben ist. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass der Gesamtgesteinsanalysepunkt auf der Isochrone von 237 ± 20 Mill. Jahren liegt. Während der Tauernmetamorphose hat zwischen den einzelnen Mineralien wohl beschränkter Sr-Austausch, aber keine Sr-Homogenisierung stattgefunden. Von den Glimmeraltern ist anscheinend nur dasjenige Biotitalter von Bedeutung, das mit gewöhnlichem Sr und nicht mit Sr des Gesamtgesteins berechnet wurde. Der so erhaltene Alterswert von 16 Mill. Jahren wird als Alter der Abkühlung auf ungefähr 300°C interpretiert, in Analogie zu Biotitaltern der Schweizer Alpen. Für den Phengit lässt sich kein Alterswert von geologischer Aussagekraft angeben.

Betrachtet man nun *Biotitalterswerte der 6 anderen Proben* dieses Granitkörpers, die auf einer Strecke von nur 300 m gesammelt worden waren, so führen die Resultate zu ähnlichen Aussagen, siehe Fig. 4. Diese Figur gibt ein Sr-Entwicklungsdiagramm mit den 8 analysierten Gesamtgesteinsproben und den dazu gehörigen Biotitanalysen. Angegeben ist die Gesamtgesteinsisochrone mit 237 ± 20 Mill. Jahren und, ebenfalls mit Linien, die einzelnen Biotitalterswerte, korrigiert mit dem Sr und Rb der entsprechenden Gesamtgesteinsprobe. Die Zahlen über den Biotitalterslinien geben die so berechneten Biotitalter. Die Zahlen in Klammern geben diejenigen Alterswerte, die bei Berechnung mit gewöhnlichem Sr erhalten wurden. Wenn wir annehmen, dass die Biotite aus alten variszischen Biotiten durch Verjüngung entstanden sind, so ist es

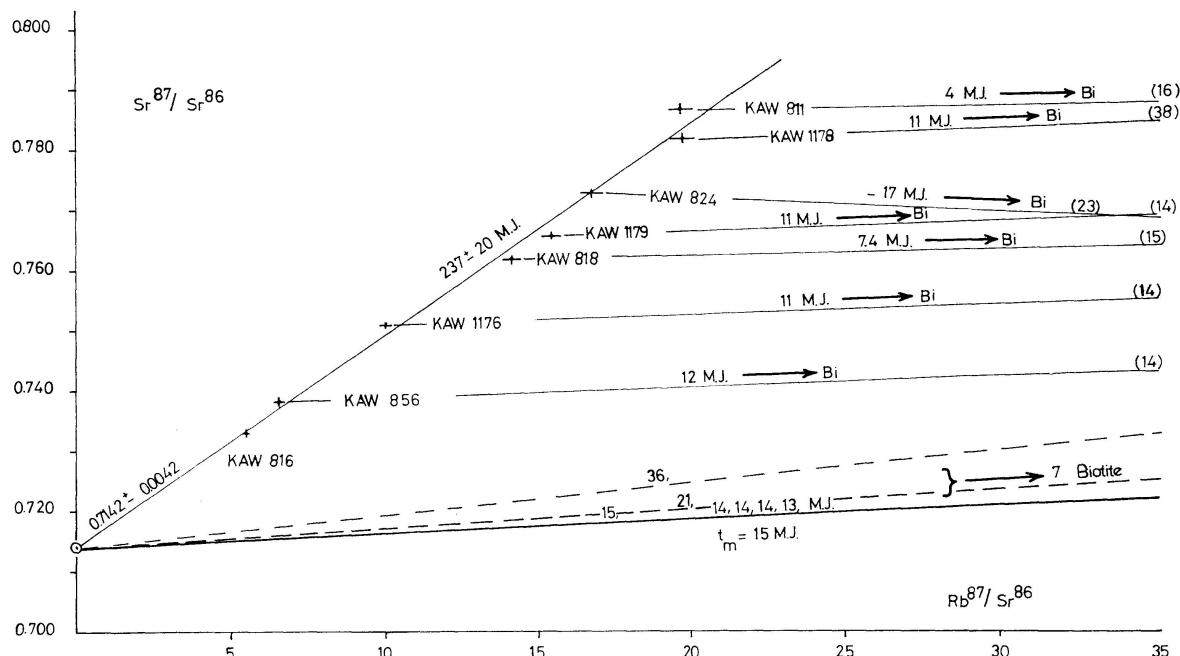


Fig. 4. Die Biotitalter korrigiert mit den jeweiligen Gesamtgesteinsproben im Sr-Entwicklungsdiagramm.

richtiger, anstelle von gewöhnlichem Sr das initiale $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis zur Biotitberechnung zu verwenden, wie es sich aus der Gesamtgesteinsisochrone ergibt: dieses Sr wurde ja bei der variszischen Bildung der Biotite eingebaut. Diese Berechnung ist ebenfalls in Fig. 4 dargestellt. Die unterste Linie zeigt die Gerade für sämtliche Biotite, die mit dem initialen $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis von 0,7142 berechnet wurden. Es ergeben sich so Alterswerte von 15,14, 14,14 und 13 Mill. Jahren. Nur zwei Biotite liegen nicht auf dieser Linie. Sie sind gestrichelt angegeben, Probe KAW 1178 mit 36 und Probe KAW 824 mit 21 Mill. Jahren.

Betrachten wir diese Darstellung genauer, so sehen wir sofort, dass diejenigen Biotitalter, die mit dem jeweiligen Sr des Gesamtgestein berechnet wurden, sehr stark streuen, nämlich von -17 bis +12 Mill. Jahren. Verwenden wir jedoch zur Berechnung des Biotitalters gewöhnliches Sr oder das initiale $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis der Gesamtgesteinsisochrone, so erhalten wir konkordante Alterswerte mit 2 Ausnahmen, von denen allerdings eine Analyse KAW 824 mit einem grossen Fehler behaftet ist. Diese Ausnahmen lassen sich jedoch sehr gut erklären. Alle Biotite sind Reinkonzentrate, nur diese beiden Ausnahmen enthalten Chlorit, wobei dasjenige Biotitkonzentrat mit dem stärker streuenden Alterswert von 38 bzw. 36 Mill. Jahren 40% Chlorit enthält, dasjenige Konzentrat mit dem weniger streuenden Alterswert von 23 bzw. 21 Mill. Jahren 10% Chlorit. Die Alterswerte sind um so stärker erhöht, je höher der Chloritgehalt ist. Es konnte ja schon bei der Besprechung der Probe KAW 811 gezeigt werden, dass Chlorit radiogenes Sr eingebaut haben muss.

Betrachten wir also nur die reinen Biotitkonzentrate, so zeigt sich deutlich, dass man nur dann konkordante Alterswerte erhält, wenn man bei der Berechnung gewöhnliches Sr oder ein niederes initiales $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Isotopenverhältnis verwendet und nicht die Isotopenverhältnisse der Gesamtgesteinproben. Wir kommen hier zu gleicher Aussage wie in Probe KAW 811: Die Biotite sind — entweder aus alten Biotiten durch Verjüngung, wobei eine gewisse Umkristallisation möglich ist, und selektive Ausscheidung von radiogenem Sr^{87} entstanden; — oder durch neue Kristallisation mit Einbau von gewöhnlichem Sr, was äusserst unwahrscheinlich ist.

Für die Interpretation der Biotitalterswerte ist ferner die Tatsache wichtig, dass die Gesamtgesteinproben während der alpinen Metamorphose für Rb und Sr weitgehend ein geschlossenes System geblieben sind, siehe Fig. 6. Wir können nicht annehmen, dass in alpiner Zeit eine Zufuhr von gewöhnlichem Sr stattgefunden hat, sonst könnten die Proben heute nicht mehr auf einer voralpinen Isochrone liegen. Wenn aber kein gewöhnliches Sr in alpiner Zeit in das Gestein hineingebracht wurde, haben wir grosse Schwierigkeiten, für eine Biotitneubildung eine Quelle von gewöhnlichem Sr zu finden, da wir ja

in der Probe KAW 811 schön zeigen konnten, dass sämtliche analysierten Mineralien hochradiogenes Sr enthalten. Dies erhärtet unsere Aussage, dass es sich bei den Biotiten um voralpine Biotite handelt, die in alpiner Zeit verjüngt wurden und bei dieser Verjüngung selektiv radiogenes Sr⁸⁷ ausgeschieden haben.

Dieses Beispiel zeigt deutlich, wie gefährlich es ist, mit wenigen Altersdaten konkrete Aussagen zu machen. 4 Biotite der Granitproben ergeben immerhin mit dem Gesamtgesteinsstrontrium berechnete Alterswerte von 11 und 12 Mill. Jahren. Hätte man nicht auch die anderen Proben dieses Granits analysiert, so würde man wohl anstatt 15 Mill. Jahre die 11 bzw. 12 Mill. Jahre als Abkühlalter angeben.

Noch kritischer ist dies bei den *Phengiten*, wie es in Fig. 5 gezeigt wird. Diese Figur gibt ein Sr-Entwicklungsdiagramm der 8 analysierten Proben mit der Gesamtgesteinssochrone, den einzelnen Gesamtgesteinspunkten und den Geraden zu den Phengitpunkten. Die Zahlen über den Geraden geben die Alterswerte der Phengite, berechnet mit den entsprechenden Gesamtgesteinssproben, die Zahlen in Klammern die Phengitalter, berechnet mit gewöhnlichem Sr. Da der Phengit eine alpine Neubildung ist, ist es sinnlos, eine Korrektur mit dem initialen Sr der Gesamtgesteinssproben anzugeben. Alle diese Phengitproben sind Reinkonzentrate. Trotzdem erhalten wir keine konkordanten Alterswerte, ob wir mit dem Gesamtgesteinsstrontrium oder mit gewöhnlichem Sr korrigieren. Da der bei der Mineralkonzentration angereicherte Phengit

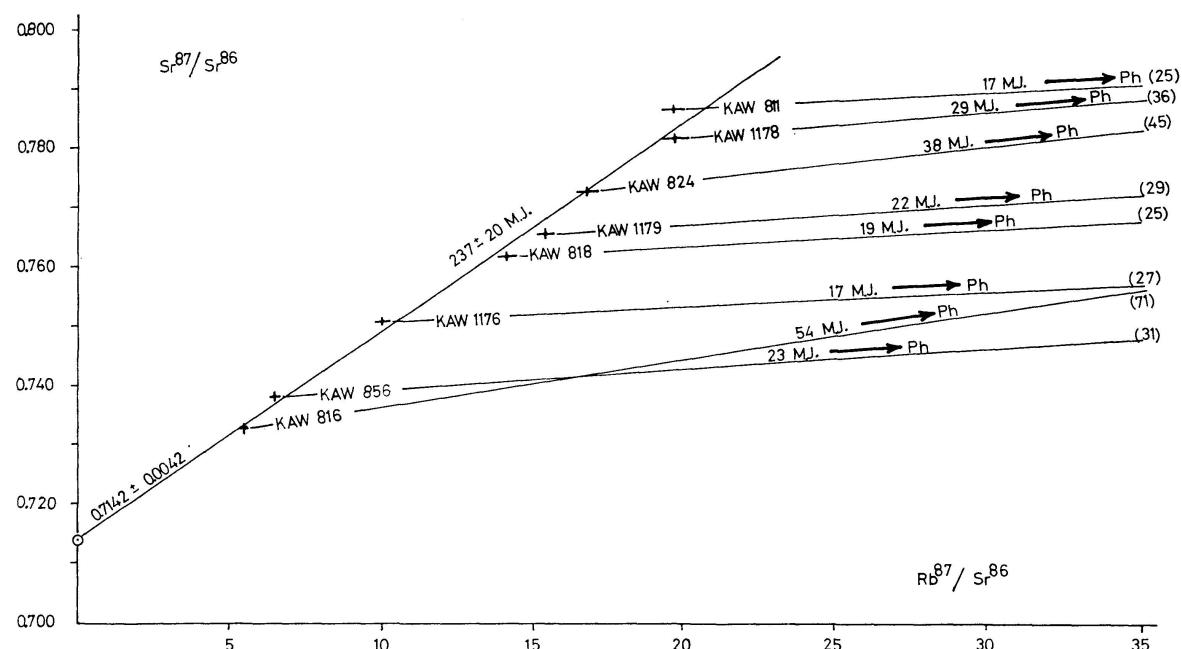


Fig. 5. Die Phengitalter, berechnet mit den jeweiligen Gesamtgesteinssproben und mit dem Initialen der Gesamtgesteinssochrone im Sr-Entwicklungsdiagramm.

wohl oft aus Biotit entstanden ist, müssen wir mit dem Einbau von radiogenem Sr rechnen. Wir dürfen aber nicht annehmen, dass das Sr des gesamten Gesteins in den Phengit eingebaut wurde, da ja während der alpinen Metamorphose keine Sr-Homogenisierung innerhalb des Gesteins stattgefunden hat. Wir wissen also nicht, mit welchem Sr wir die Phengitdaten korrigieren müssen. Damit datieren uns alle diese Phengitalter kein geologisches Ereignis. Wir können nur eines sagen: Das Phengitalter, das mit dem gewöhnlichen Sr korrigiert wird, kann nur noch niedriger werden. Die Korrektur kann nur noch höher sein. Das so berechnete Alter ist also ein Maximalalter, allerdings ein Maximalalter der regionalen Abkühlung, was sehr wenig aussagt. Die 25 Mill. Jahre kommen wohl einem echten Abkühlalter sehr nahe, die hohen Alterswerte von 45 und 71 Mill. Jahren sind sicher das Resultat des Einbaus von radiogenem Sr. Damit haben wir in diesem Teil den Hohen Tauern wohl wenig Hoffnung, je aussagekräftige Rb-Sr-Alterswerte an Phengiten zu erhalten.

Interessant ist das voralpine Alter von 264 Mill. Jahren am *Muskovit des Pegmatits*, siehe Tabelle 1. Dieser Alterswert zeigt klar, dass die Platznahme des Pegmatits variszisch und nicht alpin ist und dass die alpine Metamorphose nicht ausreichte, diesen voralpinen Mineralalterswert zu verjüngen, im selben Gestein hat sich aber Phengit alpin neugebildet. Dieser Phengit liefert uns Alterswerte von 89 bzw. 87 Mill. Jahren, berechnet mit dem gewöhnlichen Sr bzw. korrigiert mit dem Sr des Gesamtgesteins. Der hohe Alterswert mag 2 Gründe haben:

- Das Alter könnte wegen des Einbaus von radiogenem Sr zu hoch sein.
- Es ist aber auch durchaus möglich, dass das analysierte Phengitkonzentrat noch alten Muskovit enthält. Demnach wären diese Alterswerte von 89 oder 87 Mill. Jahren echte Mischalter zwischen alpin und variszisch, siehe M. SATIR (1973).

Es sei ausdrücklich vermerkt, dass der Pegmatit nicht aus den sauren Graniten, in denen die Gesamtgesteinsisochrone von 237 Mill. Jahren gemessen wurde, sondern aus dem davon gut unterscheidbaren Typus der Porphyroblastengneise (bei 1950 m) entnommen wurde.

Von grossem Interesse sind die Analysen an den *Gesamtgesteinsproben*. Man kann im Gelände beobachten, dass dieser Granit von zahlreichen Biotitgängen durchschlagen wird. Diese Gänge stellen wohl basische Gänge dar, die während der alpinen Metamorphose in Biotit umgewandelt wurden. Dabei muss innerhalb des Granitkörpers eine gewisse Mobilisation von Alkalien, speziell von Kalium stattgefunden haben. Es ist nun interessant, dass die Gesamtgesteinsproben trotzdem recht gut eine Isochrone von 237 ± 20 Mill. Jahren repräsentieren, siehe Fig. 6. Dies bedeutet, dass das Gesamtgestein trotz dieser intensiven alpinen Alkalimobilisation in den zahlreichen Ganggesteinen weitgehend für Rb und Sr ein geschlossenes System geblieben ist. Die kleinen Abweichun-

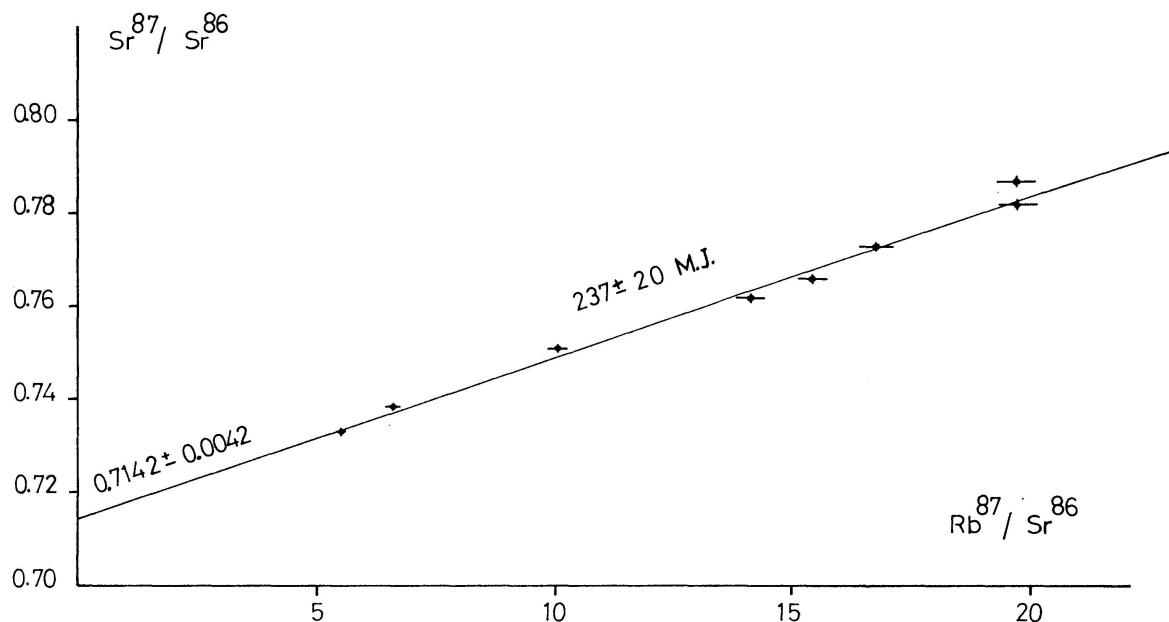


Fig. 6. Sr-Entwicklungsdiagramm der Gesamtgesteinsproben der mittelkörnigen Granite.

gen von der Isochrone könnten durchaus durch alpine Mobilisationen erklärt werden.

Schwierig zu interpretieren ist der permotriadische Alterswert von 237 ± 20 Mill. Jahren für die Gesamtgesteinsproben. Ähnliche Alterswerte wurden schon öfter an Tauerngneisen gefunden, siehe R. A. CLIFF (1968), E. JÄGER (1969), J. ST. R. LAMBERT (1964). Wir wagen heute nicht zu entscheiden, ob man mit diesen Resultaten die chemische Bildung der magmatischen Gesteine oder eine Metamorphose datiert hat. Allein auf Grund der Rb-Sr-Daten kann hier keine Entscheidung gefällt werden. Diese Frage kann nur mit U-Pb-Altersbestimmungen an Zirkonen eindeutig geklärt werden.

Diese Arbeit wurde vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanziert. Von «Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü» (Ankara/Türkei) erhalte ich ein Forschungsstipendium, wofür ich zu grossem Dank verpflichtet bin. Meiner verehrten Lehrerin, Frau Prof. Dr. E. Jäger, danke ich herzlich für die grosszügige Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit und die kritische Durchsicht des Manuskripts. Für wertvolle Ratschläge und anregende Diskussionen danke ich den Herren Dr. A. Arnold, PD Dr. W. Frank, Dr. M. Frey, Dr. C. J. Hunziker, Prof. Dr. E. Niggli und Frau Dr. S. Scharbert, für die Mithilfe im Labor Herrn R. Brunner, Herrn W. Morauf, Herrn R. Siegenthaler und Frau Ch. Zgraggen. Herr Dr. P. Thompson besorgte in verdankenswerter Weise die Abfassung des Abstracts.

Literaturverzeichnis

- BESANG, C., W. HARRE, F. KARL, H. KREUZER, H. LENZ, P. MUELLER und I. WENDT (1968): Radiometrische Altersbestimmungen (Rb/Sr und K/Ar) an Gesteinen des Venediger-Gebietes (Hohe Tauern, Österreich), Geol. Jahrb. 86, 835–844.
- CLIFF, R. A. (1968): The Age of Tonalites in the Southeast Tauernfenster, Austrian Alps – Rubidium/Strontium Whole Rock Ages on Some Associated Leucogranites, N. Jb. Geol. Paläont. Mh. II, 655–663.
- FRISCH, W. (1968): Zur Geologie des Gebietes zwischen Tuxbach und Tuxer Hauptkamm bei Lanersbach (Zillertal, Tirol). Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. 18, 287–336.
- HOECK, V. (1969): Zur Geologie des Gebietes zwischen Tuxer Joch und Olperer (Zillertal, Tirol). Jb. Geol. B. A. Bd. 112, S. 153–195.
- JÄGER, E., KARL, F. und SCHMIDEGG, O. (1969): Rubidium-Strontium-Altersbestimmungen an Biotit-Muskovit-Granitgneisen (Typus Augen- und Flasergneise) aus dem nördlichen Grossvenedigerbereich (Hohe Tauern). Tscherm. Min. Petr. Mitt. 13, 251.
- KREUZER, H., HARRE, W., MUELLER, P., RAASE, P. und RAITH, M. (1973): K/Ar Mineral Ages for the Venediger Area and the Eastern Zillertaler Alps (Hohe Tauern). Abstract ECOG III-Oxford.
- LAMBERT, J. ST. R. (1964): Isotopic Age Determinations on Gneisses from the Tauernfenster, Austria. Verh. Geol. Bundesanst. Wien, H. 1, 16.
- MIGNON, K. (1972): Überblick über die geologischen Verhältnisse im Bereich der Zemmkraftwerke (Zillertal-Tauern-Westende). Öze, Österr. Zeitsch. f. Elektrizitätswirt., Heft 10.
- MORTEANI, G. (1971): Gliederung und Metamorphose der Serien zwischen Stilluptal und Schlegeistal (Zillertaler Alpen, Nordtirol). Verh. Geol. B-A, Heft 2, S. 287–314.
- NICOLAYSEN, L. O. (1961): Graphic interpretation of discordant age measurements of metamorphic rocks. Ann. New York Acad. Sci. 91, 198–206.
- RAASE, P. (1971a): Bericht 1970 über die Aufnahmen im unteren Zillergrund und im Tuxbachüberleitungsstollen (Blatt 150, Zell am Ziller und 149, Lanersbach). Verh. Geol. B-A. Wien.
- SATIR, M. (1973): The interpretation of Rb-Sr mica ages of metamorphic rocks from the Western Tauern, Eastern Alps. Abstract ECOG III-Oxford.
- YORK, D. (1966): Least Squares Fitting of a Straight Line. Can. J. Phys., 44, 1079.

Manuskript eingegangen am 17. Januar 1974.