

**Neue Ergebnisse zur Entwicklungsgeschichte des Kristallins
um Radenthein (Kärnten, Österreich)**

von

Robert SCHIMANA*)

mit 5 Abbildungen und 3 Tabellen

Anschrift des Verfassers:

Robert Schimana
Institut für Geologie der Universität Wien
Universitätsstraße 7
A-1010 Wien

*) Die vorliegende Arbeit ist Teil einer Dissertation am Institut für Geologie der Universität Wien.

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.	33	S. 221–232	Wien, 1986
---------------------------------------	----	------------	------------

Inhalt

1. Zusammenfassung, Summary	222
2. Geologischer Überblick	222
3. Metamorphosegeschichte	225
4. Geochronologie	227
5. Geothermometrie	231
6. Geobarometrie	231
7. Literatur	232

1. Zusammenfassung

Das Kristallin zwischen Tauernfenster und Gurktaler Decke ist aufgrund der unterschiedlichen Metamorphoseentwicklung in drei Serien zu gliedern. Dies sind von Nord nach Süd Priedröf, Radentheiner und Millstätter Serie. Die Radentheiner Serie zeigt abweichend von den beiden anderen polymetamorphen Altkristallin Serien nur eine Metamorphose. Diese erfolgt unter amphibolitfaziellen Bedingungen und ist im Gegensatz zur bisherigen Auffassung als alpidisches Ereignis aufzufassen. Das alpidische Alter ist belegt durch Rb/Sr-Kleinbereichs- und Mineralisochronen mit 88–84 Ma. Die Temperaturen der alpidischen Metamorphose nehmen von Nord nach Süd und von Ost nach West kontinuierlich zu. Die alpidische Deformation erfaßt alle drei Serien in ähnlicher Weise. Sie bewirkt WNW–ESE streichende Strukturen, mit denen eine ansehnliche innere Verformung verbunden ist. An den Seriengrenzen sind scharfe Schnitte im variszischen Metamorphoseprofil zu beobachten.

Summary

Based on mineral parageneses and petrological data the Altkristallin area between Tauern window and Gurktal nappe has to be divided into three different series. These are from north to south Priedröf, Radenthein and Millstatt series. Contrary to the polymetamorphic Priedröf and Millstatt series, the Radenthein series has undergone only one metamorphic event. This event reaches amphibolite grade conditions; in contrast to earlier interpretations this event is recognized to be Eoalpine in age. Rb/Sr small scale and mineral isochrons in the range of 88–84 Ma support this statement. The temperature of the Alpine metamorphism increases continuously from east to west and from north to south in the area discussed. Alpine deformation has influenced the three series in a similar way. It causes WNW–ESE striking lineations that are combined with a considerable amount of internal deformation. The internal transitions between the three series are characterized by remarkable changes in the pre-Alpine metamorphic grade.

2. Geologischer Überblick

Das Gebiet gliedert sich in drei Serien (Abb. 1). Diese werden von Norden nach Süden – was gleichbedeutend ist mit vom Hangenden zum Liegenden – als Priedröf,

Radentheiner und Millstätter Serie bezeichnet. Die Grenze zwischen Radentheiner und Priedröf Serie ist dabei allerdings anders zu ziehen als bei R. SCHWINNER (1927), da das wesentliche Unterscheidungskriterium zwischen den Serien die unterschiedliche Metamorphoseentwicklung ist, und nicht die Unterteilung in Gneis und Glimmerschiefer. Die wesentlichen Unterschiede zwischen den Serien sind folgende:

Priedröf und Millstätter Serie sind deutlich polymetamorph, die zwischengeschaltete Radentheiner Serie zeigt nur eine Metamorphose.

Die rein lithologische Unterteilung führte in der Vergangenheit dazu, daß die Glimmerschiefer der Radentheiner Serie – also einphasig metamorphe Gesteine – zusammen mit Glimmerschiefern der Priedröf Serie, die polymetamorph geprägt sind, als Radentheiner Glimmerschiefer angesprochen wurden. Diese wurden, nach Norden über den Katschberg zusammenhängend, mit den Wölzer Glimmerschiefern gleichgestellt.

Die Fortsetzung der Radentheiner Serie ist jedoch sicher nicht im Norden zu suchen, sondern im Westen, im Bereich des Schneeberger Zuges, und im Osten – nach Untersuchungen meines Kollegen W. NOWAK –, im Großdisthen-Großstaurolith-Horizont der Saualpe, bzw. in der Wolfsberger Serie im Bereich der Koralpe. Die Radentheiner Serie gehört somit zu einem mit Unterbrechungen über 300 km verfolgbareren „Horizont“, der immer durch seinen dominierend einphasigen Charakter im polymetamorphen Altkristallin auffällt.

Die Priedröf Serie ist eine eintönige Serie feinkörniger Gneise bis quarzitischer Glimmerschiefer, bereichsweise auch grobkörniger Glimmerschiefer bis Feldspatglimmerschiefer. Besonders im südlichen Teil – z. B. am Priedröf und am Wiesernock – sind Orthogneise eingelagert, die auch als Bundschuhgneis bekannt sind. Im Norden sind diese Orthogneise erst wieder in der Umgebung von Innerkrems zu beobachten. Untergeordnet treten Amphibolite auf. Die ältere Metamorphose erfolgte unter amphibolitfaziellen Bedingungen, Staurolith kann häufig beobachtet werden. Die zweite Metamorphose ist deutlich niedriger temperiert und bewirkt eine retrograde Überprägung; Staurolith und alter Granat werden teilweise zersetzt. Es kommt zur Bildung eines neuen Granats. An der Oberkante des Kristallins hin zum überlagernden Permomesozoikum ist eine schmale Zone intensiver Zersetzung zu beobachten. Neben Staurolith ist hier auch Feldspat z. T. völlig in Serizit umgewandelt. An der Basis des Kristallins ist im Bereich von Gmünd ebenfalls eine schmale Zone diaphthoritischer Überprägung mit intensiver Crenulation und Chloritwachstum zu beobachten. Nur einige 100 m darüber, im Bereich Eisentratten, wurde alpidisch die Amphibolitfazies erreicht, was aus dem Auftreten einer zweiten Staurolith-Generation abgeleitet werden kann. Das alpidische Metamorphoseprofil wird demnach an der Überschiebungsgrenze zum UOA bzw. Pennin diskordant abgeschnitten.

Die Radentheiner Serie ist eine sehr bunte Abfolge von grobkörnigen Granatglimmerschiefern in den unterschiedlichsten Ausbildungsformen. Diese reichen von hellen muskowitzbetonten Granatglimmerschiefern – zum Teil quarzitischer oder von Biotit und/oder Feldspat durchsetzt –, Disthen und/oder Staurolith führenden Typen, die unter dem Lokalnamen Radentheinit bekannt sind, bis zu graphitischen und karbonatführenden Typen. Eingelagert sind Amphibolite bis Hornblendegarbenschiefer und Marmorlagen. Nicht zu vergessen ist auch die Magnesitlagerstätte Millstätter Alpe. Auffallend ist das Größenwachstum von Mineralblasten. Granat erreicht häufig Kirschgröße, in selteneren Fällen bis Faustgröße. Disthen bildet besonders in den Radentheiniten mehrere cm lange Stengel. Hornblenden können in Garbenschiefen bis zu 10 cm

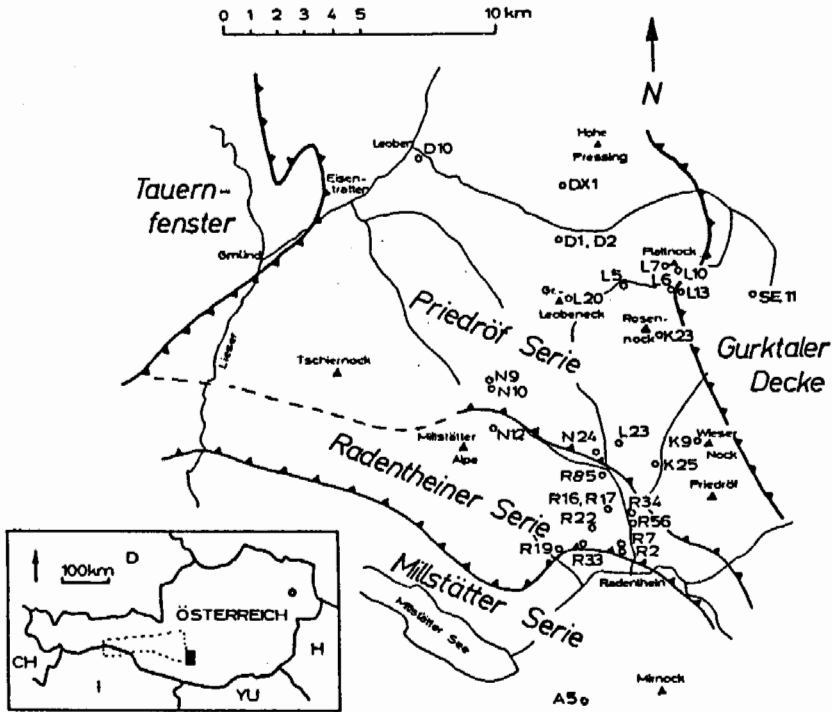


Abb. 1: Bearbeitetes Gebiet mit Probenfundpunkten. Grenzen zum Tauernfenster, zur Gurktaler Decke (bzw. Permomesozoikum) und zwischen Millstätter und Radentheiner Serie nach Ch. EXNER (1980), K. LIEGLER (1973) und R. SCHWINNER (1927).

lang und mehrere cm dick sein. Während die feldgeologische Beurteilung eine Aufteilung der Strukturprägung in zwei völlig getrennte Akte zuläßt, zeigt die eingehende Mikroskopie, daß das gesamte zu beobachtende Gefüge in einem zusammenhängenden Ablauf entstanden ist. Das heißt, es gibt weder reliktsche Minerale/Strukturen noch abzutrennende Überprägungen, die nicht mit der einen Kristallisation interferieren. Hinzuweisen ist auf die Ähnlichkeit mit dem Schneeberger Zug.

Die Millstätter Serie ist wiederum eine vergleichsweise monotone Gneis/Glimmerschiefer Serie, in die Pegmatite eingeschaltet sind. Der Entstehungsmechanismus dieser Pegmatite (bzw. auch deren Alter) ist unklar, ein Granitstock mit den benötigten Ausmaßen, von dem diese Menge an Restschmelzen abgeleitet werden könnte, fehlt in der näheren Umgebung. Es wäre denkbar, daß sie aus dem umgebenden Paramaterial entstanden sind. Die Gesteine sind deutlich polymetamorph, die Überprägung erfolgt ebenfalls unter amphibolitfaziellen Bedingungen.

Gemeinsam ist allen drei Serien die letzte Strukturprägung, die eine generelle WNW–ESE Lineation erzeugt. Auf den Entstehungsmechanismus wird weiter unten noch im Detail eingegangen. In der Priedröf Serie steht diese Deformation mit der retrograden Überprägung in Zusammenhang, in der Millstätter Serie mit der zweiten amphibolitfaziellen Metamorphose. In der Radentheiner Serie erfolgt sie gleichzeitig

mit der einen Metamorphose, die das außergewöhnliche Größenwachstum der Mineralblasten erzeugt. Dieselbe Deformation tritt auch in dem auf der Priedröf Serie transgredierenden Permoskyth des Stangalmmesozoikums auf. Allein aus diesen Beobachtungen läßt sich bereits das alpidische Metamorphosealter der Radentheiner Serie und der Überprägung in den beiden anderen Serien ableiten, wenn man nicht eine zweite (ältere) gleichartige Strukturprägung für das Kristallin annehmen will.

3. Metamorphosegeschichte

Diese läßt sich sehr gut anhand der Ausbildung der Granatblasten studieren. In der Priedröf Serie sind generell dreiphasige Granatblasten zu beobachten. Granat 1 und 2 sind dabei meist schlecht zu trennen, oder gehen ineinander über. Gt 3 ist hingegen immer deutlich abgesetzt. Gt 1 zeigt häufig spiralförmige Einschlußzüge, ist idiomorph begrenzt, und unterscheidet sich bezüglich der Art der Einschlüsse von dem zumindest ursprünglich ebenfalls idiomorphen Gt 2 Anwachsrand. Sigmoidale Einschlußzüge fehlen in Gt 2, vereinzelt können jedoch mehrere Anwachsrande beobachtet werden (diese finden in der chemischen Zonierung jedoch keinen Niederschlag). Die äußere Begrenzung von Gt 1/2 Blasten ist durch die nachfolgende Resorption meist unregelmäßig, die Blasten sind von einem Biotitsaum umgeben. Sehr deutlich zeigt sich die Resorption von Gt 1/2 im Zonarbau der Elemente, der mit Hilfe der Mikrosonde bestimmt wurde. Mangan steigt zum Rand hin an, was dem normalen Trend nach dem Fraktionierungsmodell von RAYLEIGH (beschrieben bei L. HOLLISTER 1966) entgegengesetzt ist. Dies kann dadurch erklärt werden, daß der bei der Resorption entstehende Biotit nicht das gesamte Mangan einbauen kann, und dieses in den verbleibenden Gt zurückdiffundiert. Im Anschluß an die Resorption kommt es zur Blastese von Gt 3. Dieser bildet warzige Anwachsrande um alte, reliktsche Gt 1/2 Blasten und ist gegen diese durch einen einschlußreichen Saum, insbesondere Ilmenit-Dendriten, abgesetzt. Diese Grenze kann in allen untersuchten Beispielen mit einem plötzlichen Kalzium-Anstieg um mehrere Prozent parallelisiert werden (Abb. 2). Der Zonarbau von Gt 3 ist ansonsten als normal zu bezeichnen, er entspricht dem Fraktionierungsmodell bzw. dem für progressive Metamorphosebedingungen zu erwartenden Trend.

In der Radentheiner Serie sind Granatblasten in der Regel einphasig, nur selten können optisch zweiphasige Blasten beobachtet werden, im chemischen Zonarbau findet diese scheinbare Zweiphasigkeit jedoch keinen Niederschlag. Die meist großen Gt-Blasten zeigen im allgemeinen ein leicht rotiertes Interngefüge, das in Zusammenhang mit dem Externgefüge steht (Abb. 3 b). Die Elementzonierungen sind normal, d. h. Mn und Ca im Kern hoch, Mg/Fe Verhältnis steigt zum Rand hin steil an (Abb. 3 a).

Granat der Millstätter Serie entspricht wieder weitgehend dem der Priedröf Serie. Gt 2 ist hier stärker invers zoniert, Mn steigt in einer breiten Zone zum Rand hin kontinuierlich an, während das Mg/Fe Verhältnis fällt. Ob dies eine primäre inverse Zonierung ist, oder wie in der Priedröf Serie auf Resorption (allerdings unter höheren Metamorphosebedingungen) zurückzuführen ist, bleibt unklar.

Obwohl nach diesen Ausführungen Gt der Radentheiner Serie am ehesten mit Gt 1 in Priedröf und Millstätter Serie zu vergleichen ist, stößt die zeitliche Gleichstellung mit Gt 1 auf schwerwiegende Hindernisse. Es ist kaum vorstellbar, daß sowohl in der

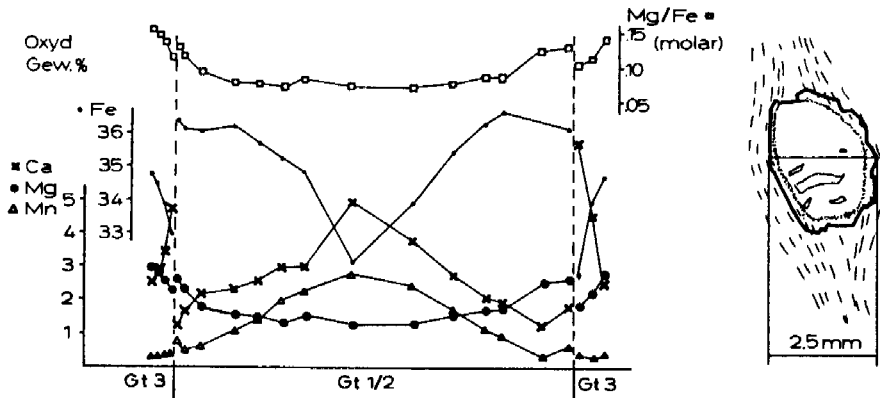


Abb. 2: Elementzonierung von Gt aus Probe D 10/83, Priedröf Serie, normale Profile im Gt 1/2, anomaler Mangan-Anstieg zum Rand hin, der auf Resorption zurückzuführen ist, Kalziumsprung an der Grenze Gt 2/3; Gt 3 selbst ist normal zoniert, nach außen hin nehmen Mn und Ca ab und das Mg/Fe Verhältnis steigt an.

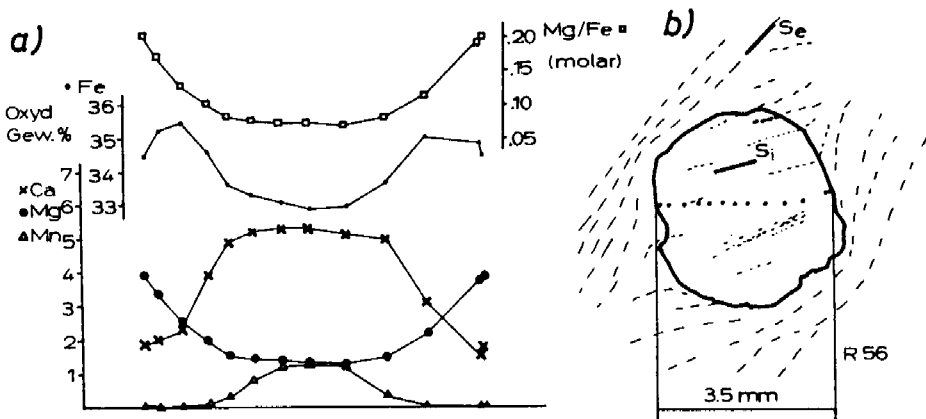


Abb. 3: a) Elementzonierung von Gt der Radentheiner Serie. Kontinuierliche Profile, Mn-Glockenkurve b) Meßpunkte, Verhältnis von Intern- und Externgefüge.

überlagernden Priedröf Serie, als auch der unterlagernden Millstätter Serie Gt Resorption und anschließendes Gt 3 Wachstum stattfindet, während in der Radentheiner Serie die alte Paragenese unverändert stabil bleibt. Viel wahrscheinlicher ist es daher, den Granat der Radentheiner Serie mit Gt 3 in Priedröf und Millstätter Serie zu parallelisieren. Da Gt 3 aufgrund der gleichartigen Ausbildung wie in anderen Altkristallin-Bereichen, wo sein alpidisches Bildungsalter belegt ist, hier ebenfalls der alpidischen Überprägung zuzuschreiben ist, steht diese Zuteilung in Einklang mit der aufgrund der letzten gemeinsamen Strukturprägung getroffenen zeitlichen Einstufung. Für das alpidische Alter von Gt 3 lassen sich auch in Zusammenhang mit den geochronologischen Daten Argumente finden. Für eine vollständige Einstellung des K/Ar-Systems

im Muskowit, also einen völligen Ar^{40} Verlust, sind Temperaturen über 400°C notwendig. Es ist nun regional zu beobachten, daß dort, wo rein alpidische Mu-K/Ar-Alter auftreten, Gt 3/Bi-Paare Temperaturwerte von deutlich über 400°C liefern, während dort, wo Mu-K/Ar-Alter alpidisch nicht völlig verjüngt sind, Gt 3/Bi-Paare Temperaturwerte knapp unter 400°C liefern. Aufgrund dieser Übereinstimmung erscheint es sinnvoll, Gt 3 der alpidischen Metamorphose zuzuordnen. Das folgende Modell versucht den Zusammenhang zwischen der Metamorphose der Radentheiner Serie und Resorption von Gt 1/2 und Gt 3 Blastese in der Priedröf Serie zu erklären.

Durch die massive Gt Blastese in der Radentheiner Serie – bis zu 10 vol% Gt und andere wasserfreie Mineralphasen entstehen – werden große Mengen an Wasser freigesetzt, die über die fluide Phase abgeführt werden. Dieses Wasser dringt in die etwas kühlere überlagernde Priedröf Serie und bewirkt dort die intensive retrograde Überprägung mit Gt 1/2 Resorption und Staurolith-Zersetzung. Nachdem der Wasser-Partialdruck durch die Wasser verbrauchenden retrograden Reaktionen wieder gesunken ist, kommt es bei anhaltender (steigender) Temperatur zu erneuter Gt-Bildung.

Strukturprägung der Radentheiner Serie

Obwohl einer Metamorphose zugehörig, wie aus dem Verhältnis zur Kristallisation abgeleitet werden kann, ist eine Entwicklung im Beanspruchungsplan zu beobachten. Die Deformation beginnt mit der Anlage eines ebenen s mit WNW–ESE Streckungsrichtung, also plain strain. In weiterer Folge kommt eine simple shear Komponente dazu, was von den rotierten Interngefügen in Gt abgeleitet werden kann. Als nächstes erfolgt eine Einengung senkrecht zur Streckungsrichtung, also Umstellung zu constrictional strain, wobei die B-Achsen von Runzeln etwa parallel zur Streckung liegen. Die Umstellung zu constrictional strain kann für die Radentheiner Serie etwa mit dem Metamorphosehöhepunkt gleichgesetzt werden, Runzeln werden von Gt-Rändern und auch von Disthen überwachsen.

Dieser Deformationsablauf gilt im wesentlichen auch für die beiden anderen Serien. Während in der Priedröf Serie, dem transgredierenden Permoskyth und der Millstätter Serie eine simple shear Komponente an vielen Beispielen nachgewiesen werden kann, ist die – in erster Linie aus der Granatrotation abgeleitete – simple shear Komponente der Radentheiner Serie weniger gut belegt. Wie BELL (1985) gezeigt hat, ist Gt-Rotation nicht immer bzw. nur in den seltensten Fällen mit simple shear Deformation zu erklären. BELL zeigt an einer Reihe von Beispielen, daß Blasten bei späterer Deformation ihre ursprüngliche Orientierung beibehalten, während das Externgefüge rotiert. Die Beobachtung, daß das Interngefüge von Granatblasten in einem Aufschlußbereich immer um den selben geringen Winkelbetrag gegen das Externgefüge verstellt ist, läßt auch eine Deutung im Sinne von BELL für die Radentheiner Serie denkbar erscheinen.

4. Geochronologie

Aus dem Bereich der Millstätter Serie gibt es eine Reihe von Mu- und Bi-K/Ar-Alter von BREWER, 1969. Während Mu sehr hohe alpidische Alter (um 100 Ma) liefert, zeigt Bi, der wegen der niedrigeren Schließungstemperatur normalerweise etwas

Tabelle 1: K/Ar-Alterswerte, Lokalitäten siehe Abbildung 1.

Lokalität und Gesteinstyp	Probe Nr. Labor Nr.	Min	Korngr. (mm)	% K	^{40}Ar ($\text{cm}^3 \times 10^{-6}$)	% rad	Alter (Ma)
2.5 km N Großeobeneck, Gt-Gli-Schiefer	D1/83 WAP 1335	Mu	.071 - .149	7.11	26.93	92.78	97 ± 4
Leoben	D10/83	Mu	.071 - .149	6.81	24.55	95.73	93 ± 4
Gt-2Gli-Gneis	WAP 1336	Bi	.071 - .149	6.40	25.24	92.24	101 ± 4
1 km W Wieser Nock	K9/84	Mu	.071 - .149	8.28	28.92	94.41	90 ± 4
Orthogneis	WAP 1337	Mu	.15 - .49	9.24	24.96	95.24	70 ± 3
.5 km E Rosennock	K23/84	Mu	.15 - .49	7.34	51.42	97.51	176 ± 7
Gt-2Gli-Gneis	WAP 1338						
2.5 km NE Kaning	K25/84	Mu	.071 - .149	8.76	21.81	94.95	64 ± 3
Orthogneis	WAP 1339						
1.7 km NNW Rosennock, Gt-2Gli-Gneis	L5/84 WAP 1340	Mu	.071 - .149	7.86	27.61	95.57	90 ± 4
1 km SSE Plattnock	L6/84	Mu	.071 - .149	7.92	35.37	98.99	114 ± 5
Gt-2Gli-Gneis	WAP 1341	Bi	.071 - .149	5.57	17.71	87.51	82 ± 4
.3 km SW Plattnock	L7/84	Mu	.071 - .149	7.30	40.45	94.86	140 ± 6
Gt-Gli-Schiefer	WAP 1342						
.3 km SSE Plattnock	L10/84	Mu	.071 - .149	7.61	40.64	96.26	135 ± 6
Gt-2Gli-Gneis	WAP 1343	Bi	.071 - .149	5.88	25.13	52.68	109 ± 8
1 km SSE Plattnock	L13/84	Mu	.071 - .149	8.74	23.52	86.98	69 ± 3
Permoskyth Quarzit	WAP 1344						
Großeobeneck	L20/84	Mu	.071 - .149	7.11	30.69	95.69	110 ± 5
Gt-2Gli-Schiefer	WAP 1345	Bi	.071 - .149	4.98	13.36	63.47	69 ± 4
2.3 km NNW Kaning	L23/84	Mu	.071 - .149	8.78	22.49	95.93	66 ± 3
Orthogneis	WAP 1346						
Rabenkofel	N9/84	Hbl	.25 - .42	.494	2.26	59.89	117 ± 8
Amphibolit	WAP 1347						
Nöringsattel	N12/84	Mu	.71	7.53	23.14	84.61	79 ± 4
Hbl-Garbensch.	WAP 1348	Bi	.42 - .71	7.30	18.73	94.27	66 ± 3
Radentheiner S.		Hbl	.42 - .71	.733	3.08	65.25	107 ± 7
1 km SW Kaning	R16/84	Mu	.149	7.64	22.87	92.15	78 ± 3
Gt-2Gli-Schiefer	WAP 1349	Bi	.15 - .49	6.54	20.81	94.06	82 ± 3
Radentheiner S.		Gt	.15 - .45	.023	.1136	28.51	125 ± 20
Oswalder Bock Sattel	SE11/83	Mu	.15 - .49	8.93	108.19	98.69	295 ± 12
Karbon O-Gn-Geröll	WAP 1350						

jünger sein sollte als Mu, Überschussalter bis 400 Ma. RODDICK et al. (1980) haben diese Überschussalter an Biotiten detailliert untersucht. Im Bereich von Radentheiner und Priedröf Serie konnten keine derartigen Überschussalter gefunden werden. Die Alter streuen zwischen 70 und 100 Ma (Tab. 1). Im Grenzbereich zur Gurktaler Decke wurden die für die Verjüngung von Mu notwendigen 400°C nicht erreicht, Mu er-

gibt dort unterschiedlich hohe Mischalter, auch die Biotitalter sind teilweise etwas höher als durchschnittlich für alpidische Werte zu erwarten ist. Muskowit aus dem transgredierenden Permoskyth ergab 70 Ma, was als Bildungsalter aufgefaßt wird. Hornblende und Granat der Radentheiner Serie ergaben hohe alpidische Alter, diese sind jedoch aufgrund der zu ungenauen Bestimmung der Kalium-Gehalte mit einem großen methodischen Fehler behaftet, und somit zur Einstufung der Metamorphose wenig verlässlich.

Aussagekräftiger ist die Rb/Sr Kleinbereichsisochronen-Methode. An einem Fsp-führenden Glimmerschiefer der Radentheiner Serie wurde diese Methode angewandt. Die einzelnen Lagen (neun) ergaben eine gut definierte Isochrone (Tab. 2, Abb. 4), das berechnete Alter liegt bei 88 Ma. Die separierten Minerale Mu, Bi, Fsp und Gt passen ebenfalls auf diese Isochrone. Insbesondere der gute fit der Isochrone und die Tatsache, daß der Gt auf der Isochrone liegt, sprechen dafür, daß es sich bei dem berechneten Alter um das Kristallisationsalter handelt. Würde es sich beim Gt um ein älteres Relikt handeln, sollte er deutlich unter der Isochrone liegen. Das alpidische Kristallisationsalter der Radentheiner Serie erscheint somit eindeutig belegt.

Tabelle 2: Kleinbereichsisochronen-Analysedaten von Probe R22/84 (WAP 1351), Radentheiner Serie

Probe	^{87}Rb [ppm]	Sr_{total} [ppm]	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$		$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	
			Wert	Sigma	Wert	Sigma
1a	71.3	83.28	8.799	.088	.73278	.00020
1b	32.0	97.65	3.365	.034	.72657	.00033
1c	32.6	94.79	3.537	.035	.72681	.00028
2	70.4	64.42	11.244	.112	.73645	.00030
3	26.4	42.58	6.362	.064	.72942	.00030
4	57.9	50.94	11.685	.117	.73662	.00044
5	39.4	88.81	4.564	.046	.72814	.00032
6	28.6	72.82	4.030	.040	.72695	.00046
7	60.1	65.16	9.485	.095	.73441	.00014
Fsp	1.73	108.57	.164	.002	.72316	.00026
Mu	96.3	65.38	15.160	.152	.74204	.00020
Bi	153.7	3.10	542.11	5.421	1.36969	.00074
Gt	.707	19.92	.364	.004	.72330	.00056

Isochronenberechnung – Modell nach YORK (1969)

Gewichtet mit dem reziproken Quadrat des analytischen Fehlers (nur Totals 1a–7)

Steigung .001250 ± .000049 Initial .722144 ± .000394

Korrelationskoeffizient .9975 MSWD 2.1

Alter 88.5 ± 3.5 Ma

Alle Punkte gleich gewichtet, mit Fsp, Mu, Bi und Gt:

Steigung .001193 ± .000001 Initial .722719 ± .000158

Korrelationskoeffizient .9999 Alter 84.0 ± 1 Ma

(für eine Rb^{87} Zerfallskonstante von $.1420\text{E}-10$)

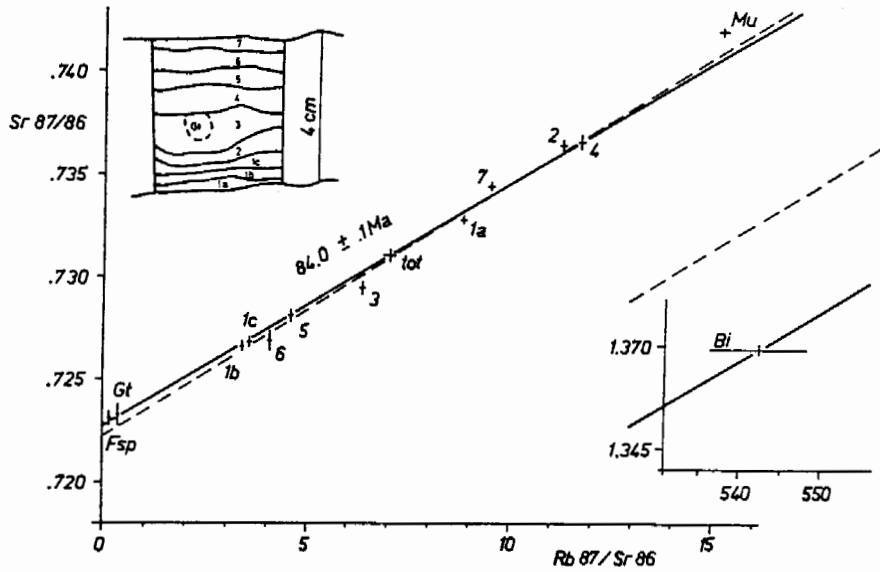


Abb. 4: Kleinbereichsisochrone von R22/84, Radentheiner Serie. Volle Linie: Isochrone mit Einbeziehung von Mu, Bi, Fsp und Gt. Strichlierte Linie: Isochrone der einzelnen Lagen (1a-7). Die Länge der Balken zeigt den Analysenfehler.

Tabelle 3: Gt/Bi-Thermometer nach FERRY & SPEAR (1978), für 5 kbar

Probe	Granat		Biotit (Mg/Fe)	K _D	T(°C)
	X _{Ca}	(Mg/Fe)			
A5/84	.0115	.1561	1.0424	.1498	513
D1/1/83	.2021	.1288	1.0337	.1246	463
D2/83	.0348	.1274	.9380	.1359	486
D10/2/83	.0748	.1533	.9474	.1618	537
DX1/83	.0305	.1357	.9506	.1427	499
L10/84	.2885	.0839	.9013	.0931	395
N10/84	.0758	.1859	1.2077	.1539	521
N24/84	.1185	.1731	1.1275	.1535	521
R2/84	.1604	.2510	1.4151	.1774	566
R7/84	.0532	.2393	1.2712	.1882	587
R16/84	.0228	.3569	1.6576	.2153	636
R17/84	.0183	.1724	1.1209	.1538	521
R19/84	.1018	.2183	1.3613	.1604	534
R33/84	.1212	.2723	1.2319	.2210	647
R34/84	.1159	.2288	1.0012	.2286	661
R56/85	.0498	.2011	1.3987	.1438	501
R85/85	.1574	.2726	1.4779	.1844	579

5. Geothermometrie

Angewendet wurde das Gt/Bi-Thermometer nach FERRY & SPEAR (1978). Die Temperaturen für Gt 3/Bi-Paare nehmen von Osten nach Westen zu (Tab. 3). Sie liegen an der Grenze zum überlagernden Permomesozoikum bei 400°C , was in Einklang mit einem Cc/Dol-Thermometer nach POWELL et al. (1984) steht, und erreichen in der Nähe des Tauernfensters bei Leoben 520°C . Nach Süden hin nehmen die Temperaturen ebenfalls zu. In der Radentheiner Serie liegen sie zwischen 500° und 600°C (Tab. 3). Die angegebenen Trends in der Temperaturverteilung stehen in Einklang mit dem Rekristallisationsgrad der Gesteine, bzw. den geochronologischen Ergebnissen. Unter Annahme eines normalen Temperaturgradienten läßt sich eine flach nach NE einfallende Isothermenfläche konstruieren, ohne daß Schnitte im Metamorphoseprofil anzunehmen sind.

6. Geobarometrie

Die Gleichgewichtsbedingungen für die vorliegende Paragenese Mu-Plag-Gt-Bi wurden nach GHENT & STOUT (1981) berechnet. Die Temperaturen liegen zwischen 400 und 600°C und stimmen mit jenen überein, die das Gt-Bi-Thermometer nach FERRY & SPEAR (1978) liefert. Die Drucke liegen zwischen 7 und 10 kbar, was einer Versenkungstiefe von 20 bis 30 km entsprechen würde und sind mit der Temperatur negativ korreliert (Abb. 5). Ob diesen unrealistisch erscheinenden Werten Bedeutung beizumessen ist, oder ob sie auf ein Versagen der Berechnungsmethode bzw. fehlendes Gleichgewicht zurückzuführen sind, kann aufgrund der geringen Probenanzahl nicht beurteilt werden. Sollten diese Werte realistisch sein, würde das bedeuten, daß es sich bei dem betrachteten Gebiet um einen Bereich mit inversem Temperatur-

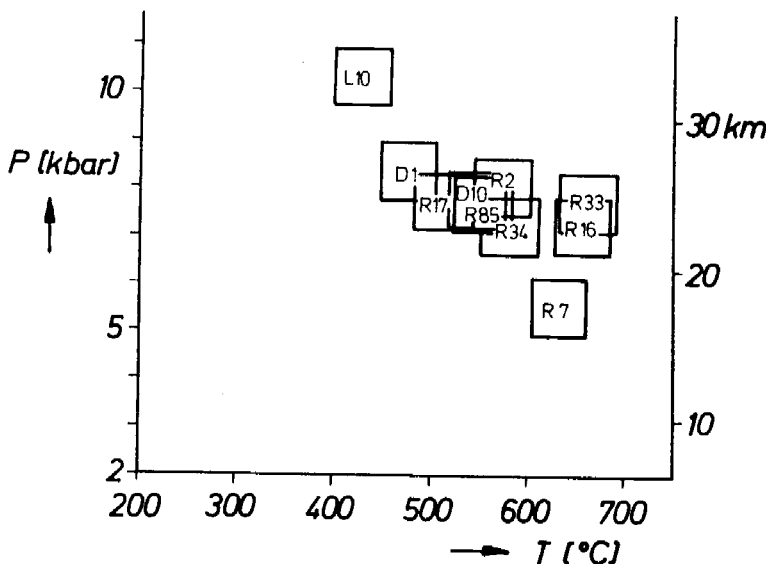


Abb. 5:
Ergebnisse des Geothermometers nach GHENT & STOUT (1981). Deutlich zeigt sich die negative Korrelation zwischen Druck und Temperatur.

gradienten gehandelt hat. Dies wäre in einem mobilen Krustenbereich, um den es sich während der alpidischen Metamorphose zweifellos gehandelt hat, im Prinzip nichts Ungewöhnliches.

Interessant ist in diesem Zusammenhang noch, daß HOINKES (1983) eine negative Korrelation zwischen Druck und Temperatur erhält, diese allerdings auf einen methodischen Fehler zurückführt.

7. Literatur

- BELL, T. H.: Deformation partitioning and porphyroblast rotation in metamorphic rocks: a radical reinterpretation. — *J. metamorphic Geol.*, 1985/3, 109–118, 1985.
- BREWER, M. S.: Excess Radiogenic Argon in Metamorphic Micas from the Eastern Alps, Austria. — *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 6, 321–331, Amsterdam 1969.
- EXNER, Ch.: Das Kristallin östlich der Katschbergzone. — *Mitt. österr. geol. Ges.*, 71/72(1978/79), 167–189, Wien 1980.
- FERRY, J. M. & SPEAR, F. S.: Experimental Calibration of the Partitioning of Fe and Mg Between Biotite and Garnet. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66, 113–117, 1978.
- GHENT, E. D. & STOUT, M. Z.: Geobarometry and Geothermometry of Plagioclase-Biotite-Garnet-Muscovite Assemblages. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 76, 92–97, Springer 1981.
- GRAHAM, C. M. & POWELL, R.: A garnet-hornblende geothermometer: calibration, testing, and application to the Pelona Schist, Southern California. — *J. metamorphic Geol.*, 2, 13–31, 1984.
- HOINKES, G. & THÖNI, M.: Neue geochronologische und geothermobarometrische Daten zum Ablauf und zur Verbreitung der Kretazischen Metamorphose im Ötztalkristallin. — *Jber. 1982 Hochschulschwerpkt.* S 15, 73–83, 1983.
- HOLLISTER, L. S.: Garnet Zoning: An Interpretation Based on the Rayleigh Fractionation Model. — *Science*, 154, 1647–1651, 1966.
- LIEGLER, K.: Zur Geologie des Zentralalpinen Mesozoikums im Bereich nördlich von Bad Kleinkirchheim/Kärnten (Südabschnitt des „Stangalm-Mesozoikums“). — *Diss. Phil. Fak. Univ. Wien*, 1973.
- NOWAK, W.: *Diss. Univ. Wien* (in Vorbereitung), 1986.
- POWELL, R., CONDLIFFE, D. M. & CONDLIFFE, E.: Calcite-dolomite geothermometry in the system $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-FeCO}_3$: an experimental study. — *J. metamorphic Geol.*, 1984/2, 33–41, 1984.
- RODDICK, J. C., CLIFF, R. A. & REX, D. C.: The evolution of excess argon in alpine biotites—a $^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$ analysis. — *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 48, 185–208, 1980.
- SCHWINNER, R.: Der Bau des Gebirges östlich von der Lieser (Kärnten). — *Sitzungsber. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., Abt. I*, 136, Wien 1927.
- SCHIMANA, R.: *Diss. Univ. Wien* (in Vorbereitung), 1986.
- YORK, D.: Least Squares Fitting of a Straight Line with Correlated Errors. — *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 5, 320–324, 1969.

Manuskript eingelangt am 20. April 1986
angenommen am 20. Mai 1986