

Abteilung für Isotopengeologie, Mineralogisch-Petrographisches Institut
der Universität Bern, Schweiz

Die permische Differentiation und die alpidische Metamorphose des Granitgneises von Wolfsberg, Koralpe, SE-Ostalpen, mit Rb-Sr- und K-Ar-Isotopenbestimmungen

W. Morauf

Mit 5 Abbildungen

Eingegangen am 11. Mai 1979;

angenommen am 30. Januar 1980

Zusammenfassung

Der Granitgneis von Wolfsberg, Koralpe, Kärnten, konnte mit einer Rb-Sr-Gesamtgesteins-isochrone als jungpermisch mit 258 ± 11 M. J. bestimmt werden, mit einem initialen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von $0,7046 \pm 0,0028$. Die alpidische Metamorphose wird durch Mineralabkühlalter an Hellglimmern und Biotiten eindeutig belegt: Hellglimmer: Rb-Sr: 80 und 79 ± 3 M. J.; K-Ar: 78 und 75 ± 3 M. J. Biotite: Rb-Sr: $77-73 \pm 3$ M. J.; K-Ar: 80 ± 3 M. J. (5, bzw. 3 Proben).

Von den Hellglimmern wird zum ersten Mal für Österreich eine reine 3-T-Modifikation beschrieben. Die mehrphasige Geschichte des Granitgneises und seine tektonische Position werden diskutiert.

Stichworte: Altersbestimmungen: Rb-Sr, K-Ar; 3-T-Hellglimmer; permischer Granit; alpidische Metamorphose; Koralpe; Wolfsberg; SE-Österreich; Ostalpen.

Summary

Permian Differentiation, Alpidic Metamorphism, Rb-Sr and K-Ar Isotopic Data of the Wolfsberg Granite Gneiss, Koralpe, Southeastern Alps

The Rb-Sr-whole rock isochron of the granite gneiss of Wolfsberg (Koralpe, Carinthia, Austria) yields an age of 258 ± 11 my, with an initial ratio of 0.7046 ± 0.0028 . The mineral cooling ages provide conclusive proof for the Alpidic metamorphism:

White micas: Rb-Sr: 80 a. 79 ± 3 my; K-Ar: 78 a. 75 ± 3 my. Biotites: Rb-Sr: $77-73 \pm 3$ my; K-Ar: 80 ± 3 my (5, resp. 3 samples).

The 3-T-modification of a white mica is reported for the first time from Austria. The polyphase history of the granite gneiss and its tectonic position are discussed.

Keywords: Age determination; Rb-Sr, K-Ar; 3-T-white mica; Permian granite; Alpidic metamorphism; Koralpe; Wolfsberg; SE-Austria; Eastern Alps.

1. Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist der erste Teil meiner Dissertation bei Frau Professor *E. Jäger* in Bern. Die geochronologische Bearbeitung von Koralpe und Saualpe ist das Ziel dieser Dissertation. In dieser Arbeit wird nur der Granitgneis besprochen.

2. Einleitung

Aus dem Altkristallin der Koralpe ist das tektonische Fenster von Wolfsberg seit *Kieslinger* (1926–1928) bekannt. Er beschreibt Gesteine der mittleren Tiefenstufe, aber keinen Granitgneis. Dieser wurde von *Beck-Mannagetta* (1949, im Weiteren *Beck-M.*) beschrieben, als Mikroklinaugengneis. Die Wolfsberger Serie als Hangendes des Granitgneises und ihre tektonische Entwicklung in drei Phasen wurde von *Beck-M.* (1951) dargelegt. Der Ausbiß des Granitgneises erstreckt sich von Wolfsberg im Lavanttal/ Kärnten in Richtung SE knapp 5 km bis kurz vor Rieding/Koralpe. Seine größte Breite beträgt nahe Rieding etwa 1,5 km. Zur Abklärung der Verhältnisse zu den Rahmengesteinen wurde der Granitgneis im Maßstab 1 : 10 000 kartiert.

3. Geologisch-petrographische Beschreibung

3.1 Feldbeobachtungen

Der langgestreckte Ausbiß des Granitgneises (vgl. Kartenskizze, Abb. 1) liegt mit seinem NW-Teil sehr nahe der Lavanttaler Störungszone (*Kieslinger*, 1928b). Das generelle Streichen der *s*-Flächen im Granitgneis (010–030) (= Plattengneis-Lineation) und in den Rahmengesteinen (140–160) steht schräg aufeinander. Die Grenze zwischen Granitgneis und Rahmengesteinen, beim Krieglbach und Höllerbach nachweisbar, fällt flach nach S ein und wird gegen S steiler (vgl. Kartenskizze Feld F/5 und F/4). Diese Grenze ist mit sehr großer Wahrscheinlichkeit tektonisch. Im Gegensatz zum Granitgneis zeigen die Rahmengesteine vor allem die jüngere Lineation und die jüngeren *s*-Flächen. Der SW-Rand des Granitgneises wird fast immer von nahezu saigeren Störungen gebildet.

Der Granitgneis ist im ganzen Ausbiß vergneist. Die welligen Flächen fallen mit 280–300/25–45* ein und treten entsprechend der Glimmerführung verschieden stark hervor. Auf diesen Flächen sind die Glimmer in W–E-Richtung gelängt, oder die Achsen der Feinfältelung streichen W–E (*Beck-M.*, 1951, und eigene Messungen). Durch unterschiedliche Ausbildung vor

* Gemessen mit 2-Kreis-Kompaß, System Clar.

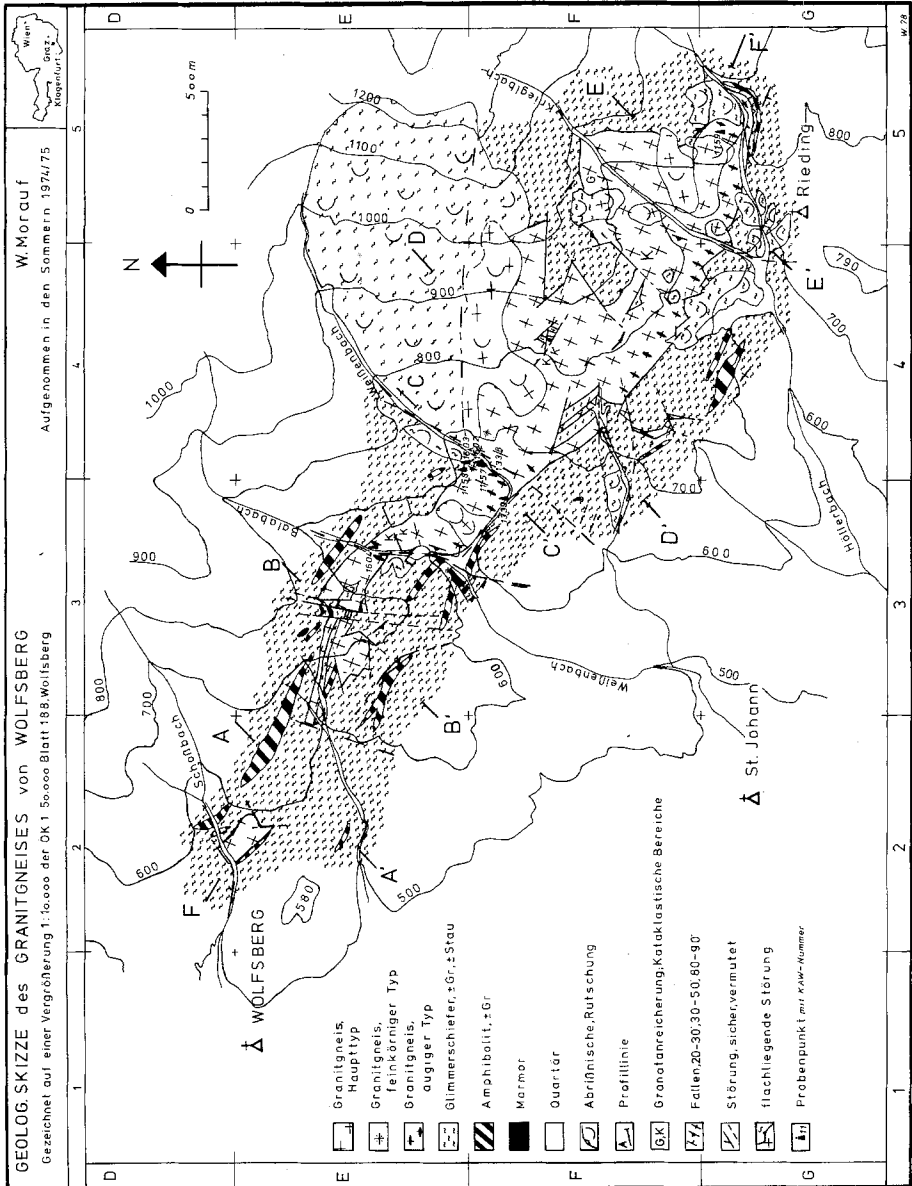


Abb. 1. Geologische Skizze des Granitgneises von Wolfsberg, aufgenommen im Maßstab 1:10000

der Metamorphose sowie durch verschiedene alpidische Beeinflussung zeigt der Granitgneis verschiedene Typen, die ineinander übergehen. Es lassen sich vier Typen unterscheiden: Normaltyp, Augentyp, feinkörniger Typ und sehr stark vergneister Typ. Diese Reihenfolge bringt auch die relativen Häufigkeiten zum Ausdruck.

Der *Normaltyp* ist gleichkörnig mit Korngrößen von 1–3 mm für Feldspäte und Quarz. Nur im Gebiet NW des Kriegelbaches (Kartenskizze Feld F/4) liegt die Korngröße bei gleichem Erscheinungsbild zwischen 2 und 15 mm. Die Glimmerflecken erreichen bis 5 mm und liegen ohne Zusammenhang auf der leicht welligen Fläche. Die Glimmerflecken selbst erscheinen gebogen.

Der *Augentyp* tritt in der Nähe des SW-Randes des Ausbisses auf. Die inhomogenen Augen sind 1–4 cm groß (Schnitt a–c) und bestehen aus Kalifeldspat und Plagioklas. Die Häufigkeit der Augen schwankt: der Abstand zum nächsten Auge kann in allen drei Richtungen zwischen 2 und 50 cm betragen. Die Richtung der größten Längen der Augen streicht $010-030^\circ/0-20^\circ$. Das durchschnittliche heutige Achsenverhältnis ist $a : b : c = 1 : 4 : 0,75$. Es kann maximal $1 : 15 : 0,5$ betragen. Die Glimmer bilden zusammenhängende Lagen, die die Augen umfließen.

Der *feinkörnige Typ* erscheint am geringsten vergneist. Er steht am mächtigsten im Tal des Weissenbaches in einer Höhe von 750 m NN an. Nur an einem großen Handstück ist die Regelung der Glimmer erkennbar. Die Korngröße von Quarz und Feldspat beträgt ca. 0,3–1,0 mm.

Der sehr *stark vergneist* erscheinende *Typ* tritt nur in Lesesteinen auf und ist nicht sicher verfolgbar. Die welligen Glimmerlagen (vorwiegend Biotit) sind eng geschart und können bis 5 mm dick werden.

Aplit-Gänge sind selten und konnten nur im Normaltyp und Augentyp gefunden werden. Die Mächtigkeit schwankt zwischen 2 und 30 cm. Die homogenen Apliten zeigen keinen Abschreckungsrand.

3.2 Beobachtungen unter dem Mikroskop

Durch die zweiaktige Vergneisung (vgl. 3.1) ist nur im feinkörnigen Typ das magmatische Gefüge noch deutlich erkennbar. In allen anderen Typen ist das Gefüge granoblastisch bis grano-lepidoblastisch und als Rekristallisationsgefüge zu erklären.

Die Untersuchungen mit dem Mikroskop ergaben für alle Typen eindeutige Hinweise auf mehrphasiges Geschehen. Eine Beanspruchung bei tieferen Temperaturen wird angezeigt durch undulösen Quarz, der in Teilbereiche zerlegt ist, durch verzwilligten Myrmekit-Feldspat, durch verbogene Zwillingslamellen in manchen Oligoklasen sowie durch Knick-Bänder (*Spry*, 1968) in den Glimmern und im Chlorit. Im Augentyp ist noch – auf Streifen beschränkt – schwache Kataklyse der Feldspäte zu sehen. Im Schliff läßt sich die mehrphasige Entwicklung am besten an den

Glimmern beobachten. In Abb. 2 ist der seltene Fall gezeigt, daß beide Biotit- und beide Hellglimmer-Generationen gemeinsam nebeneinander zu sehen sind.

Die Entmischung des Ti im magmatischen Biotit gefolgt von Hellglimmer I-Wachstum (3-*T*-Modifikation, vgl. 4) und neuem Ti-ärmeren Biotit zeigt deutlich die zwei verschiedenen Phasen des Mineralwachstums, die den beiden *s*-Flächen folgen. Der zweite Hellglimmer (sehr wahrscheinlich 2-*M*-Modifikation) ist eindeutig nicht an das *s*-Flächengefüge gebunden, sondern wächst wirt an den vorhandenen Glimmern auf, oder an den Korngrenzen von Feldspäten. Die im Schliiff beobachtbaren Phasen sind mit den Isotopen-Untersuchungen nicht zu trennen (vgl. 5.2.2, 5.2.3, 6); dies ist ausführlicher in *Morau*f (1979) dargelegt.

Im Streckeisen-Diagramm fällt der Granitgneis ins Granitfeld. Auf Grund der Turmalinführung ist der Granitgneis von Wolfsberg als turmalinführender Granitgneis zu bezeichnen.

4. Modifikation der Hellglimmer

Bei der routinemäßigen Untersuchung der Hellglimmerkonzentrate mit der Guinier-Kamera nach DeWolff ($KFe\alpha$, 5 Stunden) stellte sich heraus, daß der farblose Hellglimmer I aus dem feinkörnigen Typ (KAW 1157) ein reiner 3-*T*-Glimmer ist. Aus dem Augentyp (KAW 1159) zeigt das farblose Hellglimmerkonzentrat eine Mischung von 3-*T* und 2-*M*-Modifikation. Die Bestimmung der Modifikation erfolgte mit Quarz als internem Standard an Hand folgender Linien: 3-*T*: 3,33, 2,88, 2,49 Å (*Axelrod* und *Grimaldi*, 1949); 2-*M*: 3,48, 3,19, 2,98, 2,78, 2,14 Å (*Gueven*, 1971; *Gueven* und *Burnham*, 1967). Vom feinkörnigen Typ zum Augentyp ändert das Verhältnis von 3-*T* zu 2-*M* von 1 : 0 auf 1 : 1.

Mit der Einbettungsmethode (Cargylle-Flüssigkeiten, Na-Licht) wurde an losen Glimmerplättchen der Probe KAW 1157 $\frac{n_y + n_a}{2} = 1,617 \pm 0,002$

bestimmt. Nach *Troeger* (1971) entspricht dies etwa dem n_y von eisenreichen Muskoviten. Die Doppelbrechung in Schnitten \perp (0001) gemessen mit dem Kalkspatkompensator schwankt zwischen 0,010 und 0,014, und ist damit kleiner als für 2-*M* angegeben (*Troeger*, 1971). Das ist in gewisser Übereinstimmung mit *Axelrod* und *Grimaldi* (1949), die feststellten, daß 3-*T*-Muskovite mit abnehmendem $2V$ auch abnehmende Doppelbrechung hatten. Der Achsenwinkel beträgt zwischen 0° und 2°.

Beran (1969) gibt eine Zusammenstellung der bis dahin untersuchten Phengite Österreichs und beschreibt nur 2-*M*₁-Modifikationen. Es ist somit die 3-*T*-Modifikation eines Hellglimmers erstmals in Österreich festgestellt worden.

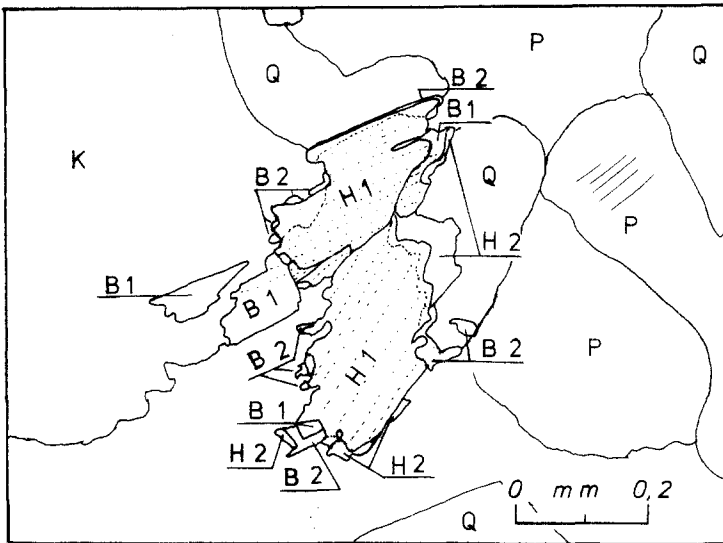
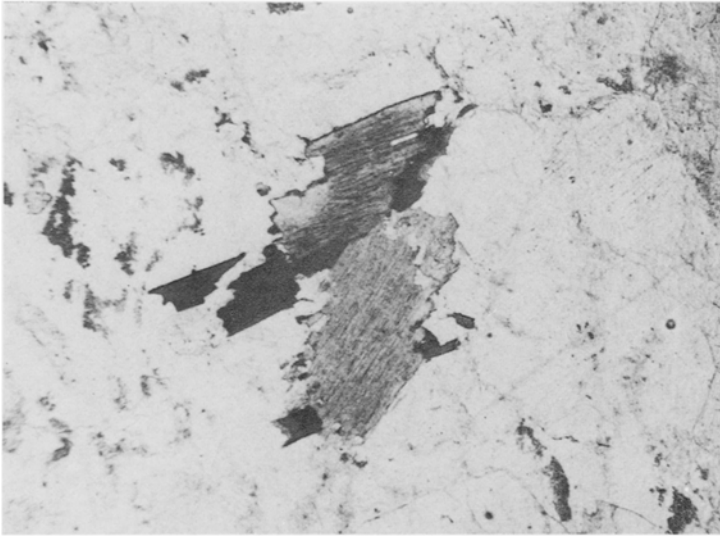


Abb. 2. Schliffphoto und Zeichnung der Glimmer von KAW 1157. Es sind zwei Generationen Biotit und zwei Generationen Hellglimmer zu sehen. Biotit-I (*B1*) wird durch Hellglimmer (*H1*) ersetzt, der weiter wächst. Beide werden von Biotit-II (*B2*) überwachsen. Als letztes wächst noch feinfilziger Hellglimmer-II (*H2*) auf allen älteren Glimmern auf. Die umgebenden Minerale sind Kalifeldspat (*K*), Plagioklas (*P*) und Quarz (*Q*)

5. Ergebnisse der Isotopenbestimmungen

5.1 Methoden und Konstanten

5.1.1 Rb–Sr

Die Isotopenverhältnisse von Rb und Sr wurden auf einem AVCO-Massenspektrometer mit 3-Band Ionenquelle gemessen. Für die Messungen (on line) und die Berechnungen stand anfangs ein PDP-8 Rechner zur Verfügung (Brunner, 1973), später ein PDP-11 Rechner.

Die Berechnung der Isochrone erfolgte nach Brooks et al. (1972). Es wurde für die Berechnung der Isochrone ein Punktfehler von $\pm 2\%$ für das $87\text{ Rb}/86\text{ Sr}$ -Verhältnis und von $\pm 0,3\%$ bei den $87\text{ Sr}/86\text{ Sr}$ -Verhältnissen eingesetzt.

Alle Glimmer-Alterswerte sind mit dem entsprechenden Gesamtgestein korrigiert. Der Fehler auf dem Alterswert wird mit $\pm 4\%$ angenommen. Folgende Konstanten (Steiger und Jäger, 1977) wurden verwendet:

Rubidium:	Zerfallskonstante $1,42 \times 10^{-11}$ Jahre $^{-1}$ 85 Rb/87 Rb = 2,59265
Strontium:	86 Sr/88 Sr = 0,1194 (= 88 Sr/86 Sr von 8,3752) 87 Sr/86 Sr = 0,71014 84 Sr/86 Sr = 0,056584

Alle Verhältnisse sind Atomverhältnisse !

5.1.2 K–Ar

Für die Argon-Analysen stand ein GD-150 Massenspektrometer von Varian Mat zur Verfügung. Die Argon-Extraktion erfolgte in einer Glasapparatur (Hunziker, 1974). Für den Standard Muskovit 4-M-Bern wurde ein Gehalt an radiogenem ^{40}Ar von $6,31 \times 10^{-6}$ cm 3 /g STP angenommen; bezogen darauf wurde für den Standard Muskovit P207 des USGS $27,86 \pm 0,33 \times 10^{-6}$ ^{40}Ar radiogen cm 3 /g STP über den Zeitraum der Messungen bestimmt. Luftargon wurde im gleichen Zeitraum mit 295,5 für $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ und mit 0,184 für $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ mit einer Schwankung von $\pm 0,6\%$ gemessen (vgl. Hunziker, 1974).

Der 2-Sigma-Fehler auf dem Alterswert wird mit $\pm 4\%$ geschätzt. Argonbestimmungen an der gleichen Probe stimmen innerhalb von 1,2% überein. An Konstanten wurde verwendet (Steiger und Jaeger, 1977):

$\lambda_{e^-} + \lambda'_{e^-}$	= $0,581 \times 10^{-10}$ Jahre $^{-1}$
λ_{β^-}	= $4,962 \times 10^{-10}$ Jahre $^{-1}$
^{40}K in K	= 0,01167 Atomprozent

Die Bestimmung des Gehaltes an K erfolgte flammenphotometrisch.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Rb-Sr-Gesamtgesteinsergebnisse

Die Analysendaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die 8 Großproben, die teilweise unter Einsatz von Sprengungen gewonnen wurden, beinhalten den Normaltyp, den feinkörnigen Typ und den Augentyp. Vom sehr stark vergneisten Typ konnte keine Probe gesammelt werden. Alle Proben erscheinen im Handstück frisch.

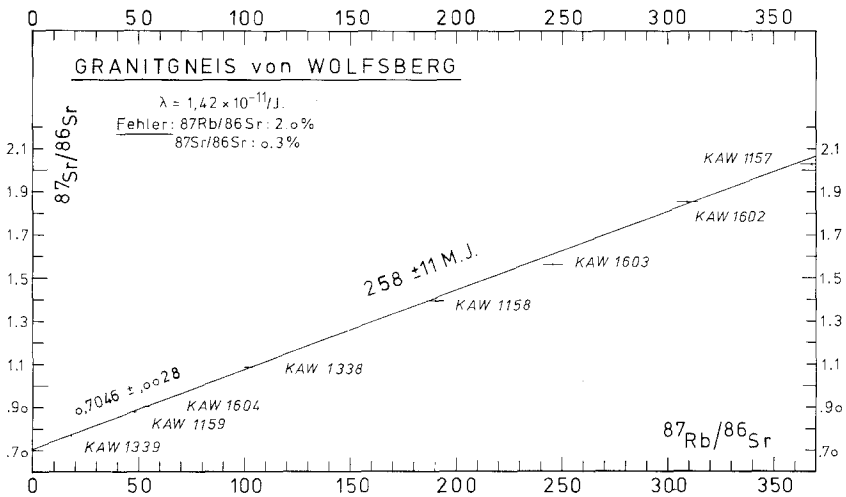


Abb. 3. Gesamtgesteins-Isochrone des Granitgneises von Wolfsberg. Zur Berechnung der Geraden wurden nur sechs Punkte verwendet (s. 5.2.1), der Geraden entspricht ein Alterswert von $258 \pm 11 \text{ M.J.}$ und gibt ein Anfangsverhältnis für $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ von $0,7046 \pm 0,0028$

Im Sr-Entwicklungsdiagramm (Abb. 3), dem Nicolaysendiagramm (Nicolaysen, 1961), ergeben 6 Punkte eine Gerade, der ein Alterswert von $258 \pm 11 \text{ M.J.}$ entspricht, und deren Schnittpunkt mit der Ordinate ergibt einen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Anfangswert für den Granitgneis von $0,7046 \pm 0,0028$. Zwei Punkte fallen außerhalb des Fehlers der Geraden; werden sie in die Isochronen-Berechnung einbezogen, so bleibt der Alterswert innerhalb des Fehlers der 6-Punkt-Isochrone, es ist aber statistisch keine Isochrone mehr. Daß KAW 1157 und KAW 1603 nicht mit auf der Geraden liegen, kann folgende Gründe haben: 1. Die beiden Proben haben nicht so lange wie die anderen mit dem vorher entstandenen Magma ausgetauscht und haben daher ein tieferes initiales $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis; 2. während der alpidischen Metamorphose wurde das $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis vergrößert, entweder durch

Tabelle 1. Rb-Sr-Analyseresultate von Gesamtgesteinen und Glimmern des Granitgneises von Wolfsberg

Proben Nr. KAW	Lokalität Gesamtgestein/ Mineral Korngröße in μ	^{87}Rb ppm	^{87}Rb rad. ^a ppm	% rad. ^a	gew. ^b Sr ppm	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Alter, Fehler in Mio. Jahren	Isochronalter od. korr. ^c Glimmer- Alter, Fehler in Mio. Jahren
1157	Grabenauer, A Gesamtgestein	186,3	0,6685	65,05	5,172	2,032	368,3	252 ± 10	—
1157	Grabenauer, A Biotit < 53	1325,0	1,4840	98,22	0,3872	39,89	34972,0	79 ± 3	77 ± 3
1157	Grabenauer, A Biotit 74–149	1289,0	1,4700	96,81	0,6981	22,24	18876,0	80 ± 3	77 ± 3
1157	Grabenauer, A Phengit 74–149	994,7	1,1933	95,25	0,8576	14,93	11857,0	84 ± 3	79 ± 3
1158	Grabenauer, B Gesamtgestein	175,1	0,6283	49,03	9,407	1,393	190,4	252 ± 10	258 ± 11
1159	Rieding Gesamtgestein	113,8	0,4073	19,54	24,160	0,8822	48,17	252 ± 14	258 ± 11
1159	Rieding Biotit 149–177	650,4	0,7281	71,19	4,243	2,464	1567,0	79 ± 3	73 ± 3
1159	Rieding Phengit 53–420	465,7	0,5590	74,70	2,726	2,806	1746,0	85 ± 3	80 ± 3
1338	Vordergumtsch Gesamtgestein	143,7	0,5316	34,76	14,36	1,088	102,3	262 ± 11	258 ± 11
1339	Grabenauer, C Gesamtgestein	79,71	0,2695	7,99	44,65	0,7716	18,25	238 ± 39	258 ± 11
1339	Grabenauer, C Biotit 149–177	469,00	0,5146	64,92	4,005	2,020	1197,0	77 ± 3	75 ± 3
1602	Grabenauer, D Gesamtgestein	179,7	0,6602	61,71	5,898	1,855	311,5	258 ± 10	258 ± 11
1603	Grabenauer, E Gesamtgestein	174,8	0,6057	54,71	7,217	1,568	247,6	244 ± 10	—
1604	Balabach Gesamtgestein	118,6	0,4230	21,62	22,07	0,9061	54,95	250 ± 21	258 ± 11

^a rad. = radiogen, ^b gew. = gewöhnliches; ^c kor. = mit dem Gesamtgestein korrigierter Alterswert.

Rb-Zufuhr oder Sr-Abfuhr; 3. geringfügige Verwitterung, die im Handstück und Schliff nicht zu sehen ist, hat selektiv radiogenes $^{87}\text{Sr}^{2+}$, das ja an Plätzen des $^{87}\text{Rb}^+$ sitzt, gelöst und dadurch das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis gesenkt; 4. metasomatische Zufuhr von Rb in einen Rb-armen Granit hat nicht alle Teile gleich erfaßt (vgl. 5.2.1.1). Die erste Möglichkeit wird als die wahrscheinlichste betrachtet.

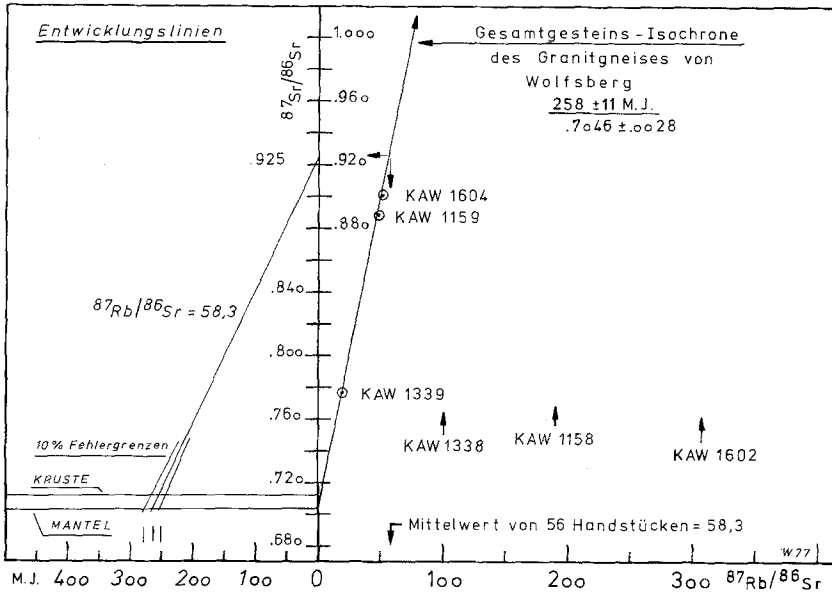


Abb. 4. Compston-Jeffery-Diagramm zur Darstellung der Entwicklungslinien des Granitgneises, der Kruste und des Mantels, um das älteste und jüngste mögliche Alter des Granites festzustellen

Mit dem Compston-Jeffery-Diagramm (Abb. 4) läßt sich zeigen, daß der Granit mit den heute vorliegenden Rb/Sr-Verhältnissen schon bei $263 \pm 18, -11$ M. J. das minimal mögliche $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis des Mantels erreicht.

Ausgehend vom $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Mittelwert von 56 Handstücken (RFA-Bestimmung) von 58,3 ergibt sich über die Isochrone ein heutiges $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von 0,925. Von diesem Verhältnis ausgehend wird nun der Schnittpunkt der Entwicklungslinie des Granitgneises mit denen von Mantel und Kruste berechnet. Der Schnittpunkt mit dem Mantel liegt bei 263 M. J., der mit der Kruste bei 252 M. J.; beide also innerhalb des Fehlers der Isochrone. Die Fehlergrenzen, sie entsprechen den 10% der semiquantitativen RFA-Bestimmung, erhöhen den möglichen Altersbereich auf 281 bis

251 M.J. Auf Grund des niedrigen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses ist es jedoch sehr unwahrscheinlich, daß Krustenursprung oder Krustenbeteiligung vorliegt (vgl. 5.2.1.1). Das gilt unter der Voraussetzung, daß die Rb/Sr-Verhältnisse magmatischen Ursprungs sind und eines seither geschlossenen Systems für Rb und Sr.

Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Anfangsverhältnis (Initial) von 0,7046 könnte ja schon dem Sr-Verhältnis des Mantels zu dieser Zeit entsprechen. Auf alle Fälle deutet es auf ein Ausgangs-Milieu mit niedrigem Rb/Sr-Verhältnis hin. Der Granitgneis selbst zeigt jedoch ein ungewöhnlich hohes $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von 58,3 (Mittel). Der hochdifferenzierte Granit muß also in relativ kurzer Zeit von dem Rb-armen und Sr-reichen basischem Milieu abfraktioniert worden sein, da ansonst bei den hohen Rb-Gehalten des Granites das tiefe $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von 0,7046 nicht erhalten geblieben wäre. Dies ist ein Hinweis darauf, daß die Isochrone von 258 ± 11 M.J. als Bildungsalter zu interpretieren ist und nicht als permisches Metamorphosealter. Bei einer Metamorphose, die das Gesamtgestein beeinflusst, sind auf Grund der hohen Rb-Gehalte viel höhere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zu erwarten.

Die vorgelegten Daten deuten darauf hin, daß der Granitgneis das Ergebnis einer Differentiation ist, während der das Magma nicht mit Krustenmaterial kontaminiert wurde.

5.2.1.1 Mischungsdiagramm. Ergeben die Analysenpunkte in diesem Diagramm ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ gegen $1/^{86}\text{Sr}$ ppm) eine Gerade, so ist nach *Bernhard-Griffiths* (1975) dies ein Hinweis auf eine Mischung zweier Gesteine. Der Schnittpunkt mit der Ordinate wäre dann eine gute Näherung an das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis des tieferen Mischungspartners.

Trägt man nun die Werte des Granitgneises ins Mischungsdiagramm (Abb. 5) ein, so ergibt die Berechnung eine Gerade mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,9989 und mit einem Schnittpunkt mit der Ordinate von 0,584. Das ist ein Wert, der weit unterhalb des tiefsten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses für Meteoriten von 0,6989 liegt (*Papanastassiou und Wasserburg*, 1969), daher ist ein Mischungspartner mit einem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von 0,584 unmöglich.

Gegen eine Erklärung dieser Geraden als Mischungsgerade sprechen folgende Punkte:

1. Es liegt ein stark differenzierter Granit vor, der kaum als Mischung erklärt werden kann (vgl. 5.2.1), wie auch die Gehalte an Rb, B und U hoch sind.
2. Der untere Mischungspartner müßte ein Gestein (Milieu) sein, das gleichzeitig ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis zwischen 0,6989 und 0,7046 hätte und zugleich nicht mehr als 60 ppm Sr enthalten dürfte. Diese Bedingungen werden fast nur von ultrabasischen und einigen basischen Gesteinen erfüllt (*Faure*, 1977, 1978); ein solcher Mischungspartner ist bei diesem sauren Granit jedoch nicht möglich.

3. Bei genauer Darstellung zeigt es sich, daß trotz guter Korrelation mehr Punkte außerhalb des Fehlers der Geraden liegen als innerhalb. Es ist somit festzuhalten, daß bei einem hochdifferenzierten Granit, dessen Rb/Sr-Verhältnisse sehr wahrscheinlich auf Fraktionierung zurückzuführen sind, im Mischungsdiagramm sich dennoch eine rechnerische Gerade ergibt. Die Möglichkeit, daß ein Rb-armer variszischer Granit eine permische Rb-Metasomatose erfahren hat, liegt im Bereich des Möglichen, wenn man die magmatische und vulkanische Aktivität dieses Zeitabschnittes berücksichtigt. Es ist jedoch nicht möglich, dies mit einem Sr-Mischungsdiagramm zu beweisen oder zu verneinen.

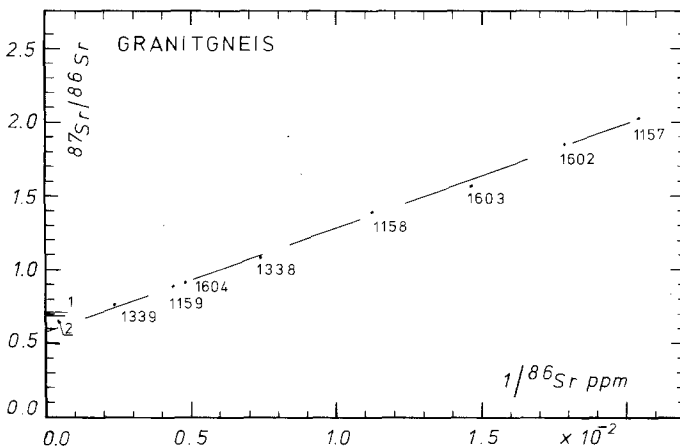


Abb. 5. Mischungs-Diagramm für die Sr-Isotopen der Granitgneisproben. Die gezeichnete Linie ist keine Mischungsgerade. Näheres siehe Text

5.2.2 Rb-Sr-Ergebnisse der Glimmer

Die Analysendaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Zwei Hellglimmer I-Konzentrate (KAW 1157,3-T; KAW 1159,3-T + 2-M) und fünf Biotitkonzentrate unterschiedlicher Korngröße (vgl. Tabelle 1) wurden untersucht.

Der Mittelwert der Biotite liegt bei 76 ± 3 M.J. (max. 77, min. 73 M.J.). Die verschiedenen Biotitkonzentrate enthalten entweder nur Biotit-I oder führen ca. 3% Biotit-II: KAW 1159, Bi < 149μ .

Die Hellglimmeralter liegen zwar, wie man erwarten sollte, höher: 80 und 79 ± 3 M.J., sind jedoch innerhalb der Fehlergrenzen nicht von den Biotit-Alterswerten zu unterscheiden.

Hellglimmer- und Biotit-Alterswerte werden als Abkühlalter verstanden. Das ergibt sich einerseits aus der Abfolge der Glimmergenerationen (vgl. 3.2) und andererseits aus dem Auftreten von Chloritoid und Staurolith in den Glimmerschiefern, die darüber liegen (*Kieslinger*, 1926–1928, *Beck-M.*, 1951). Die Schließungstemperatur für Hellglimmer ist damit sicher erreicht und überschritten worden: Diese Alterswerte zeigen somit alpidische Amphibolith-Fazies an. (Ausführlicher in *Morau*f, 1979, unveröffentlicht.)

Tabelle 2. *K-Ar-Analysenresultate von Glimmer des Granitgneises von Wolfsberg*

Proben Nr.	Lokalität Mineral	^{40}Ar rad. ^a $\times 10^{-6}$ cm ³ /g	%rad. ^a	% K	$^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar} \times 10^3$	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	Alter, Fehler in Mio. J.
KAW	Korngröße in μ	STP					
1157	Grabenbauer, A Biotit 74–149	25,52	84,40	7,97	334,0	1895,0	80 \pm 3
1157	Grabenbauer, A Phengit 74–149	26,51	68,06	8,84	141,9	925,0	75 \pm 3
1159	Rieding Biotit 149–177	25,14	83,17	7,87	306,0	1757,0	80 \pm 3
1159	Rieding Phengit 53–420	28,36	72,27	8,87	161,2	1066,0	80 \pm 3
1339	Grabenbauer, C Biotit 149–177	22,89	92,40	7,50	788,0	3889,0	76 \pm 3

^a rad. = radiogen.

5.2.3 K-Ar-Ergebnisse der Glimmer

Die Analysendaten sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Es wurden beide Hellglimmer-I-Konzentrate, aber nur drei der fünf Biotitkonzentrate untersucht (vgl. Tabelle 2).

Die scheinbaren Alterswerte der Biotite sind höher als die entsprechenden Rb-Sr-Alterswerte, aber immer noch innerhalb des Fehlers gleich (vgl. Tabelle 1 und 2).

Wie bei den Biotiten sind die K-Ar-Alterswerte der Hellglimmer (vgl. Tabelle 2) innerhalb der Fehler gleich den Werten der Sb-Sr-Bestimmungen. Die Alterswerte der K-Ar-Bestimmungen werden ebenso wie Rb-Sr-Alterswerte als Abkühlalter verstanden, wobei eine geringe Menge ^{40}Ar -Überschuß möglich ist.

6. Diskussion

Mit den vorliegenden Daten läßt sich die Entwicklung des Granitgneises wie folgt darstellen:

Abtrennen des granitischen Magmas über mehrere Stufen von einem basischen Magma. Keine Angaben über die Zeitdauer möglich; die Differentiation muß aber innerhalb des Zeitraumes von 282 bis 251 M.J. stattgefunden haben (vgl. Abb. 3). Während der Differentiation wurden Rb, U und B angereichert.

Ende des Austausches der Rb- und Sr-Isotopen bei 258 ± 11 M.J. Es ist mit einiger Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß die Intrusion innerhalb des Zeitraumes des Fehlers der Isochrone erfolgte. Das Magma kristallisierte mit magmatischem Gefüge aus. Eine Metamorphose, die innerhalb des Zeitraumes des Fehlers der Isochrone stattfand, kann mit den Isotopenbestimmungen nicht erfaßt werden.

Aplite dringen ein und finden noch ein warmes Nebengestein vor: Keine Abkühlungsränder bei den in sich homogenen Apliten feststellbar. Altersmäßig sind sie innerhalb des Zeitraumes des Fehlers der Isochrone zu erwarten.

Anlage des Haupt-*s* und der ersten Lineation mit einem heutigen Streichen von 010–030 (= Plattengneis-Richtung). Es ist keine Angabe über den Zeitpunkt dieser Vorgänge möglich, sie dürften aber schon dem alpidischen Zyklus zuzordnen sein. Bemerkenswert ist die verschieden starke Ausbildung der *s*-Flächen innerhalb des Granitgneises. Damit in Verbindung dürfte das Hellglimmer-I-Wachstum stehen, als Verdrängung von Biotit-I und Weiterwachsen. Der Hellglimmer-I hat 3-*T*-Modifikation, nach Frey et al. (in Vorbereitung) deutet dies auf höheren Druck. Beginnende Rekristallisation von Quarz und Umwandlung der Feldspäte.

Biotit-II-Wachstum.

Anlage der zweiten *s*-Flächenschar und der Linearen, die heute E–W laufen, verbiegen den vorhandenen Glimmer. Diese Anlage ist sicher alpidischen Ursprungs und vielleicht zeitgleich mit Biotit-II.

Hellglimmer-II-Wachstum, sehr wahrscheinlich als 2-*M*-Modifikation.

Hellglimmer-I und beide Biotit-Generationen zeigen innerhalb der Fehlergrenzen die gleichen Alterswerte, die als Abkühlalter einer raschen Abkühlung nach der alpidischen Metamorphose in Amphibolith-Fazies verstanden werden.

Hinweise auf spätere Einspannung oder Bewegungen, die im noch warmen oder schon kühlen Gestein wirksam war, finden sich in a) den Knick-Bändern der Glimmer und des Chlorites, b) der stellenweisen Kataklyse der Feldspäte und c) in den undulösen Quarzen, die Teilbereiche zeigen.

Später erfolgte die Heraushebung und die damit im Zusammenhang stehende Bruchtektonik zerlegte in verschiedenem Ausmaße das ganze Gebiet (vgl. Thiedig and Weissenbach, 1975).

Im Vergleich mit vorhandenen Bestimmungen der Rb-Sr-Altersbestimmungen an sauren Gesteinen der Ostalpen lassen sich nur zwei Gruppen *dem Alter nach* mit dem Granitgneis vergleichen:

a) Mit den periadriatischen Intrusionen von Eisenkappel und Brixen. Bestimmt von *Cliff et al.* (1974), *Lippolt et al.* (1974) und *Scharbert* (1975) sowie *Borsi et al.* (1972). Beide Intrusionen liegen südlich der Pustertal-Gailtal-Linie.

b) Mit den Zentralgneisen der Hohen Tauern, für die Bestimmungen von *Lambert* (1964), *Cliff* (1968), *Jäger et al.* (1969), *Satir* (1974, 1975), *Cliff et al.* (1971) und *Cliff* (1977) vorliegen. Die Zentralgneise gehören dem Pennin an.

Beide Gebiete, mit denen der Altersvergleich möglich ist, gehören zu einer anderen tektonischen Einheit als die Umgebung, in der sich der Granitgneis von Wolfsberg heute befindet; nach *Clar* (1975) ist es das Oberostalpine Altkristallin, während *Tollmann* (1977) es als unteres Mittel-Ostalpinisches Kristallin bezeichnet. Daraus ergeben sich zwei Möglichkeiten:

1. Der Granitgneis von Wolfsberg ist der erste Granit im Altkristallin, von dem ein Alterswert unter 300 M.J. bekannt gemacht wurde.

2. Der Granitgneis gehört zu einer der beiden Gruppen, mit denen der Altersvergleich möglich ist.

Der komplexe Ablauf der alpidischen Metamorphose, die Amphibolit-Fazies erreichte, kann leider auch mit Isotopenbestimmungen an verschiedenen Kornfraktionen nicht im Detail aufgelöst werden. Aus den Abkühlaltern der Glimmer läßt sich nur erschließen, daß die alpidische Metamorphose und Strukturprägung älter als die 75–80 M. J. der Glimmer-Abkühlalter sein muß.

Danksagungen

Es ist mir noch eine Freude, Frau Prof. *E. Jäger*, Doz. *J. Hunziker* und allen Studienkollegen für ihre Unterstützung und die Diskussionen während der gesamten Arbeit zu danken. Weiters möchte ich Herrn *R. Brunner* stellvertretend für alle im Labor Tätigen für die technischen Hilfen danken. Den Begutachtern möchte ich für die Hinweise herzlich danken.

Für die aufwendigen Laborarbeiten kam zur Gänze der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung auf. Den Beginn des Aufenthaltes in Bern ermöglichte das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung in Wien.

Das Land Kärnten gewährte eine Beihilfe zu den Geländekosten. Allen genannten Stellen danke ich von Herzen.

Literatur

Axelrod, J. M., Grimaldi, F. S., 1949: Muscovite with small optical axial angle. *Amer. Min.* 34, 559–572.

- Beck-Mannagetta, P.*, 1949: Bericht (1947) von Dr. P. Beck-Mannagetta über Aufnahmen auf Blatt Deutschlandsberg-Wolfsberg (5254). Verh. Geol. Bundesanst. 1949/1, 36–42.
- 1951: Die Auflösung der Mechanik der Wolfsberger Serie, Koralpe, Kärnten. Jahrb. Geol. Bundesanst. 94/2, 127–157.
 - 1970: Über den geologischen Aufbau der Koralpe. Verh. Geol. Bundesanst. 1970/3, 491–496.
 - 1971: Kartenskizze des NW-Ende des Wolfsberger Granitgneises 1:2000. Beilage zu: Beschreibung der Aufschlußpunkte der Koralpenroute der Arbeitstagung Lavanttal 1971; 1.6.–2. 6. 1971. Geol. Bundesanst.-Vervielfältigung.
- Bernard-Griffiths, J.*, 1975: Essai sur la signification des âges au strontium dans un série métamorphique: Le Bas Limousin (Massif Central Français). Ann. Sci. Univ. Clermont 55, 231 S., Clermont-Ferrand.
- Borsi, S., Del Moro, A., Ferrara, G.*, 1972: Età radiometrica delle rocce intrusive del massiccio di Bressanove-Ivigna-Monte Croce (Alto Adige). Boll. Soc. Geol. It. 91, 387–406.
- Brooks, C., Hart, S. R., Wendt, I.*, 1972: Realistic use of two-error regression treatments as applied to rubidium-strontium data. Rev. Geophys. Spac. Phys. 10/2, 551–577.
- Clar, E.*, 1975: Die Stellung der Saualpe im Rahmen der Ostalpen. Clausth. Geol. Abh. Sdbd. 1, 187–198.
- Cliff, R. A.*, 1968: The age of tonalites in the southeast Tauernfenster, Austrian Alps. N. Jb. Geol. Paläont. Mh. II, 655–663.
- 1977: Rb-Sr-Isotopic measurements on Granitgneiss from the Granatspitzkern, Hohe Tauern, Austria. Verh. Geol. Bundesanst. 1972/2, 101–104.
 - *Norris, R. J., Oxburgh, E. R., Wright, R. C.*, 1971: Structural, metamorphic and geochronological studies in the Reisseck and Southern Ankogel Groups, the Eastern Alps. Jahrb. Geol. Bundesanst. 114/2, 121–272.
 - *Holzer, H. F., Rex, D. C.*, 1974: The age of the Eisenkappel granite and the history of the periadriatic lineament. Verh. Geol. Bundesanst. 1974/2, 347–350.
- Faure, G.*, 1977: Principles of Isotope Geology, 464 S. New York-Santa Barbara-London-Sydney-Toronto: J. Wiley & Sons.
- 1978: (38-E) Abundance in Common Igneous Rock Types. In: Handbook of Geochemistry, Vol. II/4, 38-E (*Wedepohl, K. H.*, Hrsg.) Berlin-Heidelberg-New York: Springer.
- Gueven, N.*, (1971): The crystal structures of $2M_1$ -Phengite and $2M_1$ -Muscovite. Z. Krist. 134, 196–212.
- *Burnham, Ch. W.*, 1967: The crystal structure of 3-T-Muscovite. Z. Krist. 125, 163–183.
- Hunziker, J.*, 1974: Rb-Sr and K-Ar age determination and the alpine tectonic history of the Western Alps. Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova XXXI, 54 S.
- Jäger, E., Karl, F., Schmidegg, O.*, 1969: Rubidium-Strontium-Altersbestimmungen an Biotit-Muskovit-Granitgneis (Typus Augen- und Fasergneis) aus dem nördlichen Großvenedigerbereich (Hohe Tauern). Tschermarks Min. Petr. Mitt. 13/3, 251–272.
- Kieslinger, A.*, 1926–28: Geologie und Petrographie der Koralpe, I.–IX. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, Math. Nat. Kl. I, S. 135–137.
- 1928b: Die Lavanttaler Störungzone. Jahrb. Geol. Bundesanst. 78, 499–527.

- Lambert, R. St. J.*, 1964: Isotopic age determinations on Gneisses from the Tauernfenster, Austria. *Verh. Geol. Bundesanst.* 1964, 16–27.
- Lippolt, H. J., Pidgeon, R.*, 1974: Isotopic mineral ages of a Diorite from the Eisenkappel intrusion, Austria. *Z. Naturforsch.* 29a, 966–968.
- Morawf, W.*, 1979: Isotopengeologische Untersuchungen an Gesteinen der Koralpe und Saualpe, SE-Österreich. Dissertation Universität Bern, 1979, unveröffentlicht.
- Nicolaysen, L. O.*, 1961: Graphic interpretation of discordant age measurements on metamorphic rocks. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 91, 189–206.
- Papanastassiou, D. A., Wasserburg, G. J.*, 1969: Initial Strontium isotopic abundance and the resolution of small time differences in the formation of planetary objects. *Earth. Plan. Sci. Lett.* 5, 361–376.
- Satir, M.*, 1974: Rb-Sr-Altersbestimmungen an Glimmern der westlichen Hohen Tauern: Interpretation und geologische Bedeutung. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 54/1, 213–228.
- Scharbert, S.*, 1975: Radiometrische Altersdaten von Intrusivgesteinen im Raum Eisenkappel (Karawanken, Kärnten). *Verh. Geol. Bundesanst.* 1975/4, 301–304.
- Spry, A.*, 1960: *Metamorphic Structures*, 4. Aufl. 1. Ausgabe. Oxford-New York-Toronto-Sydney: Pergamon Press Ltd.
- Steiger, R. H., Jäger, E.*, 1977: Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Plan. Sci. Lett.* 36, 359–362.
- Thiedig, F., Weissenbach, N.*, 1975: Die junge Bruchtektonik im Bereich der Saualpe. *Clausth. Geol. Abh. Sdbd. I*, 155–174.
- Tollmann, A.*, 1977: *Geologie von Österreich I*. Wien: Deuticke.
- Tröger, W. E.*, 1971: *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale: Teil 1, Bestimmungstabellen*, 4. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Anschrift des Verfassers: Dr. W. Morawf, Department of Earth Sciences, The University, Leeds LS2 9JT, Great Britain.