

Rb-Sr-Altersbestimmungen an Granuliten der südlichen Böhmisches Masse in Österreich

Autor(en): **Arnold, Andreas / Scharbert, Heinz G.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **53 (1973)**

Heft 1

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-41373>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Rb-Sr-Altersbestimmungen an Granuliten der südlichen Böhmisches Masse in Österreich

Von *Andreas Arnold* (Bern) und *Heinz G. Scharbert* (Wien)*)

Mit 5 Figuren und 2 Tabellen im Text

Zusammenfassung

Die vorliegenden Rb-Sr-Altersbestimmungen stammen von Granuliten des Moldanubikums in Österreich, und zwar aus den Komplexen von Pöchlarn-Wieselburg und vom Dunkelsteiner Wald.

Eine Gesamtgesteinsisochrone an 7 Grossproben (20–40 kg) gibt einen Alterswert von 469 ± 11 Mill. J. bei einem initialen $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ von $0,7095 \pm 0,0026$. Alle Proben liegen innerhalb der Fehlergrenze auf der Geraden. Dieses Resultat schliesst ein präkambrisches Alter der granulitfaziellen Metamorphose aus und deutet auf ein altpaleozoisches Alter (Ordoviz bis Silur) derselben hin.

Zum Alter der Edukte können nur indirekte Argumente Hinweise geben. Hätten wir seit der Bildung der Edukte bis heute für Rb und Sr im Grossbereich geschlossenes System gehabt, dann liesse sich aus dem initialen und dem heutigen $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis ein Sr-Entwicklungsmodell ableiten. Dies indem man die $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Entwicklung (Zunahme mit der Zeit) der Granulite auf jene des Meerwassers für sedimentäre Edukte, oder auf jene des oberen Mantels für magmatische Edukte bezieht. Daraus liesse sich für sedimentäre Edukte ein Maximalalter von 550 bis 600 Mill. J. und für magmatische Edukte ein solches von 650 bis 700 Mill. J. ableiten. Eine Sr-Verjüngung durch internen Sr-Austausch im Grossbereich (geschlossenes System nach aussen) kann für beide Fälle, wegen des initialen $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnisses ausgeschlossen werden.

Die Edukte könnten nur dann älter sein, wenn sie irgendwann zwischen der Bildung der Edukte und dem Ende der granulitfaziellen Metamorphose ihr radiogenes Sr^{87} entweder vollständig oder teilweise, dann aber genau proportional zu ihrem Rb/Sr-Verhältnis verloren hätten. Da dies im Grossbereich, und in diesem Ausmass, besonders für magmatische Edukte, nach den heutigen Kenntnissen nicht sehr wahrscheinlich ist, bedeutet der Grenzbereich zwischen Präkambrium und Kambrium ein Maximalalter für magmatische Edukte der Granulite. Aus den vorhandenen Informationen scheint uns jedoch ein ordovizisches Alter von rund 470 Mill. J. für die Bildung der Edukte wahrscheinlicher.

*) Adressen der Verfasser: Dr. A. Arnold, Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern, Schweiz. — Prof. Dr. H. G. Scharbert, Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, Dr.-Karl-Lueger-Ring 1, Wien I.

Rb-Sr-Resultate von 6 Granulitbändern, liegen, innerhalb der Fehlergrenze, auf einer Isochrone mit einem Alterswert von 431 ± 35 Mill. J. und einem initialen $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ von $0,721 \pm 0,015$. Dieser Alterswert ist von jenem der Grossproben statistisch relevant verschieden und gibt den Zeitpunkt eines Sr-Austausches im Kleinbereich. Dies könnte zwar einer nachgranulitischen Überprägung entsprechen; die geringe retrograde Umwandlung macht es wahrscheinlicher, dass die Isochrone die granulitfazielle Metamorphose vor rund 430 Mill. J. (Ordoviz bis Silur) datiert.

Schliesslich zeigen die Rb-Sr-Resultate an Einzelmineralien klar, dass der Einfluss der variszischen Metamorphose nicht ausreichte, um alle Mineralien zum vollständigen Sr-Austausch zu veranlassen. Die Alterswerte an Biotiten mit 295 ± 12 Mill. J. und 277 ± 11 Mill. J. entsprechen der Abkühlung am Ende der variszischen Metamorphose.

Abstract

Rb-Sr age determinations are presented for the Moldanubian granulite bodies of Pöchlarn-Wieselburg and Dunkelsteiner Wald in Austria.

A combined whole rock isochron for 7 large samples (20–40 kg) gives an age of 469 ± 11 m. y. and an initial $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ of 0.7095 ± 0.0026 . All samples fit the line within experimental error. The granulite facies metamorphism can not be Precambrian; it rather must be early Paleozoic (Ordovician-Silurian).

Only indirect arguments can be used to determine the age of the source rocks. If closed systems operated on a large scale, from the time of formation to the present, a Sr-evolution model can be derived from the initial and the present $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ values. Assuming a sedimentary origin for the rocks, referring to the sea water $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ values, a maximum age of about 550–600 m. y. is obtained. If they were of igneous origin, referring to the upper mantle $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ values, we get a maximum age of about 650–700 m. y. A rejuvenation by internal migration of isotopes (closed system) on a large scale can be excluded from both possibilities, because of the initial $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ ratio.

The rocks, if of sedimentary origin could be older and this would necessitate the complete loss of radiogenic Sr^{87} or a partial loss proportional to the Rb/Sr ratio, between the time of primary formation and the end of the granulite metamorphism. Since such a loss of radiogenic Sr^{87} is not probable for igneous source rocks on a large scale, the time interval between the Precambrian and the Cambrian may represent a maximum age. However in view of the available information, an Ordovician age of about 470 m. y. for the formation of the rocks is considered more probable.

Rb-Sr whole rock analyses for 6 individual granulite bands fit an isochrone within experimental error, proportional to an age of 431 ± 35 m. y. and an initial $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ of 0.721 ± 0.015 . This age is statistically distinct from that of the large samples and gives the time of a later Sr exchange on a small scale. It could correspond to a postgranulitic overprinting but more probably indicates the age of granulite metamorphism.

The Rb-Sr ages for single minerals show clearly that the Variscian metamorphism was not strong enough for the minerals to completely exchange Sr. Finally the biotites from two samples with age values of 295 ± 12 m. y. and 277 ± 11 m. y. give the cooling time after the Variscian metamorphism.

Constants used: $\lambda = 1.47 \cdot 10^{-11} \text{ y}^{-1}$, $\text{Sr}^{88}/\text{Sr}^{86} = 8.432$, $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86} = 0.7091$, $\text{Rb}^{85}/\text{Rb}^{87} = 2.591$.

I. EINLEITUNG

Nach den meisten neueren Arbeiten sind die Granulite des Moldanubikums als polymetamorphe präkambrische Gesteine zu betrachten.

SCHARBERT (1964, 1965) sprach sich für eine präalgonkische Metamorphose aus, die eine Sedimentfolge (Sandsteine, Arkosen, Grauwacken, Tone) unter Granulitfaziesbedingungen zu Granuliten umprägte. Andererseits nennt ZOUBEK (1965, 1969) als Edukte differenzierte basische und saure Vulkanite, die in altproterozoische Geosynklinalserien eingeschaltet wurden und die durch eine vorassynthetische Metamorphose (zeitlich mit der Grenville Orogenese vergleichbar) zu Granuliten umgewandelt wurden. Nach beiden Autoren hatte die variszische Metamorphose nur mehr geringen Einfluss auf die Granulite.

Dagegen stellte SUESS (1926) das Moldanubikum als metamorphes Äquivalent des innerböhmischen Barrandiums hin. Die heutigen Granulite wären nach diesem Schema den oberkambrischen Quarzporphyren als metamorphes Gegenstück korrelierbar. Die ganze Geosynklinalserie des Barrandiums erlitt nur eine variszische Metamorphose. Schliesslich erklärte LIMBROCK (1923) die Granulite als Intrusivgesteine der Charnokitreihe.

SMEJKAL (1960, 1964) publizierte K-Ar-Alter von verschiedenen Gesteinen des Moldanubikums, darunter auch von Granuliten als Gesamtgesteinen. Er erhält für die Granulite Alter von 260–300 Mill. J., also variszische Alter. Aus dem bayerischen Teil des Moldanubikums liegen von DAVIS und SCHREYER (1962) Rb-Sr-Biotitalter mit Werten zwischen 320 und 440 Mill. J. aus verschiedenen Orthogneisen und diskordante U-Pb-Alter an Zirkonen von rund 400–460 Mill. J. vor. Eine erste Rb-Sr-Isochrone an Gesamtgesteinen der Granulite Sachsens, mit einem Alterswert von 437 ± 27 Mill. J., publizierten JÄGER und WATZNAUER (1969). Der Alterswert wird dort interpretiert als Alter der Granulitisation oder der späteren Diaphthorese zur Amphibolitfazies.

Wie ZOUBEK (1969) betont, zeigen sich am Beispiel der Böhmisches Masse die Schwierigkeiten, Altersbeziehungen in hochmetamorphen Komplexen festzustellen. VEJNAR (1971) betrachtet schliesslich die moldanubische Zone als polyzyklische, präkambrische Serie, welche von einer assynthetischen Metamorphose vom Barrow-Typ und einer variszischen Metamorphose vom Abukuma-Typ betroffen wurde.

Die vorliegende Arbeit verfolgt nun das Altersproblem der Granulite weiter.

II. GEOLOGISCHE SITUATION UND KURZBESCHREIBUNG DER PROBEN

1. Geologische Situation

Die beiden Granulitkörper von *Pöchlarn-Wieselburg* und vom *Dunkelsteiner Wald* sind die wichtigsten Granulitvorkommen im niederösterreichischen Moldanubikum. In mehreren Arbeiten wurden sie eingehend untersucht (SCHARBERT, 1957, 1962, 1963, 1964).

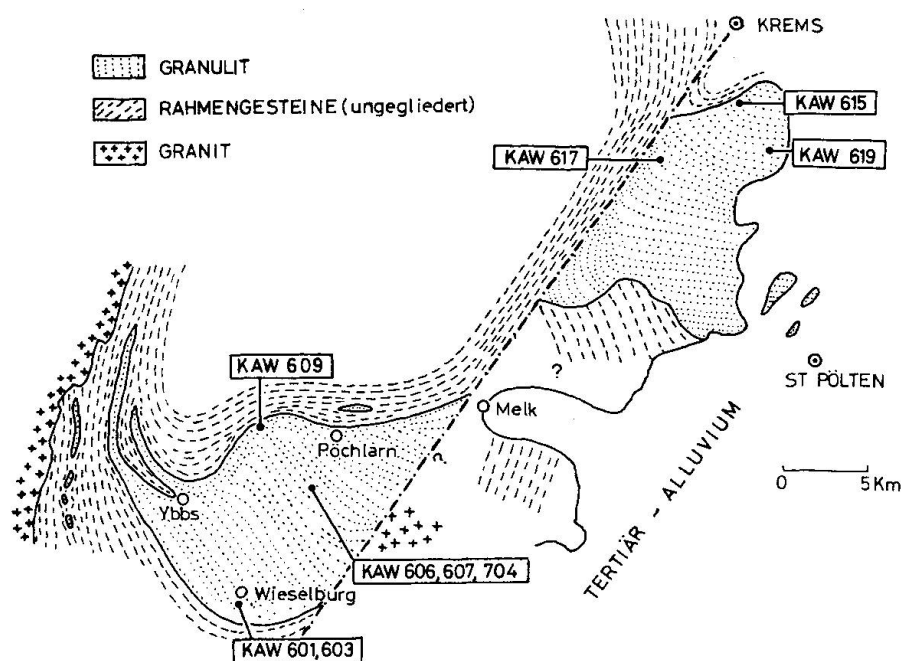


Fig. 1. Vereinfachte geologische Kartenskizze der Granulite der südlichen Böhmisches Masse, nach SCHARBERT (1962), mit Nummern und Fundorten der Proben.

Wie Fig. 1 zeigt, liegen die beiden Granulitkörper in den Ortho-, bzw. Paraserien des Moldanubikums. Die beiden, heute getrennten Granulitkörper bestanden ursprünglich aus einem einzigen Komplex und wurden durch die Diendorfer Störung (eine Blattverschiebung) in diese beiden Körper zerlegt. Der Innenbau der Granulitkomplexe weicht vom tektonischen Bau der Rahmenserien ab. Eine Angleichung an den Bauplan der Rahmenserien tritt nur randlich auf. Dabei werden die granulitfaziellen Gesteine vor allem am Rande der Körper retrograd in Amphibolitfazies überprägt. Die Granulitmetamorphose ist demnach älter als die heutige amphibolitfazielle Prägung der moldanubischen Rahmenserien. Der Granulitkörper von Pöchlarn-Wieselburg zeigt im Querprofil einen Fächerbau, der ebenfalls jünger ist als die Granulitmetamorphose. Die Körper legen sich randlich auf die Rahmenserien.

Petrographisch treten folgende Gesteinstypen auf (Granulitkomplexe wird nur zur Vereinfachung gebraucht): Granulite sensu stricto, Plagio-Granulite,

Pyriklas-Granulite, Pyroxengranulite, Pyriklasite. Charakteristisch sind die Einschaltungen von Ultrabasiten mit Eklogiten, die als Material aus dem oberen Mantel betrachtet werden. Mengenmässig überwiegen die pyroxen-freien Gesteine und unter diesen die Granulite sensu stricto (Weisssteine).

2. Kurzbeschreibung der Proben

Da die Rb-Sr-Isotopenbestimmungen neben Altersdaten auch Aufschlüsse über geochemische Austauschvorgänge von Rb und Sr liefern können, wurden die Proben gezielt ausgewählt. Von einer grösseren Anzahl Proben wurden 7 Proben von ca. 20–40 kg für Rb-Sr-Gesamtgesteinsanalysen im Grossbereich verwendet. Zwei gebänderte Blöcke wurden in die Bänder aufgeteilt und diese einzeln analysiert. Schliesslich wurden die Mineralien zweier Grossproben separiert und untersucht. Die Proben werden nun nach Fundorten aufgeteilt kurz beschrieben.

a) Steinbruch Wieselburg (Granulit von Pöchlarn-Wieselburg)

KAW 601. Pyroxengranulit. Die Probe stammt von der Ostseite des Steinbruchs und weist folgende Mineralien auf: Plagioklas, Quarz, Kalifeldspat, Biotit, Granat, Orthopyroxen und Amphibol; akzessorisch: Erz, Zirkon, Apatit. Ein zusammenhängendes Mosaik aus Quarz und Plagioklas mit grösseren Quarz- und Feldspatkörnern, in welches die übrigen Mineralien eingestreut sind bildet das Gefüge. Die Verwachsungen sind oft buchtig. Es kann keine wesentliche nachgranulitische Deformation festgestellt werden. Retrograde Umwandlungen sind sehr untergeordnet. Es treten nur vereinzelt Umwandlungen von Orthopyroxen zu Biotit und von Plagioklas zu Sericit und Biotit zu Chlorit entlang Rissen auf.

KAW 603. Weissstein. Die Probe wurde aus dem unteren Teil des Steinbruchs entnommen. Mineralbestand: Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas, Granat, Disthen und akzessorisch: Rutil, Zirkon, Apatit, Erz. Das Gefüge wird aufgebaut aus einem feinkörnigen Mosaik aus Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas, in welches grössere, in sich gelängte Quarz- und Kalifeldspatkörner eingelagert sind. Auch hier sind die Körner weitgehend buchtig verwachsen. Die Paralleltextur wird markiert durch die Längung der grösseren Quarz- und Kalifeldspatkörner. Als retrograde Umwandlungen findet man nur spärliche Serizitplättchen.

b) Steinbrüche von Hochgreding bei Erlauf (Granulit von Pöchlarn-Wieselburg)

KAW 606. Gebänderter, heller Granulit. Die Probe wurde so entnommen, dass sie dem Durchschnitt der hellen und dunklen Bänder entspricht. Die Bänderung besteht aus biotitreicheren und biotitärmeren Bereichen. Mineralbestand: Quarz, Kalifeldspat, Granat, Plagioklas, Disthen, Biotit und akzessorisch: Rutil, Zirkon und Apatit. Auch hier baut ein feines Mosaik aus Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas das Gefüge auf. Darin eingelagert finden sich grössere Körner von Quarz, Kalifeldspat, Granat und Disthen. Das Parallelgefüge wird markiert durch Biotitplättchen. Das Gefüge wurde nach der Granatbildung noch deformiert. Retrograde Umwandlungen sind unbedeutend.

KAW 607 I, II, III und KAW 704 I, II, III. Es sind zwei Blöcke, welche in je drei Bänder von 3–5 cm Dicke und einem Gewicht von 2–5 kg aufgeteilt wurden. Die Bänder unterscheiden sich durch ihren wechselnden Biotitgehalt. Die Lokalität ist dieselbe wie KAW 606.

c) Aufschluss an der Donauuferbahn bei Marbach (Granulit von Pöchlarn-Wieselburg)

KAW 609. Heller Granulit. Die Probe stammt vom Felsanriss der Donauuferbahn bei 50,7 km ab Krems. Es wurde eine möglichst massige helle Partie ausgesucht. Das Gestein ist flaserig bis streifig. Mineralbestand: Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas, Biotit, Granat, Disthen, Sillimanit und akzessorisch: Rutil, Erz, Apatit, Zirkon und Spinell. Das feinkörnige Mosaik aus Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas besetzt annähernd gleichviel Raum wie die grösseren Körner von Quarz, Kalifeldspat und Granat. Die letzteren inkl. teilweise Granat sind gelängt und verzahnt. Das feine Mosaik zeigt eher granoblastische Verwachsung. Eine Durchbewegung nach der Granatbildung ist gut erkennbar. Retrograde Umwandlungen: teilweise Granat zu Biotit und an Rissen Biotit zu Chlorit und Feldspat zu Serizit. Aber auch hier sind diese Umwandlungen untergeordnet. Von dieser Probe wurden die Mineralien separiert.

d) Steinaweg (Granulit vom Dunkelsteiner Wald)

KAW 615. Weissstein mit Disthen. Mineralbestand: Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas, Granat, Disthen, Biotit und akzessorisch: Rutil, Apatit und Zirkon. Das feinkörnige Mosaik überwiegt und besteht aus Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas. Die grösseren eingelagerten Körner aus Quarz und Kalifeldspat sind stark gelängt, während Disthenkörner parallel angeordnet sind; was die Paralleltextur markiert. Retrograde Umwandlungen sind selten. Von dieser Probe wurden die Mineralien aufbereitet.

e) Palmühle (Granulit vom Dunkelsteiner Wald)

KAW 617. Pyroxengranulit. Das Gestein ist dunkelgrau massig. Mineralbestand: Plagioklas, Quarz, Granat, Orthopyroxen, Biotit, Klinopyroxen und akzessorisch: Erz, Graphit, Rutil, Apatit, Zirkon. Plagioklas, Quarz, Pyroxen und Biotit bilden ein Mosaikgefüge. Die Granate sind als grössere Körner eingestreut. Eine Paralleltextur wird markiert durch Reihenanzordnung von Biotit und Pyroxen. Es ist eine sehr schöne Paragenese der Granulitfazies ohne nachträgliche Durchbewegung erhalten.

f) Steinbruch Meidling im Tal (Granulit vom Dunkelsteiner Wald)

KAW 619. Homogener blauer Granulit. Die Probe stammt vom nördlichen Teil des Steinbruchs. Mineralbestand: Quarz, Plagioklas, Kalifeldspat, Granat, Biotit und akzessorisch: Rutil, Graphit, Erz, Apatit, Spinell und Zirkon. Im feinkörnigen Mosaik sind grössere Granatkörner eingelagert. Die Paralleltextur wird bedingt durch Zeilenanzordnung von Biotit und Granat. Praktisch keine retrograden Umwandlungen und auch keine nachgranulitische Durchbewegung sind erkennbar.

III. RESULTATE DER RB-SR-BESTIMMUNGEN

1. Methodisches

Die Bestimmung der Isotopenverhältnisse und der Konzentrationen wurden nach der Isotopenverdünnungsmethode durchgeführt. Als Konstanten wurden verwendet:

$$\text{Zerfallskonstante} \quad 1.47 \cdot 10^{-11} \text{ Jahre}^{-1}$$

$$\text{Gewöhnliches Sr: } 88/86 = 8,432$$

$$87/86 = 0,7091$$

$$\text{Gewöhnliches Rb: } 85/87 = 2,591$$

Die Isochronen wurden nach McINTYRE et al. (1966) berechnet.

2. Resultate an Gesamtgesteinen

a) Grossproben (20–40 kg)

Aus den beiden Granulitkörpern wurden 7 Grossproben analysiert. Die Resultate finden sich in Tab. 1. Im Rb-Sr-Diagramm nach Nicolaysen (Fig. 2) liegen die Analysenpunkte auf einer Isochrone mit dem Alterswert von 469 ± 11 Mill. J. und dem initialen $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis von $0,7095 \pm 0,0026$. Die Proben aus jedem der beiden Granulitkörper liefern Analysenpunkte sowohl im Bereich hoher wie im Bereich niedriger $\text{Rb}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnisse. Das heisst, dass jeder Granulitkörper für sich praktisch den ganzen Bereich der Isochrone umfasst. Nimmt man nur die Granulite sensu stricto (Weisssteine) heraus, ergeben die Analysenpunkte eine Isochrone, deren Alterswert von 474 Mill. J. nicht abweicht von jenem der Gesamtsisochrone.

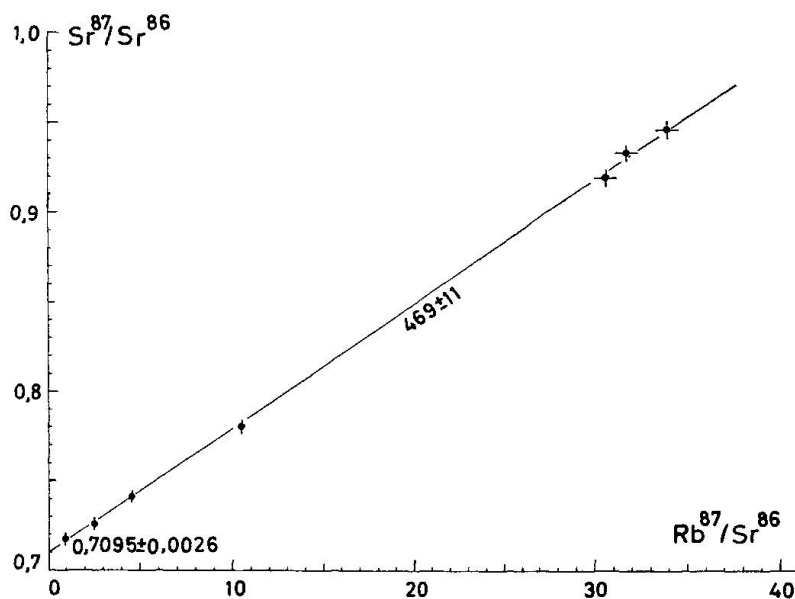


Fig. 2. Rb-Sr-Isochrone an Grossproben der Granulite.

b) Proben von Granulitbändern

Von den kleinen Steinbrüchen von Hochgreding bei Erlauf wurden zwei Blöcke in je drei Bänder (biotitreicher-biotitärmer) aufgeteilt und einzeln analysiert. Die Dicke der Bänder betrug 3–5 cm. Die Analysenergebnisse finden sich in Tab. 1. Die resultierende Isochrone besitzt einen Alterswert von 431 ± 35 Mill. J. bei einem initialen $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis von $0,721 \pm 0,015$. Dieser Fehlerbereich überschneidet jenen der Isochrone an Grossproben sowohl in bezug auf das Alter wie in bezug auf das initiale $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis. Dies beruht darauf, dass sich die Einzelbänder in ihren Rb- und Sr-Gehalten zu

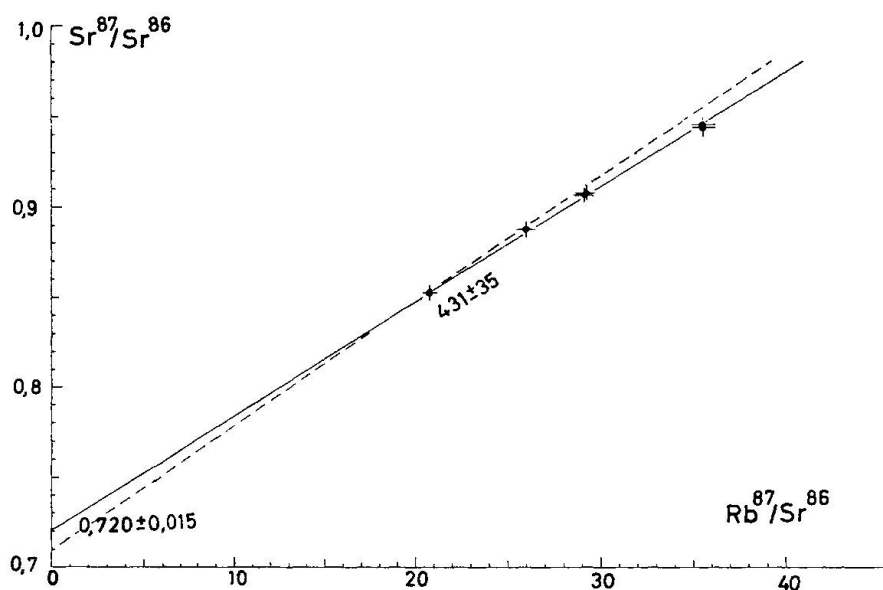


Fig. 3. Rb-Sr-Isochrone an Bändern der Granulite von Hochgreding. Gestrichelt ist die Referenzgerade der Grossproben.

wenig unterscheiden. Wendet man jedoch den t-Test auf beide Isochronen an, so zeigt es sich, dass die jeweiligen Steigungen beider Geraden signifikant verschieden sind. Bei analogen Rb-Sr-Bestimmungen von Granulitbändern aus der Bohrung Holubov in der Tschechoslowakei resultiert eine Isochrone mit einem Alterswert von 430 ± 59 Mill. J. Berechnet man nun, nach BOFINGER und COMPSTON (1967), die beiden Isochronen zusammen, so reduziert sich der Fehler im Alter auf ± 24 Mill. J.; was zeigt, dass die Isochronen an Granulitbändern von jenen an Grossproben verschieden sind.

c) Das heutige Rb/Sr-Verhältnis der Granulite

Das heutige Rb/Sr-Verhältnis der Granulite kann einigermaßen, wenn auch vorläufig mit einem Relativfehler von ca. 20%, bestimmt werden. Es ergaben sich:

Tabelle 1. Rb-Sr-Analysendaten an Gesamtgesteinen

Proben-Nr.	Gestein	Lokalität	Rb ⁸⁷ ppm	Sr ⁸⁷ rad. ppm	% rad.	Sr comm. ppm	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Alter Mill. Jahre	
<i>a) Grossproben, Gesamtgesteine</i>										
KAW 601	Pyroxengranulit	Wieselburg	21,9	0,147	2,3	90,5	2,493	0,7259	469 ± 11	
KAW 603	Weissstein	Wieselburg	43,6	0,301	9,3	42,8	10,46	0,7814		
KAW 606	Gebänderter Granulit	Hochgreding b. Erlauf	92,3	0,631	22,8	31,0	30,61	0,9181		
KAW 609	Heller Granulit	Marbach Donauuferbahn	92,0	0,646	23,9	29,8	31,70	0,9318		
KAW 615	Weissstein mit Disthen	Steinaweg	79,4	0,551	24,9	24,1	33,91	0,9446		
KAW 617	Pyroxengranulit	Palzmühle	6,31	0,0536	1,2	65,6	0,7176	0,9885		
KAW 619	Blauer Granulit	Meidling im Tal	35,8	0,257	4,4	81,5	4,518	0,7416		
<i>b) Granulitbänder, Gesamtgesteine</i>										
KAW 607/I	Biotitreich	Hochgreding	93,5	0,626	25,1	27,1	35,51	0,9452		431 ± 35
KAW 607/II	Biotitarm	Hochgreding	93,1	0,622	25,0	27,0	35,47	0,9461		
KAW 607/III	Biotitreich	Hochgreding	95,5	0,645	21,7	33,7	29,13	0,9063		
KAW 704/I	Biotitreich	Hochgreding	74,5	0,509	20,0	29,5	25,99	0,8866		
KAW 704/II	Biotitarm	Hochgreding	93,1	0,631	21,8	32,8	29,21	0,9070		
KAW 704/III	Biotitreich	Hochgreding	78,8	0,541	16,8	38,9	20,80	0,8521		

63 ppm Sr und 44 ppm Rb⁸⁷ für 20 Proben aus beiden Granulitkörpern, davon $\frac{1}{4}$ basische Granulite.

32 ppm Sr und 89 ppm Rb⁸⁷ für 22 Proben im Bereich der Steinbrüche von Hochgreding.

Bei einem Relativfehler von 20% ergibt das ein mittleres, heutiges Sr⁸⁷/Sr⁸⁶-Verhältnis von $0,76 \pm 0,02$ für die Granulite allgemein und ein solches von $0,91 \pm 0,08$ für die Weisssteine der Steinbrüche von Hochgreding.

3. Resultate an Einzelmineralien

Die Analysenresultate der Mineralien aus den beiden Proben KAW 609 (Marbach) und KAW 615 (Steinaweg) sind in Tab. 2 aufgeführt. Es lässt sich für beide Proben keine vollständige Mineralisochrone ableiten.

Aus der Probe KAW 609 ergeben Gesamtgestein, Quarz mit Plagioklas, Kalifeldspat und Apatit eine Gerade mit einem Alterswert von 450 ± 20 Mill. J. (einfache Regressionsgerade). Der Biotit liefert ein Alter von 295 ± 12 Mill. J.

Aus der Probe 615 ergeben Gesamtgestein, Kalifeldspat und Apatit einen Alterswert von rund 300 Mill. J., während der Biotit einen Alterswert von 277 ± 11 Mill. J. aufweist. Auffallend ist, dass der Granat der Probe KAW 615 in Fig. 4 weit unter beiden Isochronen liegt. Beide Geraden zeigen ferner ein initiales Sr⁸⁷/Sr⁸⁶-Verhältnis, welches gegenüber jenem der Gesamtgesteine erhöht ist.

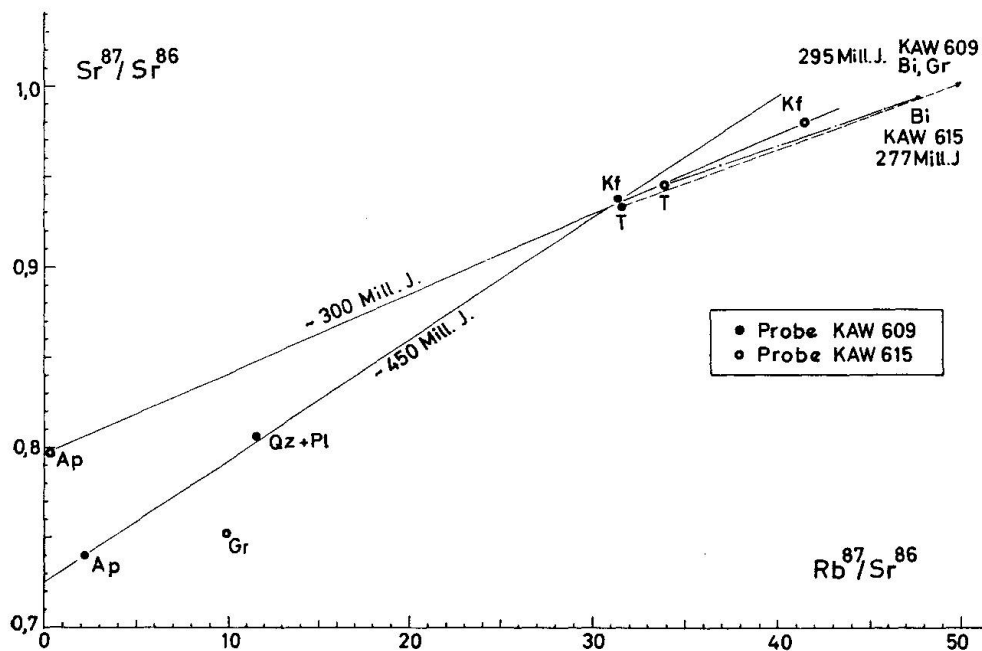


Fig. 4. Lage der Analysenpunkte der Mineralien im Nicolaysen-Diagramm.

Tabelle 2. Rb-Sr-Analysendaten an Mineralien aus den Granuliten

Proben-Nr.	Mineral	Rb ⁸⁷ ppm	Sr ⁸⁷ rad. ppm	% rad.	Sr comm. ppm	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Alter Mill. Jahre	Alter korr. Mill. Jahre
<i>a) Mineralien der Probe KAW 609, heller Granulit, Marbach</i>									
KAW 609/2	Kalifeldspat	157,5	1,145	24,3	51,6	31,37	0,9373	493 ± 37	
KAW 609/3	Biotit	346,8	2,466	95,8	1,571	3600	16,855	307 ± 12	295 ± 12
KAW 609/4	Quarz und Plagioklas	8,63	0,0705	12,0	7,65	11,59	0,8056	554 ± 95	
KAW 609/5	Granat mit Biotiteinschluss	5,57	0,0347	42,6	0,679	114,5	1,234	311 ± 12	
KAW 609/5	Apatit	51,81	0,207	4,1	69,4	2,341	0,7394		
<i>b) Mineralien der Probe KAW 615, Weissstein mit Disthen</i>									
KAW 615/2	Kalifeldspat	165,6	1,076	27,5	41,1	41,44	0,9784	428 ± 27	
KAW 615/3	Biotit	586,2	2,457	92,4	2,94	2046	9,286	285 ± 12	277 ± 11
KAW 615/7	Apatit	0,949	0,218	11,0	25,5	0,3826	0,7970		
KAW 615/9	Granat	0,436	0,0019	5,8	0,752	9,958	0,7520		

Zerfallskonstante: = $1.47 \cdot 10^{-11}$ Jahre⁻¹Gewöhnliches Sr: 88/86 = 8,432
87/86 = 0,7091
Rb: 85/87 = 2,591

IV. INTERPRETATION DER RESULTATE

I. Isochrone an Grossproben

a) Allgemein

Die Rb-Sr-Isochrone an Gesamtgesteinen der Grossproben mit dem Alterswert von 469 ± 11 Mill. J. entspricht dem Zeitpunkt, da Rb und Sr im Grossbereich (das heisst im Meterbereich und darüber) geochemisch im Gestein fixiert wurden. Das besagt zugleich, dass vor 470 Mill. J. das Sr im Grossbereich isotopenmässig homogenisiert und somit geochemisch durchmischt war. In den Teilbereichen (Meterbereich und darüber) haben sich bestimmte Rb/Sr-Verhältnisse eingestellt, die seither geochemisch nicht mehr verändert wurden.

Da die Analysenpunkte beider Granulitkörper und sowohl der sauren wie der basischen Granulite auf der Isochrone liegen, muss das Ereignis vor 470 Mill. J. der chemischen Bildung des Gesamtsystems beider Granulitkörper in bezug auf Rb und Sr entsprechen. Dies gilt sowohl für die sauren, wie für die basischen Granulite.

Für ein Ereignis dieses Ausmasses können hier drei Prozesse verantwortlich gemacht werden: die Bildung der Edukte der heutigen Granulite, die granulitfazielle Metamorphose, oder ein Prozess (Diagenese, schwache Metamorphose) zwischen der primären Bildung und der granulitfaziellen Metamorphose.

Die Zuordnung dieses Ereignisses zur retrograden Umwandlung der Granulite, wie dies in JÄGER und WATZNAUER (1969) für möglich gehalten wird, kann hier ausgeschlossen werden. In der Tat ist die retrograde Umwandlung sehr selektiv, und bei unseren Proben dazu noch sehr gering. Ferner liegen die Analysenpunkte aus den Kern- und Randgranuliten der eben genannten Arbeit auf der gleichen Isochrone.

Das Alter dieser Isochrone schliesst somit ein präkambrisches Alter der granulitfaziellen Metamorphose aus und deutet auf ein paläozoisches Alter derselben hin. Das besagt aber noch nicht, welchem der drei genannten Prozesse das Alter von 470 Mill. J. zugeordnet werden kann. Hierüber können wir nur indirekt Aufschlüsse erhalten.

b) Zum Alter der Granulitedukte anhand des Sr-Entwicklungsmodells

Vor 470 Mill. J. betrug das $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis aller Granulite des untersuchten Gebietes $0,7095 \pm 0,0026$. Das heutige mittlere $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis aber beträgt $0,76 \pm 0,02$ für alle Granulite zusammen und $0,91 \pm 0,08$ für die sauren Granulite von Hochgreding. In der Zeitspanne von 470 Mill. J. ist das $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis der Granulite allgemein um $0,050 \pm 0,02$ und für jene von Hochgeding um $0,20 \pm 0,08$ angestiegen. Vor dieser Zeit ist es aber seit der Entstehung der Gesteine maximal um 0,012 im Vergleich zum tiefsten bekannten $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis von 0,698 angewachsen.

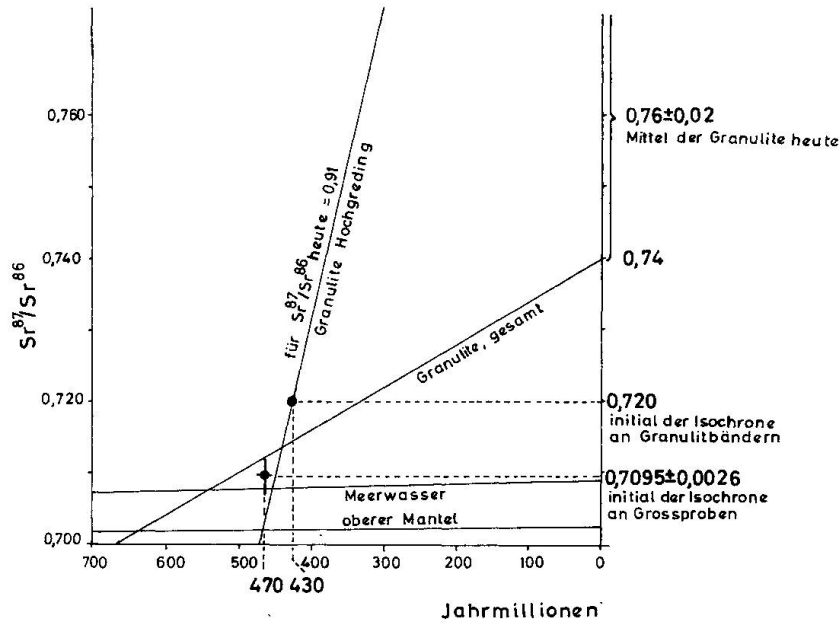


Fig. 5. $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Entwicklungsdiagramm für die Granulite.

Diese Verhältnisse können nach GRAUERT (1969) im $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Entwicklungsdiagramm (dort auch Compston-Jeffrey-Diagramm genannt) veranschaulicht werden. In dem in Fig. 5 dargestellten Zeit- $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Diagramm nimmt das $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis der Gesteine mit der Zeit stetig zu. Der hier in Betracht gezogene Zeitraum umfasst rund 500 Mill. J. und entspricht etwa $1/100$ der Halbwertszeit. Wir können deshalb die Zunahme an Sr^{87} hier als linear betrachten. Wir können demnach $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Entwicklungsgeraden ableiten, indem wir eine Gerade durch die Punkte ziehen, welche dem heutigen mittleren $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis und jenem vor 470 Mill. J. (d. h. initialem Verhältnis unserer Isochrone) entsprechen. Wir haben hier aber einen Relativfehler von ca. 20%, weshalb wir Bereiche möglicher Entwicklungslinien ableiten.

Als Referenzlinien sind im Diagramm Fig. 5 die Sr-Entwicklungslinie des Meerwassers und jene des Erdmantels nach ARMSTRONG (1968) eingetragen. Bringen wir nun die Entwicklungslinien der Granulite mit den beiden Referenzlinien zum Schnitt, kann der Schnittpunkt mit jener des Meerwassers das Alter der Sedimentation, der Schnittpunkt mit jener des Erdmantels das Alter eines magmatischen Ausgangsgesteins ergeben.

Das Modell setzt voraus, dass unsere Gesteine seit ihrer primären Bildung geschlossene Systeme geblieben sind. Das heisst, dass sie nach ihrer Bildung weder Sr untereinander ausgetauscht, noch radiogenes Sr^{87} verloren, noch ihre Rb/Sr-Verhältnisse irgendwann verändert haben. Ferner müssen sie zum Zeitpunkt ihrer Bildung ihr Sr mit der Umgebung (Meerwasser oder Gesteine des oberen Mantels) vollständig ausgetauscht haben.

Obwohl diese Voraussetzungen keine direkten Beweise zulassen, vermögen sie doch wertvolle Argumente zum Alter der Granulitgedekte zu geben.

Wären die Granulite sedimentären Ursprungs und die genannten Voraussetzungen erfüllt, ergäbe sich daraus ein Sedimentalter von rund 550 Mill. J. für die Edukte. Nun aber gehen wir dabei vom niedrigsten, mittleren $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis der analysierten Granulite (Mittel weniger 20%) aus, was das höchste Sedimentalter ergäbe. Ferner wären sedimentäre Granulitedukte mindestens teilweise klastisch gebildet worden. Sie dürften deshalb ihr Sr wohl kaum vollständig mit dem Meerwasser ausgetauscht haben. Vielmehr haben sie in ihrem klastischen Anteil wahrscheinlich radiogenes Sr^{87} mitgebracht. Das bedeutet, dass das Sedimentalter zu hoch wäre. Unser bestimmtes Sedimentalter wäre also in beiden Fällen ein Maximalalter, was bedeuten würde, dass sedimentäre Edukte der Granulite paleozoisch und nicht präkambrisch wären.

Nun könnten die Edukte aber präkambrisch abgelagert und paleozoisch verjüngt worden sein. Das wäre eine Verjüngung wie sie CLAUER (1970) an den Steigerschiefern der Vogesen bei schwacher Metamorphose nachwies. Eine solche Verjüngung könnte durch Sr-Austausch oder durch Verlust von radiogenem Sr^{87} erfolgen.

Einen einfachen Sr-Austausch im Grossbereich, ohne Verlust von radiogenem Sr^{87} aus dem Gesamtsystem, können wir ausschliessen. In diesem Falle müsste, bei den heutigen Rb/Sr-Verhältnissen der Granulite das initiale $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis der Isochrone viel höher sein.

Ein Verlust an radiogenem Sr^{87} müsste, da wir eine gute Isochrone erhalten, entweder vollständig, oder wenn teilweise, dann genau proportional zum Rb/Sr-Verhältnis aller Teilbereiche der Granulite erfolgt sein. Ob dies im Grossbereich und regional möglich ist, wissen wir noch nicht.

Eine weitere Möglichkeit der Verjüngung besteht darin, dass präkambrische Edukte ihr Rb/Sr-Verhältnis im Paleozoikum um das 20- bis 50-fache vergrössert hätten, was eine Rb-Zufuhr oder Sr-Wegfuhr verlangen würde. Eine solche chemische Umstellung in Grossbereichen bis zu 100 km² wurde bisher nicht beobachtet. Ferner beobachten LAMBERT und HEIER (1968) sowie HEIER und THORESEN (1971), dass die Konzentration des Rb mit zunehmender Tiefe in der Erdkruste und beim Übergang von der Amphibolitfazies zur Granulitfazies abnimmt. Das bedeutet Rb-Wegfuhr, also genau das Gegenteil.

Einfacher Sr-Austausch und Rb-Zufuhr oder Sr-Wegfuhr genügen in unserem Falle nicht, um die Isochrone an den Grossproben und die heutigen Rb/Sr-Verhältnisse der Granulite befriedigend zu erklären, wenn die sedimentären Edukte tief präkambrisch sein sollen. Sedimentäre Edukte dürften demnach nur dann präkambrisch sein, wenn sie ihr radiogenes Sr^{87} ganz oder genau proportional zum Rb/Sr-Verhältnis verloren haben; wobei ein solcher Verlust in regionaler Ausdehnung noch nicht nachgewiesen wurde. Wir möchten deshalb einem altpaleozoischen Alter sedimentärer Granulitedukte vorläufig den Vorzug geben.

Wären die Granulite magmatischen Ursprungs, könnte auf analoge Weise ein Alter von rund 650 Mill. J. für die Bildung der Edukte abgeleitet werden. Auch hier gehen wir vom niedrigsten, heutigen, mittleren $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnis aus, was das höchste Bildungsalter ergäbe. Ferner müsste das ganze Material vom oberen Erdmantel bezogen werden. Bei Zumischung von Krustenmaterial wäre auch hier radiogenes Sr^{87} hinzugekommen und damit wäre unser Bildungsalter zu hoch. Sowohl die Tatsache, dass die sauren Granulite im Feld überwiegen, als auch das relativ hohe, heutige Rb/Sr-Verhältnis, sprechen gegen eine vollständige Herkunft aus dem Erdmantel. Das Alter der Edukte wäre damit auch hier ein Maximalalter, und läge im Grenzbereich vom Präkambrium zum Paleozoikum.

Auch hier könnten die Edukte tief präkambrisch gebildet und paleozoisch verjüngt worden sein, wenn sie ihr radiogenes Sr^{87} verloren oder ihr Sr ausgetauscht hätten.

Einfacher interner Sr-Austausch kann auch hier wegen des initialen $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnisses ausgeschlossen werden.

Über die Verjüngung von magmatischen Gesteinen (Gesamtgesteine) findet man schon mehr Hinweise, als dies für sedimentäre Gesteine der Fall ist.

Wie JÄGER (1970), HANSON, GRÜNENFELDER und SOPTRYANOVA (1969) und HUNZIKER (1970) zeigten, werden Gesteine magmatischen Ursprungs für Rb und Sr nur selten zu offenen Systemen. Dies bei besonders inhomogenen Assoziationen wie Aplit und Nebengestein, oder in tektonisch aktiven Zonen, wie in den Stirnpartien der penninischen Decken in den Alpen. Diese Vorgänge sind jedoch relativ lokal und auf schmale Zonen beschränkt. Weitaus in den meisten Fällen geben die Gesamtgesteine, auch bei intensiver Metamorphose, wie im Lepontin der Alpen, ihr vormetamorphes Alter. Bei anatektischer Mobilisation allerdings werden die Gesteine auch für Rb und Sr zu offenen Systemen. Dies zeigten JÄGER und ZWART (1968) an den Graniten und Gneisen des Aston-Hospitalet Massivs in den Pyrenäen. Dort werden auch im Grossbereich Granite mit einem Entstehungsalter von 475 Mill. J. verjüngt auf ungefähr 300 Mill. J., dort, wo sie anatektisch remobilisiert wurden. Allerdings wurde keine vollständige Homogenisierung erreicht; auch nicht in den verjüngten Bereichen, denn die Werte der Analysen streuen um die jüngere Isochrone. In den Granuliten war aber die Homogenisierung vollständig.

Die Möglichkeit bestünde auch hier, dass ein tief präkambrisches magmatisches Edukt bei der granulitfaziellen Metamorphose eine 20- bis 50-fache Anreicherung an Rb oder einen entsprechenden Verlust an Sr erlitten hätte. Dagegen spricht, wie schon erwähnt, die Abnahme der Rb-Konzentration mit zunehmender Tiefe in der Erdkruste und mit zunehmender Metamorphose von der Amphibolitfazies zur Granulitfazies nach LAMBERT und HEIER (1968) und HEIER und THORESEN (1971).

Für magmatische Edukte könnte demnach das Sr-Entwicklungsmodell durchaus zutreffen. Das heisst, dass magmatische Edukte der Granulite nicht älter als der Grenzbereich zwischen Präkambrium und Paleozoikum sein dürften.

Sowohl für sedimentäre wie magmatische Edukte der Granulite lassen sich die Verhältnisse zwangloser deuten, wenn wir annehmen, dass sie vor rund 470 Mill. J., das heisst im Ordoviz entstanden sind.

2. Isochrone an Granulitbändern

Ein weiteres Ereignis liefert die Isochrone an Bändern der sauren Granulite von Hochgreding. Der Alterswert von rund 430 Mill. J. datiert auch hier die geochemische Fixierung von Rb und Sr, aber jetzt im Kleinbereich (Dezimeter bis Meter). Das heisst zugleich, dass nach dem Zeitpunkt von rund 470 Mill. J. das Sr im Kleinbereich noch einmal ausgetauscht und homogenisiert wurde. Ein Verlust an radiogenem Sr schliesst hier aus, weil sich das auch an den Grossproben, deren eine vom gleichen Ort stammt, manifestieren müsste. Ferner kann für das jüngere Alter dieser Isochrone nicht die variszische Verjüngung der Biotite verantwortlich gemacht werden, da das Rb^{87}/Sr^{86} -Verhältnis nicht parallel geht zum Biotitgehalt der Proben und die Analysenpunkte je einer biotitreichen und biotitarmen Probe innerhalb der Fehlergrenze zusammenfallen. Auch scheint das initiale Sr^{87}/Sr^{86} -Verhältnis von rund 0,72 höher zu sein als bei den Grossproben. Wir haben hier also durchaus das Bild eines einfachen Sr-Austausches bei einer Metamorphose.

Es stellt sich nun die Frage, ob diese 430 Mill. J. der granulitfaziellen Metamorphose oder einem späteren Ereignis, wie der retrograden Überprägung zugeordnet werden soll.

Die gebänderten Granulite von Hochgreding befinden sich im Innern eines grösseren Granulitkörpers. Sie zeigen zwar heute, dass sie einmal intensiv und penetrativ tektonisch durchbewegt wurden. Charakteristische retrograde Umwandlungen, wie Granat zu Biotit sind jedoch unbedeutend. Im Gegensatz dazu ist die randliche, nachgranulitische Überprägung der Granulitkörper stets von ungleich intensiverer retrograder Umwandlung zur Amphibolitfazies begleitet. Das legt den Schluss nahe, dass die Granulite von Hochgreding während der granulitfaziellen Metamorphose durchbewegt wurden, oder wenn nachträglich, dann ohne von wesentlichen Mineralreaktionen begleitet zu sein. Ein nachgranulitischer Sr-Austausch erscheint dadurch wenig wahrscheinlich.

Ferner geben die Kleinproben aus dem sächsischen Granulit nach JÄGER und WATZNAUER (1969) ein Alter von 437 ± 26 Mill. J., wobei sowohl die Proben aus dem Kerngranulit wie jene aus dem Randgranulit auf der gleichen Isochrone liegen. Vorläufige Resultate von Granulitbändern tschechischer Granulite geben ähnliche Alter.

Diese Ergebnisse und Beobachtungen deuten darauf hin, dass wir es hier nicht mit einem lokalen, auf bestimmte Zonen beschränkten Ereignis zu tun haben, sondern mit einem Ereignis von regionaler Bedeutung.

Wir geben daher der Zuordnung dieses Ereignisses vor 430 Mill. J. zur granulitfaziellen Metamorphose den Vorzug, was dieser Metamorphose ein ordovizisches bis silurisches Alter geben würde.

3. Die Einzelminerale

Die Rb-Sr-Resultate an Einzelmineralien aus zwei Gesteinen liefern keine vollständige Mineralisochrone. Sie zeigen aber, dass die variszische Metamorphose nicht ausreichte, um einen vollständigen Sr-Austausch zwischen den Einzelmineralien zu bewirken. Warum der Austausch bei beiden Proben verschieden intensiv war, ist aus der Petrographie nicht eindeutig ersichtlich. Das ist nicht neu, denn GRAUERT (1969) zeigte, dass in der Silvrettadecke in den Alpen die Rb-Sr-Analysen an Mineralien, auch bei starker Metamorphose, von Probe zu Probe verschiedene Altersresultate ergeben.

Die Alterswerte der Biotite mit 277 Mill. J. und 295 Mill. J. geben den Zeitpunkt der Abkühlung nach der variszischen Metamorphose und entsprechen den Biotitaltern nach JÄGER, GRÜNENFELDER, GRÖGLER und SCHROLL (1965) am Weinsberger und Mauthausener Granit.

Der Granat der Probe KAW 615 liegt unterhalb beider Isochronen. Ob hier Rb zugeführt oder radiogenes Sr weggeführt wurde, kann anhand der einzelnen Lage des Punktes nicht gesagt werden.

Der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung hat die vorliegende Arbeit finanziert, wofür wir zu grossem Dank verpflichtet sind. Frau Prof. Dr. E. Jäger hat diese Arbeit gefördert und das Manuskript durchgesehen. Wir danken ihr dafür ganz herzlich. Für anregende Diskussionen danken wir den Herren Dr. B. Gulson, Prof. Dr. E. Niggli und Dr. J. C. Hunziker, für die Mithilfe im Labor Herrn R. Brunner, R. Siegenthaler und Frau Ch. Zraggen.

LITERATURVERZEICHNIS

- ARMSTRONG, R. L. (1968): A Model for the Evolution of Strontium and Lead in a Dynamic Earth. *Reviews of Geophysics*, 6, 2, 175–199.
- BOFINGER, V. M. and COMPSTON, W. (1969): A reassessment of the age of the Hamilton Group, New York and Pennsylvania and the role of inherited radiogenic Sr⁸⁷. *Geochim. Cosmochim. Acta* 31, 2353–2359.
- CLAUER, N. (1970): Etude sédimentologique, géochimique et géochronologique des schistes de Steige et de la Serie de Ville-Voges. Thèse, 3e Cycle, Strasbourg.
- DAVIS, G. L. und SCHREYER, W. (1962): Altersbestimmungen an Gesteinen des ostbayerischen Grundgebirges und ihre geologische Deutung. *Geol. Rdsch.* 62, 146–169.

- GRAUERT, B. (1969): Die Entwicklungsgeschichte des Silvretta-Kristallins auf Grund radiometrischer Altersbestimmungen. Diss. Univ. Bern, München.
- HANSON, G. N., GRÜNENFELDER, M. and SOPTRAYANOVA, G. (1969): Geochronology of a Recrystallized Tectonite in Switzerland – the Roffna Gneiss. *Earth. Plan. Sci. Lett.* 5, 413.
- HEIER, K. S. and THORESEN, K. (1971): Geochemistry of high grade metamorphic rocks, Lofoten, Vesteralen. *Geochim. Cosmochim. Acta* 35, 89–99.
- HUNZIKER, J. (1970): Polymetamorphism in the Monte Rosa, Western Alps. *Eclogae geol. Helv.* 63, 151–161.
- JÄGER, E. (1970): Rb-Sr-Systems in Different Degrees of Metamorphism. *Eclogae geol. Helv.* 63, 163.
- JÄGER, E., GRÜNENFELDER, M., GRÖGLER, N. und SCHROLL, E. (1964): Mineralalter granitischer Gesteine aus dem österreichischen Moldanubikum. *Tschermarks min. petr. Mitt.* 10, 528–534.
- JÄGER, E. und WATZNAUER, A. (1969): Einige Rb-Sr-Datierungen an Granuliten des Sächsischen Granulitgebirges. *Mber. Dtsch. Akad. Wiss.* 11, 420–426.
- JÄGER, E. and ZWART, H. J. (1968): Rb-Sr Age Determinations of some Gneisses and Granites of the Aston-Hospitalet Massif (Pyrenees). *Geol. en Mijnbouw* 47, 349–357.
- LAMBERT, I. B. and HEIER, K. S. (1968): Geochemical investigations of deepseated rocks in the Australian shield. *Lithos* 1, 30–53.
- LIMBROK, H. (1923): Der Granulit von Marbach-Granz a. d. Donau. *Jb. Geol. B.-A.* 74, 139–182.
- MCJNTYRE, G. A., BROOKS, C., COMPSTON, W. and TUREK, A. (1966): The Statistical Assessment of Rb-Sr-Isochrons. *J. Geophys. Res.* 71, 5459–5468.
- SCHARBERT, H. G. (1957): Zur Regelung des Disthens in einem niederösterreichischen Granulit. *N. Jb. Min. (Mh)*, 40–47.
- (1962): Die Granulite der südlichen Böhmisches Masse. *Geol. Rdsch.* 52, 112–123.
- (1963): Die Granulite des südlichen niederösterreichischen Moldanubikums, I. Teil. *N. Jb. Min. (abh.)*, 100, 59–86.
- (1964a): Die Granulite des südlichen niederösterreichischen Moldanubikums, II. Teil. *N. Jb. Min. (Abh.)*, 101, 27–66.
- (1964b): Die Granulite des südlichen niederösterreichischen Moldanubikums, III. Teil. *N. Jb. Min. (Abh.)*, 101, 210–231.
- (1965): Zum Granulitproblem im niederösterreichischen Moldanubikum. *Freib. Forsch.-H.* c 190, 63–70.
- SMEJKAL, V. (1960): The Absolute Age of some Igneous and Metamorphosed Rocks of the Bohemian Massif determined by the Potassium-Argon Method. *Vest. Ustr. ust. geol.* 35, no. 6, 441–449.
- (1964): The Absolute Age of some Igneous and Metamorphosed Rocks of the Bohemian Massif determined by the Potassium-Argon Method (Part II). *Sborn. Geol. Ved.* 64, 121–136.
- SUESS, F. E. (1926): *Intrusionstektonik und Wandertektonik im variszischen Grundgebirge.* Bornträger, Berlin.
- VEJNAR, Z. (1971): Grundfragen des Moldanubikums und seine Stellung in der Böhmisches Masse. *Geol. Rdsch.* 60, 1455–1465.
- ZOUBEK, V. (1965): Moldanubikum und Stellung im geologischen Bau Europas. *Freib. Forsch.-H.*, C 190, 129.
- (1969): Age relations in metamorphic terrains of the Bohemian Massif: Some Methods and Results. *Geol. Ass. Canada, Spec. Paper* 5, 73–81.

Manuskript eingegangen am 29. Dezember 1972.