

Zur Geochemie der Spitzer Gneise und der Paragesteinsserie des Kamptales, Niederösterreich

VON MAHMOUD KHAFFAGY

(Mit 6 Abbildungen)

Geology Department, Faculty of Science, Heliopolis University, Cairo, Egypt, VAR
Aus dem Grundlageninstitut der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal

I. Einleitung

Um das genetische Problem der verschiedenen Gneise und Amphibolite im Gebiet des Kamptales/Niederösterreich, ihre Beziehungen zueinander und zu den anderen Gesteinstypen zu beleuchten, schien es notwendig, einige makro- und mikrochemische Untersuchungen vorzunehmen. Die Ergebnisse der geologischen Feldarbeiten und der petrographischen Untersuchungen sind bereits gesondert dargestellt worden (KHAFFAGY [1970]). Probleme der Petrogenese, vor allem aber der Metamorphite, können nicht nur auf Grund von Feldbeobachtungen und mikroskopischen Studien gelöst werden. Es bedarf vielmehr im besonderen auch des Einsatzes verschiedener Untersuchungsmethoden, wie der geochemischen Analyse von „Spurenelementen“. Ein wesentliches petrogenetisches Problem ist die Unterscheidung von Ortho- und Paragneisen und Ortho- und Paraamphiboliten. Die Meinung des Autors ist, daß es ein „Amphibolit und Amphibolit-Problem“ ebenso wie ein „Granit und Granit-Problem“ gibt. WILCOX und POLDERVAART haben (1958) festgestellt „under equilibrium conditions, ortho- and paraamphibolites would be indistinguishable if held at the same temperature and pressure“. Auch TUREKIAN (1963) war in diesem Punkt wenig optimistisch, ohne allerdings alle Möglichkeiten in Betracht gezogen zu haben, die die analytische Geochemie anbietet. Ortho- und Paragesteine auf Grund von geochemischen Untersuchungen zu unterscheiden, haben aber LEUTWEIN (1939), ENGEL (1951), TAYLOR (1955), SNELLING (1958), LAPADU-HAGUES (1959), EVANS & LEAKE (1960), HEIER (1960) u. a. versucht (vgl. auch TAYLOR [1965]).

I. JANDA, E. SCHROLL und SEDLAZEK (1965) haben darauf hingewiesen, daß man die Unterscheidung von Ortho- und Paragesteinen mit den Methoden und Techniken geochemischer Untersuchungen bis zu einem gewissen Grad lösen kann. Sie konnten am Beispiel von Amphiboliten des Waldviertels zeigen, daß die Projektionspunkte in den Korrelationsdiagrammen Ni—Co, Zr—Ni, Cu—Ni und Ni—Cr niedrigmetamorpher Orthoamphibolite die gleiche Lage aufweisen wie basische Magmatite, etwa Olivinbasalte und Gabbros.

Diese Gruppe schließt Orthoamphibolite, wie Gabbro-, Pyroxen- oder Anorthosit-Amphibolite, ein, jedoch auch „nicht durch Relikte gekennzeichnete Amphiboliteinlagerungen in Marmoren und manchmal auch

solche in Paragneisen“. Es wird festgestellt, daß „für Paraamphibolite im eigentlichen Sinn, die aus tonhaltigen Sedimenten entstanden sein sollen, keine Beispiele vorliegen“.

E. SCHROLL (1966) stellt fest: „still premisses are lacking to solve some special problems“, als er sich mit der Bearbeitung der seltenen Elemente in granitoiden Gesteinen beschäftigte. Den Spurenelementen kommt eine wichtige Schlüsselstellung zu, um petrogenetische Vorgänge zu charakterisieren und zu erklären. Der vorliegende Versuch, Ortho- und Paragneise auf Grund ihres Gehaltes an selteneren Elementen zu unterscheiden, ist als Vorstoß ins Neuland zu werten. Da kein ausreichendes statistisches Datenmaterial zur Verfügung steht, ist dieser Versuch selbstverständlich noch mit gewissen Unsicherheiten behaftet.

In der Folge werden die Ergebnisse geochemischer Untersuchungen des Dobragneises und seiner Amphiboliteinlagerungen sowie der Paragneise und ihrer Amphibolitvorkommen ausgewertet. Vier chemische Vollanalysen wurden von zwei Dobragneistypen und zwei Amphiboliten vorgenommen, die in den Dobra-Gneis eingelagert sind. 20 Gneis- und 16 Amphibolitproben, die etwa einem W-E-Profil durch das bearbeitete Gebiet entnommen worden sind, wurden auf Spurenelemente spektrochemisch analysiert.

II. Analysenmethoden

Bei den Gneisproben wurden die Elemente K, Ca, Ti, Rb, Sr, Sc, Y, Zr, V, Cr, Ni, Co, Cu, Ag, Yb, Mo, Zn, Tl, Sn, Be, Ca, La, Pb und Ba und bei den Amphibolitproben die Elemente K, Ca, Ti, Rb, Sr, Sc, Y, Zr, V, Cr, Mn, Ni, Co, Cu, Ag und Yb quantitativ analysiert. Elemente, deren Durchschnittshäufigkeit in den untersuchten Gesteinen auf Konzentrationen unter 100 ppm beschränkt bleibt, wurden mit Hilfe der optischen Emissionsspektralanalyse, die in größeren Konzentrationen vorliegenden Elemente röntgenfluoreszenzanalytisch bestimmt. Zur Kontrolle der röntgenfluoreszenzanalytischen Werte wurden auch flammenfotometrische und naßanalytische Methoden eingesetzt.

1. Probenvorbereitung

Das Probengut wurde in einem Laborbackenbrecher auf maximal 2 cm vorzerkleinert, geviertelt und anschließend in einer Schlagkreuzmühle auf maximal 2 mm vorgemahlen. Dann wurde die vorgemahlene Probe bis auf eine Menge von 100—200 g heruntergeviertelt und mit Hilfe eines Magneten etwaige stammende Stahlspäne entfernt. Danach erfolgte die Feinmahlung in einer Labor-Mörsermühle und schließlich händisch 30 Minuten in einer Achatreibschale.

2. Naßanalyse

Bei der Durchführung der Silikatanalysen wurde hauptsächlich nach DITTLER (1935) und JAKOB (1952) vorgegangen. Nur die Alkalien wurden

nach Isolierung der Alkalien durch Ionenaustausch flammenphotometrisch und die Elemente Mn und Ti spektralphotometrisch nach DITTLER (1935) mit einem Zeiß-Spektralphotometer PMQ II analysiert.

3. Emissionsspektrographische Analyseverfahren

Für die emissionsspektrographische Bestimmung der Elemente Sc, Y, Zr, V, Cr, Mn, Ni, Co, Cu, Ag, Yb, Mo, Zn, Tl, Sn, Be, La, Ga, Pb und Ba wurde eine Methode verwendet, die sich im spektrographischen Labor des Grundlageninstitutes der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal bewährt hat (siehe u. a. JANDA, SCHROLL & SEDLAZEK, 1965).

Die Eichproben wurden aus Mischungen von Reinsubstanzen hergestellt und durch Referenzgesteinsproben (G 1 und W 1 des US National Bureau of Standards) kontrolliert.

Die Aufnahmebedingungen sind in Tab. 1 mitgeteilt.

Tabelle 1. Spektrographische Meßbedingungen für Gneise und Amphibolite.

Spektrograph 3,4 m — Ebert Gitterspektrograph Mark 4 (JARELL & ASH) mit 15.000 Linien/Zoll-Plangitter (Blaze 4000 Å)

	<i>Amphibolite</i>	<i>Gneise</i>
Ordnung	II.	I.
Blende	3,2 mm	3,2 mm
Fokus	200	180
Kamera	84	90
Sektor	$8/100^0/0$	$8/100^0/0$
Spaltbreite	20	20
Schaltung	anodisch	anodisch
Volt	220	220
Ampere	10	12
Belichtungszeit	180 sec	220 sec
Elektrodenmaterial	(Ringsdorff) RW 0	Ringsdorff/RW 0
Elektrodenform	RW 0055	S wie GROHMANN (1965)
Gegenelektrodenform	RW 0090	RW 0090
Platte	Gevaert 34 B 50	Gevaert 34 B 50
Entwickler	Standard 224	Standard 224
Entwicklungsdauer bei 20° C	13 min	13 min

Zur Aufnahme wurden die Proben mit spektralreinem Graphitpulver (RW 0) 1 : 2 für Amphibolite und 1 : 1 für Gneise gemischt. Als interne Standards wurden 0,5% Pd für die schwerflüchtigen und 0,01% In für die leichtflüchtigen Elemente verwendet. Bei der Aufnahme erwies es sich als günstig, den Bogen zunächst bei 3 A zu zünden und erst nach 10 sec die Stromstärke auf den Normalwert von 10 A für Amphibolite, beziehungsweise 12 A für Gneise einzuregeln.

Die Auswertung der aufgenommenen Spektren erfolgte photometrisch mit anschließender Untergrund-Korrektur am Rechenbrett.

Ein Teil der Werte, wie Mo, Tl, Sn, Be und Ba, wurde durch Schätzen der Linienintensitäten im Vergleich zu Eichproben gewonnen.

4. Röntgenfluoreszenzanalytische Verfahren

Die Röntgenfluoreszenzanalyse wurde der vorliegenden Arbeit zur Bestimmung der Hauptelemente K, Ca und Ti und der Spurenelemente

Rb und Sr verwendet, wobei eine für die Spurenelemente Rb und Sr von SCHROLL, SKOL und STEPAN (1963) entwickelte Methode zur Anwendung gekommen ist (vgl. auch SCHROLL und STEPAN, 1968).

Für die Durchführung der Analyse stand eine Philipsanlage mit Feinstrukturgenerator (1 KW), automatischer Registriereinheit und Vakuum-spektrometer zur Verfügung. Die Meßbedingungen sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Tabelle 2. Meßbedingungen der Röntgenfluoreszenzanalysen.

	für K, Ca, Ti	für RB und Sr
Röhre	Chrom	Molybdän
Stromstärke	18 mA	18 mA
Spannung	54 kV	54 kV
Impulszähler	Untersetzer: 16 (K), 64 (Ca), 8 (Ti)	Untersetzer: 32
Zählzeit	15 sec	15 sec
Kollimator	150	150
Strahlenweg	Vakuum	Luft
Kristall	PET	LiF
Detektor	Durchflußzähler	Szintillationszähler
Zählrohrspannung	1650 V	850 V

Die Gesteinsproben wurden nach sorgfältiger händischer Pulverung auf Analysenfeinheit im Achatmörser als Schüttproben unter Verwendung eines leichten Stempeldruckes in einem Probenhalter mit Mylarfenster eingebracht und gemessen. Die Eichkurven wurden mittels internationaler Referenzgesteinsproben (G-1, W-1, T-1, BM, BR, Syenit-1, GR) und künstlich angefertigter Eichmischungen erhalten. Es wurden jeweils drei Proben mit der Standardprobe W-1 gemessen, so daß eine Korrektur auf eine festgelegte Intensität der Standardprobe vorgenommen und apparative Schwankungen ausgeglichen werden konnten.

III. Analysenergebnisse

Die Analysenergebnisse sind in den Tabellen 3 und 4 zusammengestellt.

Tabelle 3. Chemische Vollanalysen.

	Vollanalysen der Dobragneise und der Amphibolite					
	Gneise			Amphibolite		
SiO ₂	71,38	72,43	73,42	47,17	47,00	46,78
Al ₂ O ₃	15,98	15,55	13,76	15,76	13,62	15,25
FeO	1,85	1,16	1,40	11,73	12,68	10,44
Fe ₂ O ₃	0,49	0,81	0,69	1,55	3,70	2,53
MnO	0,06	0,03	0,03	0,22	0,26	0,03
TiO ₂	0,29	0,25	0,18	3,66	3,96	1,95
CaO	1,97	2,53	1,49	9,27	9,06	9,73
MgO	0,66	0,54	0,38	6,37	4,70	7,35
Na ₂ O	5,50	4,70	2,84	1,90	2,10	2,66
K ₂ O	1,85	1,58	5,84	1,40	1,25	0,65
H ₂ O-	0,10	0,12	0,19	0,06	0,02	0,46
H ₂ O+	0,42	0,45	0,22	1,55	1,86	1,69
	100,55	100,15	100,04	100,64	100,21	99,52

Niggliwerte

al	45	46	43	22	17	21
fm	14	12	13	48	52	48
c	10	14	9	23	24	24
alk	31	28	35	7	5	7
si	340	366	403	110	115	108
k	0,18	0,18	0,57	0,33	0,27	0,14
mg	0,32	0,33	0,26	0,46	0,34	0,53
si'	224	212	240	128	120	128
qz	116	154	163	-18	-5	-28

Anmerkung: Die Proben 1 und 24 passen zum trondhjemitischen Magmentyp (salisch, alkalireich bis intermediär, c-arm) bis zum natronrapakiwitischen Magmentyp. Probe Ex 1953 gehört zum leukogranitischen Magmentyp (ausgesprochen salisch, sauer, alkalireich und c-arm) bis zum engadinitgranitischen Magmentyp. Die drei Amphibolitproben entsprechen am ehesten dem gabbroiden Magmentyp (femisch, basisch alkaliarm und c-reich).

Tabelle 4. Instrumentelle Analysen.

a) Gneise

Nr.		1	17	24	27	31
%	K	1,7	1,8	1,3	3,25	1,02
%	Ca	1,65	3,0	2,0	0,54	2,30
%	Ti	0,14	1,72	0,17	0,29	0,27
ppm	Rb	37	52	48	145	41
ppm	Sr	400	36	850	255	720
ppm	Sc	16	24	<3	7,5	4,5
ppm	Y	67	10	10	16	13
ppm	Zr	160	1100	125	600	140
ppm	V	10	162	4,5	38	19
ppm	Cr	1,2	240	<1	16	<1
ppm	Mn	200	1300	70	115	120
ppm	Ni	<1	200	<1	29	5
ppm	Co	<2	55	<2	18	3,3
ppm	Cu	11	22	<1	15	<1
ppm	Ag	1,6	1,6	≤0,1	≤0,1	≤0,1
ppm	Yb	4,3	2,3	0,75	0,9	1,15
ppm	Mo	<3	3,6	3	3	3
ppm	Zn	≤100	1350	≤100	650	≤100
ppm	Tl	<3	<3	<3	<3	<3
ppm	Sn	<10	<10	<10	<10	<10
ppm	Be	4	3	3	3	3
ppm	Ga	26	60	23	40	40
ppm	La	47	<10	<10	31	47
ppm	Pb	14	47	13	38	10
ppm	Ba	430	730	550	1450	650
	K/Rb	459,5	346,1	270,8	224,1	248,8
	Ca/Sr	41,3	833,3	23,5	21,2	31,9
	Ni/Co	0,5	3,54	0,5	1,61	1,52
	Ca/Ti	17,86	1,74	11,76	1,86	8,52

Nr.		37	53	66	73	74
%	K	1,75	2,00	0,96	1,75	2,00
%	Ca	2,10	2,15	4,00	1,48	1,35
%	Ti	0,063	0,20	0,056	0,21	0,10
ppm	Rb	35	63	123	155	40
ppm	Sr	550	540	240	460	350
ppm	Sc	<3	<3	<3	7,5	<3
ppm	Y	14	12,5	20	22	18
ppm	Zr	360	125	110	180	320
ppm	V	6,8	15,5	4	47	21
ppm	Cr	1,6	<1	4,4	<1	<1
ppm	Mn	50	10	600	200	500
ppm	Ni	3	<1	1,8	13	<1
ppm	Co	<2	<2	<2	12	<2
ppm	Cu	11	<1	3,5	6	4,5
ppm	Ag	≤0,1	0,26	≤0,1	0,28	0,5
ppm	Yb	0,92	0,8	2,5	2,8	1,7
ppm	Mo	<3	<3	<3	<3	<3
ppm	Zn	120	≤100	760	≤100	≤100
ppm	Tl	<3	<3	<3	<3	<3
ppm	Sn	<10	<10	<10	<10	<10
ppm	Be	<3	<3	<3	≤3	<3
ppm	Ga	26	35	44	50	27
ppm	La	<10	28	<10	48	<10
ppm	Pb	6	13	40	17	21
ppm	Ba	800	720	570	440	850
	K/Rb	500,0	317,5	78,8	112,9	500,0
	Ca/Sr	38,2	39,8	166,7	32,2	38,6
	Ni/Co	2,0	0,5	1,0	1,08	0,50
	Ca/Ti	33,33	10,75	71,4	7,05	13,5
Nr.		86	99	80	121	134
%	K	4,45	4,10	2,75	1,82	0,73
%	Ca	0,76	0,90	1,70	3,6	1,38
%	Ti	0,184	0,26	0,172	0,55	0,49
ppm	Rb	205	122	60	110	28
ppm	Sr	157	190	665	355	57
ppm	Sc	5,8	8,9	7,5	20	7,5
ppm	Y	45	19	<10	28	38
ppm	Zr	260	215	170	100	260
ppm	V	22,5	38	8,5	104	80
ppm	Cr	1,8	6,3	<1	110	82
ppm	Mn	187	155	125	225	<10
ppm	Ni	<1	2,6	1,2	30	6
ppm	Co	2,6	4,0	<2	12	2,8
ppm	Cu	1,5	1,5	1,7	40	18
ppm	Ag	≤0,1	1,5	≤0,1	≤0,1	0,24
ppm	Yb	2,8	1,9	—	3,5	1,9
ppm	Mo	<3	<3	<3	<3	<3
ppm	Zn	670	475	100	700	650
ppm	Tl	<3	<3	<3	<3	<3
ppm	Sn	<10	<10	<10	<10	<10
ppm	Be	3	3	<3	5	4
ppm	Ga	21	24	30	52	26
ppm	La	90	85	58	<10	<10
ppm	Pb	27	65	20	5	15
ppm	Ba	660	850	2100	500	≤100
	K/Rb	217,1	336,0	458,3	165,5	260,7
	Ca/Sr	43,4	47,4	25,5	101,4	242,1
	Ni/Co	0,38	0,65	0,60	2,5	2,14
	Ca/Ti	4,13	3,46	9,88	6,6	2,8

Nr.		148	186	195
%	K	2,80	4,05	3,55
%	Ca	4,45	0,83	0,68
%	Ti	0,50	0,215	0,195
ppm	Rb	186	240	245
ppm	Sr	91	70	50
ppm	Sc	13	4,5	5,5
ppm	Y	30	63	75
ppm	Zr	<100	255	200
ppm	V	70	17	21
ppm	Cr	77	7,5	8
ppm	Mn	770	160	220
ppm	Ni	36	5	5
ppm	Co	17	3,3	3,4
ppm	Cu	12	6,5	15
ppm	Ag	<0,1	0,4	<0,1
ppm	Yb	3,9	3,6	5,5
ppm	Mo	<3	<3	<3
ppm	Zn	600	740	1100
ppm	Tl	<3	<3	<3
ppm	Sn	<10	<10	<10
ppm	Be	3	3	3
ppm	Ga	14	32	31
ppm	La	<10	42	<10
ppm	Pb	13	53	54
ppm	Ba	850	670	420
	K/Rb	150	168,7	144,9
	Ca/Sr	489,0	118,6	136,0
	Ni/Co	2,12	1,52	1,47
	Ca/Ti	8,90	3,86	3,5

b) Amphibolire

Nr.		4	11	18	29	40
%	K	0,90	1,20	1,27	0,56	0,55
%	Ca	6,8	6,35	6,5	7,0	6,5
%	Ti	2,15	0,80	1,42	1,08	1,55
ppm	Rb	38	52	58	<10	19
ppm	Sr	535	460	415	295	470
ppm	Sc	35	39,5	29	31,5	56
ppm	Y	58,5	42	48	48	53
ppm	Zr	266	254	2226,5	89	260
ppm	V	380	370	287	288	450
ppm	Cr	94	183	176	252	79
ppm	Mn	1270	1610	1770	1160	1370
ppm	Ni	46,5	81,5	79,5	73	55
ppm	Co	60,5	61	62	48,5	53
ppm	Cu	43	<3	49	42,5	30,5
ppm	Ag	2	—	—	0,56	0,85
ppm	Yb	—	—	—	—	3,6
	K/Rb	236,8	230,8	219,0	560,0	289,4
	Ca/Sr	127,1	138,0	156,6	237,3	138,3
	Ni/Co	0,77	1,34	1,28	1,51	1,04
	Ca/Ti	3,16	7,94	4,64	6,48	4,19

Nr.		54	59	75	102	107
%	K	0,72	0,52	0,97	0,42	1,19
%	Ca	6,40	7,4	6,45	6,80	5,85
%	Ti	2,30	0,94	1,16	1,57	1,61
ppm	Rb	22	16	38	17	78
ppm	Sr	530	273	422	127	525
ppm	Sc	38	38	36,5	57	32,75
ppm	Y	50	38	52,5	62	54
ppm	Zr	150	119	155	200	362,5
ppm	V	300	298	400	750	346
ppm	Cr	75	90	188	102	90
ppm	Mn	1314	1500	1365	1870	1875
ppm	Ni	40	360	72	65	24,5
ppm	Co	52	77	67	59	54,5
ppm	Cu	20	33	128	77	20,8
ppm	Ag	—	0,68	—	1,75	1,37
ppm	Yb	—	—	—	6,8	4,7
	K/Rb	327,3	325,0	255,2	247,1	152,6
	Ca/Sr	120,8	271,0	152,8	535,4	111,4
	Ni/Co	0,77	4,86	1,07	1,10	0,45
	Ca/Ti	2,78	7,87	5,56	4,33	3,63

Nr.		126	157	177	187
%	K	0,39	0,31	0,70	1,18
%	Ca	7,40	5,75	7,50	7,75
%	Ti	0,59	0,86	1,03	1,46
ppm	Rb	11	<10	14	41
ppm	Sr	300	385	550	228
ppm	Sc	25,5	25	43,5	57
ppm	Y	32	35	45	56
ppm	Zr	82	116	86	254
ppm	V	218	235	295	480
ppm	Cr	195	95	153	33
ppm	Mn	1300	1060	1210	1300
ppm	Ni	228	97	78	34,5
ppm	Co	67	49,5	49	60
ppm	Cu	21,5	70	<3	16
ppm	Ag	—	0,68	—	1,45
ppm	Yb	—	—	—	4,7
	K/Rb	354,5	310,0	500	287,8
	Ca/Sr	246,7	149,4	136,4	339,9
	Ni/Co	3,40	1,96	1,59	0,57
	Ca/Ti	12,55	6,69	7,28	5,31

IV. Diskussion der Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse wurde auf graphischem Wege mit Hilfe binärer Korrelationsdiagramme vorgenommen. Zur Ergänzung wurden auch Daten aus den Arbeiten von GROHMANN (1965), JANDA, SCHROLL und SEDLAZEK (1965) verwendet sowie auch andere unveröffentlichte Analysenergebnisse (SCHROLL, 1966, 1967). Die Diagramme enthalten auch Durchschnittswerte von Gesteinstypen, die im wesentlichen aus den Zusammenstellungen von TURKIAN und WEDEPOHL (1961) : (TW), GROHMANN (1965) : (G), CAMEL und KUPČO (1965) : (CK), ENGEL und ENGEL (1965) : (E) entnommen sind. Beim Zeichnen der Korrelationsdiagramme wurde auf die bei HEIER (1962) und JANDA, SCHROLL und SEDLAZEK (1965) vorgeschlagenen Korrelationen Ni/Co, Cr/Ni, Ni/Cu und Zr/Ni zurückgegriffen. Außerdem wurden die Diagramme für K/Rb, K/Ti, Ca/Sr, Rb/Ba, La/Y, K/Zr und Ca/Ti entworfen sowie auch die Elementarverhältnisse K/Rb—Ca/Ti, K/Rb—Ca/Sr, Ni/Co—K/Rb in Beziehung zueinander gesetzt.

1. Ni/Co-Korrelationsdiagramm, Fig. 1*)

Die Durchschnittswerte für alle Basite, auch die Mittelwerte von Gabbros und Amphiboliten der Kleinen Karpathen von CAMEL und KUPČO (1965) fallen in das Orthofeld der Amphibolite. Von den in dieser Arbeit untersuchten Amphibolite sind aber nur ein Teil im sicheren Orthofeld zu finden. Es sind dies Amphibolite aus dem Dobra-Komplex (11, 18, 29, 59 und S₄) als auch Amphibolite aus dem Krumauer Komplex (126, 157 und 177). Alle anderen Proben fallen entweder in das Feld hochmetamorpher Amphibolite, verschieferter Amphibolite oder auch in das „Parafeld“. Das soll nun nicht heißen, wie auch JANDA, SCHROLL und SEDLAZEK (1965) angeben, daß es sich tatsächlich um aus reinen Sedimenten hervorgegangene Gesteine handelt, sondern daß es sich nur um, durch hochgradige Metamorphose entartete Orthobasite oder aber um Alkalibasalte, tholeiitische Basalte, Tuffe, Tuffite, hydrothermal veränderte Basite und dergleichen handeln kann.

Mehrere Gneise des Krumauer Komplexes (121, 148) sowie auch die bei GROHMANN angegebenen Paragneise fallen in das Feld der sicheren Tongesteine. Die größere Zahl der Dobra-Gneise, aber auch Gneise aus dem Krumauer Komplex ordnen sich um ein Ni/Co-Verhältnis von 2 an.

Die Orthogneise von GROHMANN konzentrieren sich, wie auch einige Proben der Dobra-Gneise (1, 24, 53, 74, 86 und S), am unteren linken Eck des Diagramms. Abweichend verhält sich die Probe 17 und Proben 27, 37, 66, 73 und 99. Die Probe 17 war überhaupt nicht mehr einzutragen, da sie außerhalb der Grenze des Diagramms zu liegen käme.

Die zwei von DESHPANDE untersuchten Proben von Spitzer Gneis (S₁ und S₂) liegen ebenso wie die Hornblendegranulite von Steingraben im Bereich tonalitoider Gesteine (Co > Ni).

*) Zeichenerklärungen S 191/192.

2. Cr/Ni-Korrelationsdiagramm

Einige der beim Ni/Co-Diagramm im Orthofeld befindlichen Proben (11, 18, 29, 59, S₄, 157 und 177) fallen hier in die Randzone des Konzentrationsfeldes der Orthoamphibolite. Die Werte zeigen eine stärkere Streuung als beim Ni/Co-Korrelationsdiagramm, wobei allerdings die Hornblendegranulite (E und F) und einer der Krumauer Gneise (134) sich anomal verhalten, während die große Zahl der Proben einem Cr/Ni-Verhältnis von 1 folgt.

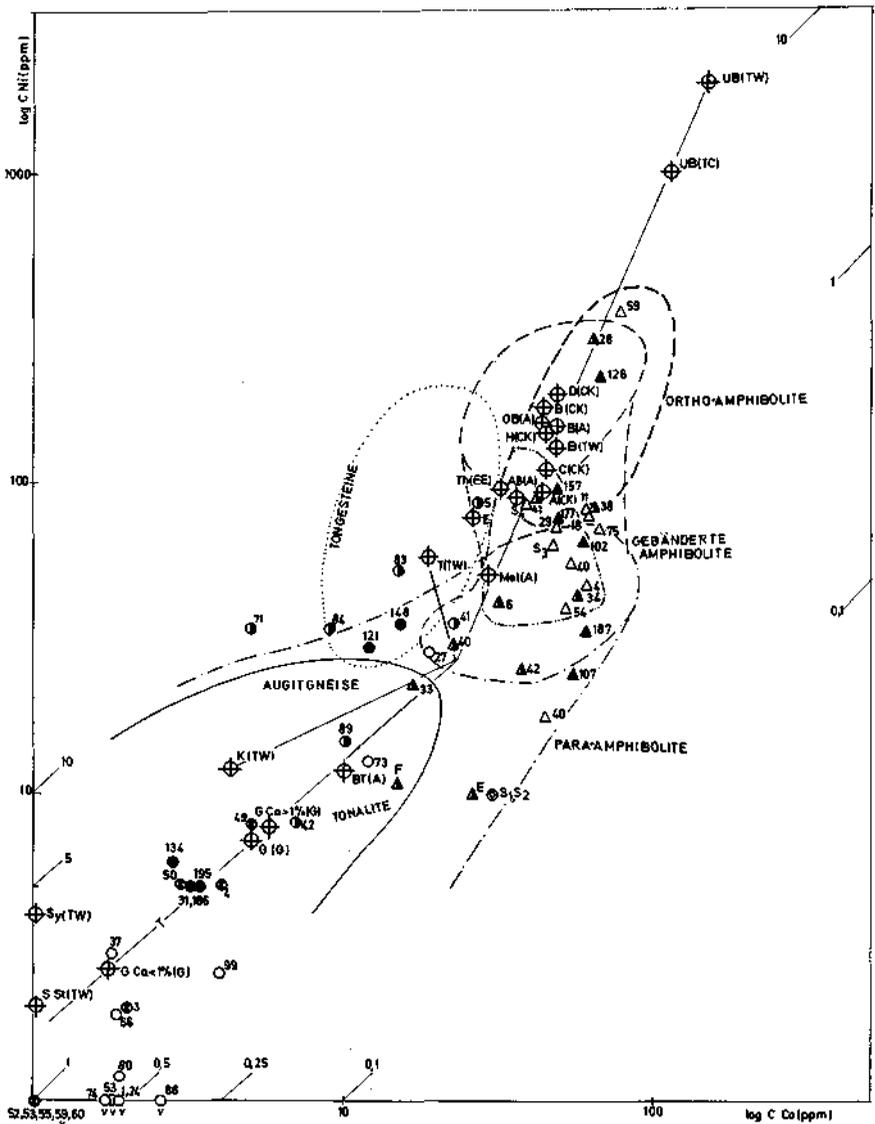


Fig. 1: Ni/Co-Korrelationsdiagramm.

Ein Unterschied zwischen Para- und Orthogneisen ist aus diesem Diagramm weniger gut ablesbar, außer daß die Paragneise höhere Absolutkonzentrationen aufweisen.

Von den Dobra-Gneisen häufen sich wieder die Proben 1, 24, 53, 74, 86 und 80 im Eck geringer Chrom- und Nickelgehalte. Abweichend verhalten sich die Proben (17, 27, 37, 66, 99, S₁ und S₂), die ein starkes Streufeld wie die Krumauer Gneise zeigen. Die Probe 73 verhält sich als Außenseiter.

3. Ni/Cu-Korrelationsdiagramm

Im Orthofeld sind die eindeutig als Orthoamphibolite bezeichneten Proben (59, S₄, 126 und 157) anzutreffen. Mit Ausnahme von Melaphyren und ozeanischen Tholeiiten fallen alle Durchschnittswerte in das Orthofeld. Der größere Teile der Krumauer Gneise liegt auch hier im oder in der Nähe des Konzentrationsfeldes von Tongesteinen, die sich aber eindeutig durch absolut höhere Ni/Cu-Werte von den Orthogneisen unterscheiden. Die Orthogneise sind wieder eindeutig — allerdings mit einer weiten Streuung (Ni/Cu 0,5) — im Bereich niederer Konzentrationen zu finden — wobei sowohl $Ni > Cu$ oder auch $Cu > Ni$ sein kann.

4. Zr/Ni-Korrelationsdiagramm

Das Zr/Ni-Diagramm bestätigt das Ergebnis der drei oben diskutierten Korrelationen. Die Krumauer Gneise, beziehungsweise die Paragneise nehmen ein lang gestrecktes Feld ein, bei dem der Zr-Gehalt vom Ni-Gehalt unabhängig erscheint. Dazu gehört aber auch die zweite Gruppe der Dobra-Gneise, die sich in fast allen anderen Diagrammen zum Paramaterial hinordnen. Die erste Gruppe der Dobra-Gneise konzentriert sich deutlich bei niedrigeren Ni-Werten (um 1 ppm). Eine Erklärung wäre wohl, daß in den Dobra-Gneisen Paramaterial enthalten ist.

5. K/Rb-Korrelationsdiagramm, Fig. 2

Das K/Rb-Diagramm zeigt eine gute Korrelation zwischen Kalium und Rubidium, wies dies auch SCHROLL und GROHMANN (1965) angegeben haben. Bei basischen Proben konnten leider nicht überall Analysen durchgeführt werden, da der Rb-Gehalt oft unter der Nachweisgrenze der angewandten Analysenmethode gelegen war. Paragneise und Orthogneise zeigen im Bereich von K-Konzentrationen über 2% eine Koinzidenz. Das Feld der Paragneise setzt sich jedoch bei einem mittleren K/Rb-Wert von 170 bis zu einer K-Konzentration von fast 0,5% fort. Die Dobra-Gneise liegen in einem weiteren Streufeld, dessen mittleres K/Rb-Verhältnis mit 280 relativ hoch ist; nur die als Paragneise verdächtigten Proben 27, 66, 73, 86, 99 des Dobra-Komplexes tendieren zu niedrigeren K/Rb-Werten.

Die Amphibolite des Dobra-Komplexes kommen bei einem mittleren K/Rb-Wert von 300 im Feld der Basite etwa in der Verlängerung zu den Para- und Orthogneisen zu liegen. Die übrigen Amphibolite des Krumauer

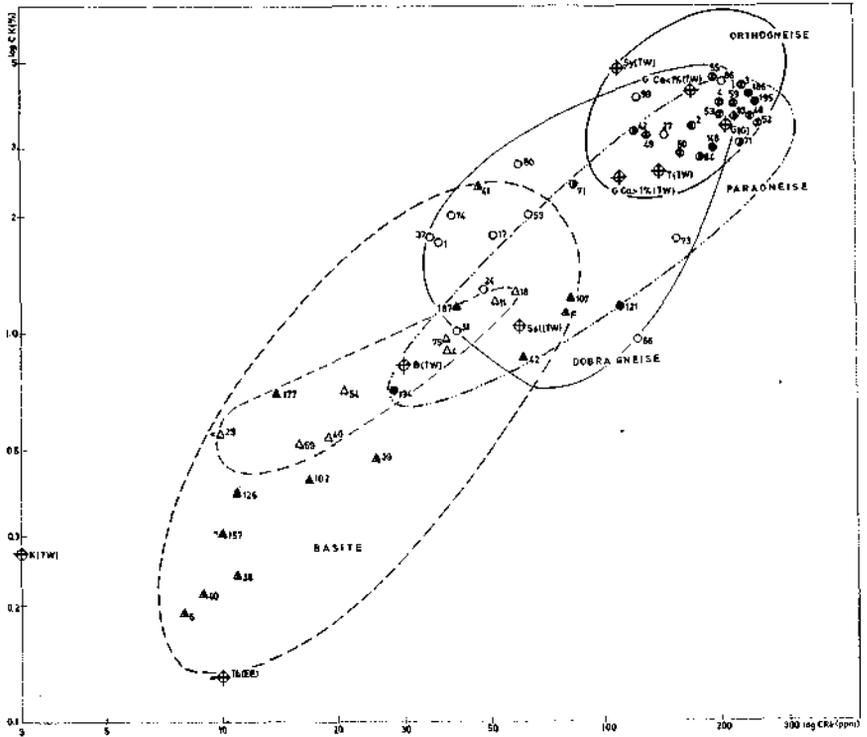


Fig. 2: K/Rb-Korrelationsdiagramm.

Komplexes zeigen ein etwas niedrigeres K/Rb-Verhältnis, so daß sich folgende Abfolge der K/Rb-Werte ergibt:

1. Dobra-Gneise.
2. Krumauer Gneise bzw. Paragneise.
3. Amphibolite des Dobra-Komplexes.
4. Amphibolite des Krumauer Komplexes.

Die K/Rb-Werte der Paragneise sind denen der Amphibolite aus dem Krumauer Komplex ähnlich.

Die Amphibolite des Krumauer Komplexes liegen fast durchwegs im selben K/Rb-Konzentrationsbereich wie Amphibolite aus den Ostalpen. Die K/Rb-Werte kommen denen des Dobra-Komplexes sehr nahe.

6. K/Ti-Korrelationsdiagramm, Fig. 3

Die Korrelation K/Ti trennt das Konzentrationsfeld von Basiten und Felsiten fast vollkommen auf, nur die Proben 134 und 17 liegen außerhalb des Gneisfeldes. Die Probe 134 ist ein Paragneis. Die Probe stammt aus dem Dobra-Komplex. (Die Probe 31 ist in bezug auf die Ordinate fehlerhaft eingezeichnet.)

Die Paragneise decken sich im K/Ti-Verhältnis zum Teil mit den Orthogneisen. Trotzdem wird ein beschränktes Feld von eindeutig erfassbarem Paramaterial sichtbar.

Die Dobra-Gneise verhalten sich vollkommen anomal, wobei die Proben 1, 24, 37, 53, 66 und 73 sogar außerhalb der üblichen Ortho- und Paragneise liegen. Sie zeichnen sich durch einen niedrigen K- und einen höheren Na-Wert aus. Dagegen befinden sich die drei Proben der Dobra-Gneise 27, 86 und 99 im Feld der sicheren Orthogneise. Indifferent verhält sich die Probe 80, die aus einem Übergang zum Kraumauer Komplex stammt.

Recht auffällig ist, daß die Basite einer anderen Regression folgen als die üblichen sialischen Gesteine. Die Regressionslinie der Dobra-Gneise zeigt ebenso wie die der Basite eine positive Neigung, wobei allerdings der Ti-Gehalt erniedrigt erscheint.

7. K/Zn-Korrelationsdiagramm

Die Mehrzahl der Dobra-Gneise liegt als Orthogneise im Bereich der durchschnittlichen geochemischen Häufigkeit beider Elemente. Die untersuchten Krumauer Gneise fallen aber in ein eigenes Feld mit extrem hohen Zn-Werten.

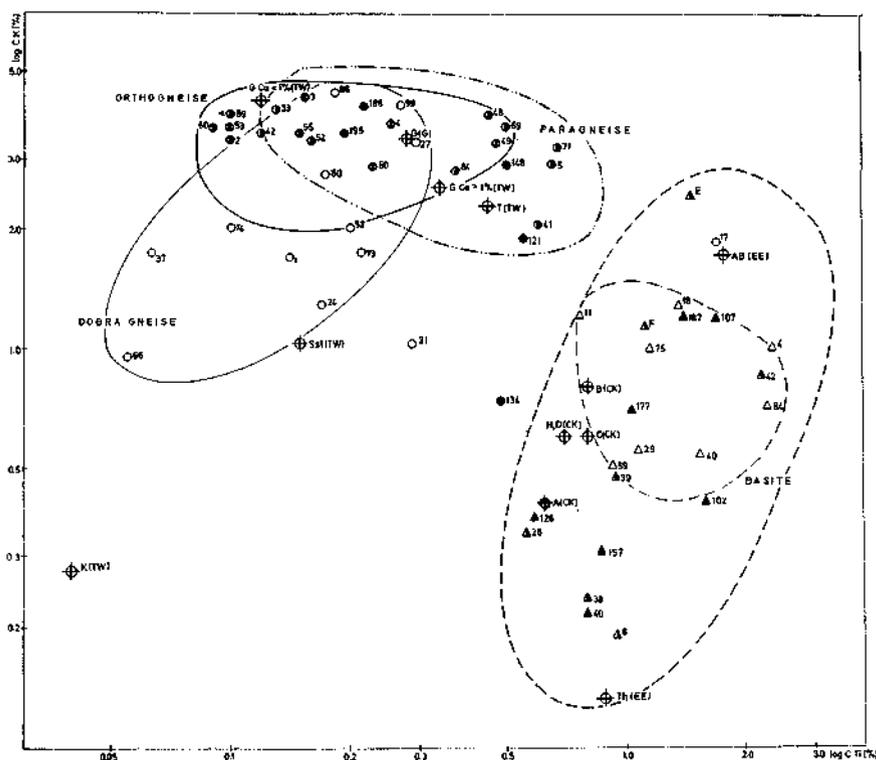


Fig. 3: K/Ti-Korrelationsdiagramm.

Von den Dobra-Gneisen fallen die Proben 27, 66, 86 und 99, auch die nicht mehr eingetragene Probe 17, in dieses Feld der Paragneise. Die Proben 66, 86 und 99 lagen in bisherigen Diagrammen vorzugsweise im oder in der Nähe vom Feld der Orthogneise; nur die Probe 27 verhielt sich in der Mehrzahl der Diagramme abweichend.

8. La/Y-Korrelationsdiagramm

Die Korrelation La/Y gestattet es ebenso, die Paragneise von den Dobra-Gneisen und Orthogneisen zu unterscheiden. Eine Ausnahme davon scheint nur die Probe 1 vom Dobra-Gneis zu machen. Die Dobra-Gneise unterscheiden sich von den Paragneisen durch niedrigere Y-Werte, die für gewöhnlich unter 30 ppm liegen.

9. Rb/Ba-Korrelationsdiagramm, Fig. 4

Auch die Korrelation Rb und Ba scheint trotz der geringeren Probenzahl zu brauchbaren Ergebnissen zu führen. Dabei nehmen die Gesteine der Dobra-Gneise und der Krumauer-Gneise charakteristische Felder ein. Auffälligerweise liegen die Zn-armen Dobra-Gneise in einem eigenen Feld. Eine Ausnahme davon macht wieder die Probe 17. Die Zn-reichen

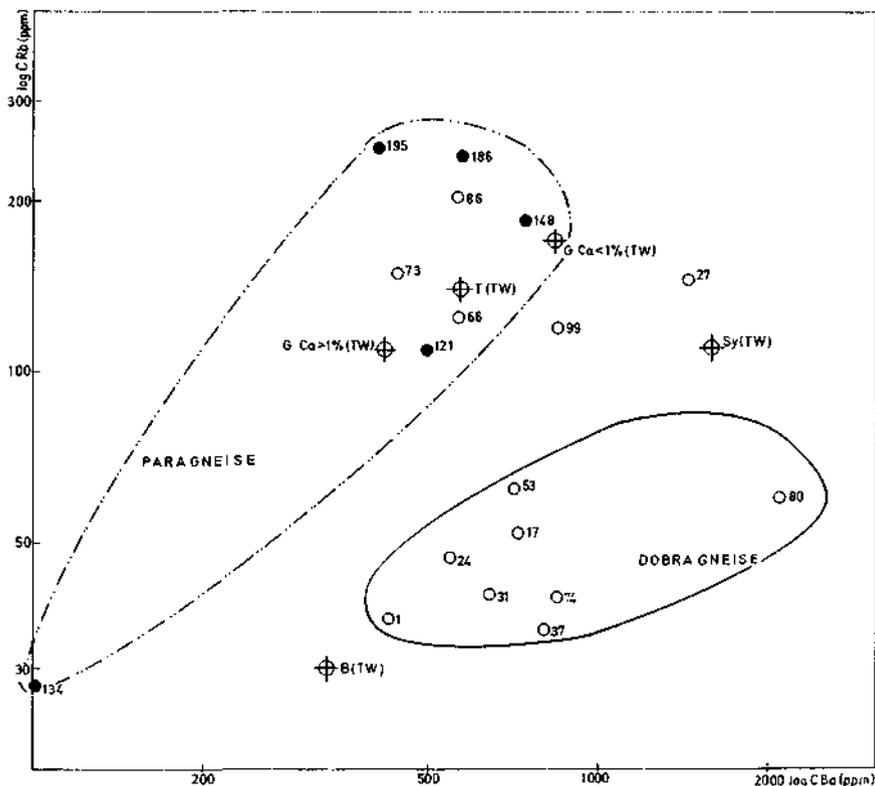


Fig. 4: Rb/Ba-Korrelationsdiagramm.

Im Gegensatz zu den sauren Gesteinen zeigt der Sr-Gehalt vom Ca-Gehalt der Basite keine Abhängigkeit. Interessanterweise liegen die Amphibolite des Dobra-Komplexes, im Gegensatz zu denen der Krumauer Gneise, in einem sehr engen Konzentrationsfeld, dessen Mittelwert etwa dem der Dobra-Gneise entspricht, wie dies bei K und Rb bereits angedeutet worden ist. Die Amphibolite des Krumauer Komplexes nehmen ein weiteres Konzentrationsfeld ein, das dem der Basite angepaßt ist. Auch die Krumauer Gneise zeigen ein sehr variantes Verhalten, wobei der Ca-Wert in Relation zum Sr-Wert ansteigt. Im Gegensatz zum Dobra-Gneis scheint es bei den Paragneisen keine Korrelation zwischen Ca und Sr zu geben. Das wäre vielleicht damit zu erklären, daß sich bei einem magmatischen

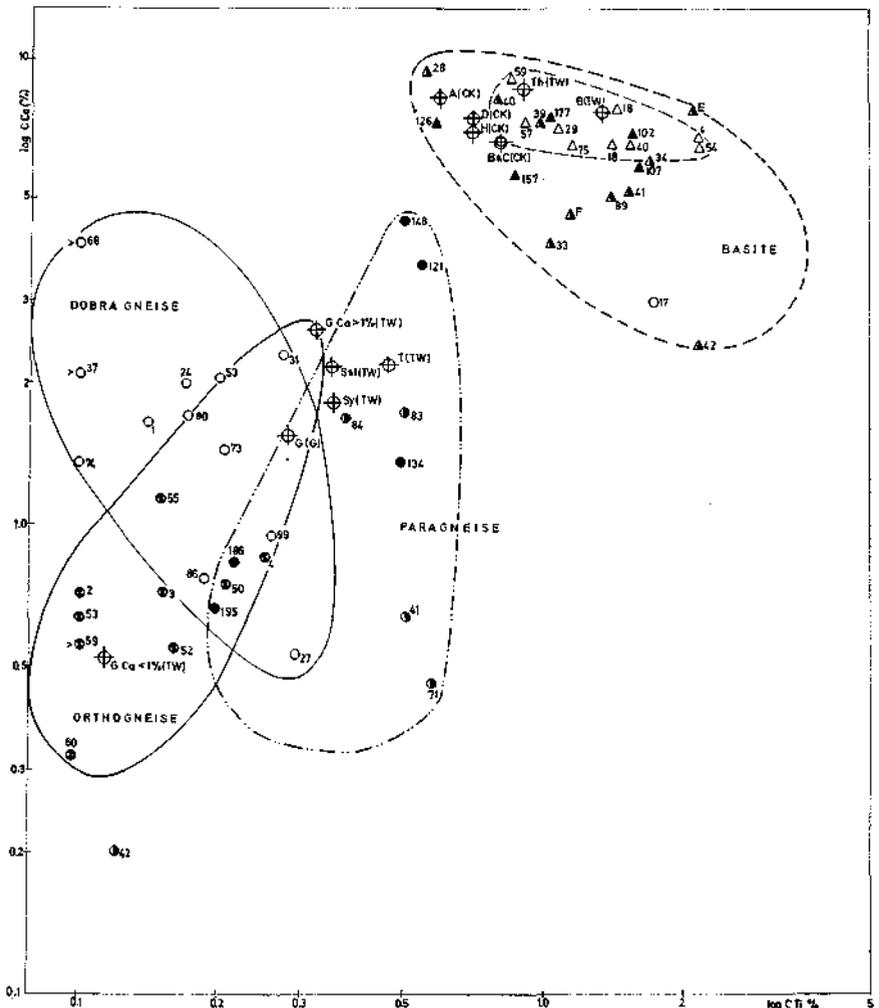


Fig. 6: Ca/Ti-Korrelationsdiagramm.

Differenzierungsprozeß oder bei partiellen Aufschmelzungsprozessen ein Gleichgewicht einstellt, während das ursprünglich sedimentäre Material, das variable Mengen von Mineralen mit sehr unterschiedlichen Ca/Sr-Verhältnissen, wie Calciumcarbonate, Plagioklase usw., enthalten kann, im Verlauf der Metamorphose keine wesentliche Veränderungen erfahren hat.

Bei den Dobra-Gneisen sind allerdings wieder die Proben 17 und 66 Ausnahmen. Beide Proben tendieren zum Paragesteinsmaterial.

11. Ca/Ti-Korrelationsdiagramm, Fig. 6

Sowie das K/Ti-Diagramm zeigt auch dieses eine negative Korrelation der basischen Gesteine. Der Dobra-Gneis hat eine ähnliche Neigung. Orthogneise und Paragneise nehmen weitgehend getrennte Felder ein. Beide Felder durchschneiden das Konzentrationsfeld der Dobra-Gneise. Jene Dobra-Gneise, die zum Typ der Zn-armen Gneise gehören, liegen eher im Feld der Orthogneise. Von den Zn-reichen Proben liegen 27, 86 und 99 im Feld der Paragneise, während die Probe 66 eindeutig entartet ist und die Probe 17 überhaupt im Feld der Basite zu finden ist. Die Regressionslinien der Ortho- und Paragneise scheinen sich in der Regressionslinie der Basite zu schneiden. Die Amphibolite der Dobra-Gneise nehmen wieder ein relativ enges Feld ein.

V. Zusammenfassung der geochemischen Auswertungen

Für eine endgültige Aussage ist selbstverständlich die statistische Masse noch immer zu klein. Trotzdem zeigen die Diagramme für die Amphibolite, daß es sich auf keinen Fall um Paraamphibolite im klassischen Sinne handelt. Die Amphibolite aus dem Dobra-Komplex und die Amphibolite aus dem Krumauer Komplex lassen sich in ihrem Chemismus nicht wesentlich unterscheiden, nur daß die Dobra-Komplex-Amphibolite weniger variant sind als die des Krumauer Komplexes. Die Letzteren tendieren eher in das Feld der vorgezeichneten Orthoamphibolite, welches mit dem der Olivinbasalte oder Olivingabbros übereinstimmt. Diese Variation wäre vielleicht damit zu erklären, daß die Krumauer Amphibolite auch Tuffe und tuffitisches Material enthalten können. Ansonst müßte man annehmen daß die Differentiation ein stärkeres Ausmaß erreicht hat. Inwiefern die Amphibolite im Dobra-Komplex als Basalte, Diabase, Dolerite, Tuffe oder Tuffite aufzufassen sind, wäre zu erwägen.

Die Krumauer Gneise lassen sich von den Dobra-Gneisen mit größter Wahrscheinlichkeiten durch hohe Ni-, Co-, Cr-, Cu-, Y-, Ti-, Rb-, Zn-Konzentrationen unterscheiden, wobei vor allem die Werte von Ca/Ti, Ca/Sr, K/Zn, K/Ti, K/Rb, Rb/Ba, Ni/Co, Cr/Ni und La/Y nützlich erscheinen. Selbstverständlich dürfte ein Korrelationspaar nicht allein angesehen werden, sondern es müßten mehrere Elementpaare hiezu herangezogen werden, so daß die Wahrscheinlichkeit der Aussage erhöht wird.

Innerhalb der Dobra-Gneise dürften wenigstens zwei statistische Gruppen existieren, deren Kenntnis für deren Genese von Bedeutung sein dürfte.

Tabelle 5.

Proben Nr.	1	17	24	27	31	37	53
Ni/Co	1	2	1	2	2	2	1
Cr/Ni	1	(2)	1	2	1	2	1
Ni/Cu	1	(2)	1	2	(2)	2	1
Zr/Ni	1	2	1	2	2	2	1
K/Rb	1	2	1	2	1	2	1
K/Ti	1	1	1	2	2	(2)	1
K/Zn	1	2	1	2	1	1	1
Rb/Ba	1	1	1	2	1	1	1
Ca/Ti	1	2	1	2	1	2	1
Gneistyp	I	II	I	II	II?	II	I

Proben Nr.	66	73	74	80	86	99
Ni/Co	(2)	2	1	1	1	2
Cr/Ni	2	(2)	1	1	1	2
Ni/Cu	2	2	1	1	1	2
Zr/Ni	2	2	1	1	1	2
K/Rb	2	2	1	1	(2)	2
K/Ti	(2)	(2)	1	(2)	(2)	2
K/Zn	2	1	1	1	2	2
Rb/Ba	2	2	1	1	2	2
Ca/Ti	2	(2)	1	1	2	2
Gneistyp	II	II	I	I	II?	II

Die erste Gruppe der Dobra-Gneise dürfte aller Wahrscheinlichkeit nach magmatogener Herkunft sein. Sie zeichnet sich durch ein relativ hohes K/Rb-Verhältnis aus (250, maximal 500), womit sie sich vor allem von den üblichen Orthogneisen unterscheidet. Ihr Gehalt an Sr und Na ist wesentlich höher als der der üblichen Orthogneise. Wenn es sich dabei also um ein magmatisches Differentiat handeln sollte, so keinesfalls um ein kalireiches Spätdifferentiat, wie es in der oberen Kruste aufzutreten pflegt. Die zweite Gruppe der Dobra-Gneise ist weniger homogen und liegt in einem weiteren Streubereich. Das Ni/Co-Verhältnis erscheint in dieser Gruppe ebenfalls erhöht. Sowohl der Ni-Gehalt als auch die Cr-Konzentration erscheinen hoch. Auch der Zn-Gehalt kann anomal hoch werden, wie ein Teil der Proben (66 und 27) zeigt. Die Ti-, Sr- und Cu-Gehalte variieren stark und können vor allem in Zn-armen Proben sehr gering werden. Einige dieser Proben, wie z. B. die stark anomalen Proben 17, 27 und 66 sind wahrscheinlich auch als Paramaterial anzusprechen.

In Tabelle 5 ist eine Zuordnung der zum Typ 1 und 2 auf Grund der vorgelegten Diagramme vorgenommen. Die in Klammern gesetzten Ziffern sollen andeuten, daß die Zuordnung nicht sicher ausgesprochen werden kann. Danach gehören also, wenn etwa alle Kriterien entsprechen, eindeutig zum Typ 1: 1, 24, 53, 74 und 80 und zu Typ 2: 17, 27, 66 und

99. Mit noch hinreichender Wahrscheinlichkeit zum Typ 2 sind die Probe 73, während die Proben 31 und 86 eine Art Mischtyp unsicherer Zuordnung abgeben. Der Typ 1 scheint auf allen Diagrammen vom typischen Orthomaterial abgetrennt — während der Typ 2 stets in das Feld der Orthogneise, beziehungsweise in den Überschneidungsbereich mit Paragneis zu liegen kommt. Der Typ 1 dürfte aber trotzdem, wie oben erwähnt, als Orthotyp anzusprechen sein, der Na-Vormacht hat. Der Typ 2 kommt entweder in das Feld der Orthogneise, oft auch in das der Paragneise zu liegen, beziehungsweise zeigt extreme Streuwerte. Diese Gruppe ist wahrscheinlich genetisch nicht homogen. Ihr kann sowohl normales Orthomaterial mit Kalivormacht zuzurechnen sein, als auch vor allem Paramaterial. Hieber gehören alle extreme Proben, die bereits als Paramaterial ausgewiesen worden sind. Vor allem die Zn-reichen Proben charakterisieren das Paramaterial. Damit kann gezeigt werden, daß auch vom geochemischen Standpunkt der Dobra-Gneis nicht als eine genetisch-homogene Masse zu betrachten ist.

Die Ergebnisse der petrographischen und geochemischen Untersuchungen stimmen auch auffallend überein, wenn man die Proben 1, 17, 24, 27, 53, 74 und 80 in Betracht zieht (vgl. Tab. 5). Die Proben 31, 37 und 86, die petrographisch zum Paratyp (Typ 2) gehören, liegen im Übergangsbereich. Die Proben 66, 73 und 99, die megaskopisch granitische Merkmale zeigen und petrographisch dem Typ 1 zuzuordnen sind, weisen trotzdem alle geochemischen Merkmale für sedimentäre Herkunft auf (Typ 2).

Die vorliegenden Untersuchungen liefern den Beweis, daß es nützlich sein kann, systematische Untersuchungen und statistische Aspekte für petrologische Probleme heranzuziehen. Um zu einem vollen Erfolg zu kommen, wäre es zwar notwendig gewesen, von jeder Population von Gesteinstypen wenigstens 30 Proben zu untersuchen. Das wäre im vorliegenden Falle etwa 100 bis 200 Proben gewesen. Außerdem müßte die Elementverteilung in den sedimentären und magmatischen Ausgangsgesteinstypen noch besser studiert sein. Die vorliegenden geochemischen Beobachtungen unterstützen aber den Feldbefund trotzdem in ausreichendem Maße.

Nachtrag

Ohne Kenntnis der vorliegenden Arbeit hat FRASL (1970) folgendes festgestellt:

„Jedenfalls möchte ich für den Bitterscher Gneis und ebenso auch für den Dobra-Gneis ein hauptsächlich suprakrustales Ausgangsgestein annehmen. Nicht nur, daß die Einschaltung von vielen dünnen basischen Lagen bei vulkanischen Ablagerungen unschwer verständlich ist; auch die meist feinkörnige Beschaffenheit kommt bei Gneisen aus vulkanischem Ausgangsmaterial oft vor. Kalifeldspatauge passen ohne weiteres zu einer primären vulkanischen Entstehung, wenn sie wie hier in beiden Fällen bei optimaler reliktscher Erhaltung und schwacher Triklinisierung noch idiomorphe Zwillinge mit einem feinschaligen Zonarbau eines ganz

bestimmten Typs erkennen lassen (vgl. G. FRASL: *Jb. Geol. B. A. Wien* 1954, Abb. 7, Taf. IX und p. 76 f. und 104).

Und schließlich wäre es schwieriger sich vorzustellen, wie eine so dünne Gneisplatte von 120 km Länge aus einem rundlichen Granitpluton ausgewalzt wird, als wenn das Ausgangsmaterial bereits etwa eine Porphyryplatte darstellt, z. B. das Ergebnis eines großen Lineargusses, wie dergleichen aus verschiedenen Ignimbritgebieten in der Literatur des letzten Jahrzehnts bekanntgeworden ist.“

D a n k s a g u n g

Für die Anleitung zu dieser Arbeit danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. E. SCHROLL (Wien), der mir auch die analytischen Arbeiten in den chemischen Laboratorien des Grundlageninstitutes der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal in Wien ermöglicht hat. Eine Reihe von unveröffentlichten Analysen von Vergleichsmaterial wurde mir dankenswerterweise zur Auswertung überlassen. Ich bin außerdem für die Durchsicht und Revision des Manuskriptes dieser Arbeit zu Dank verpflichtet. Für die Einführung in die Arbeitsmethodik der optischen Spektroskopie danke ich Frau Dr. Ingeborg JANDA (GI/BVFA), ebenso wie für die Unterstützung bei den naßanalytischen Arbeiten. Frau Dr. Erika STEPAN hat mich dankenswerterweise mit der röntgenfluoreszenzanalytischen Arbeitsmethode vertraut gemacht.

Literaturhinweise

- CAMBEL, B., & G. KUPČO (1956): Petrochemie und Geochemie der metamorphen Hornblende-gesteine aus der Kleinkarpathenregion. — *Nauka o Zemi, Geol.* 1 (Bratislava).
- DITTLER, E. (1933): Gesteinsanalytisches Praktikum. — Berlin-Leipzig.
- ENGEL, A. E. J., & C. G. ENGEL (1952): Origins and evolution of hornblende- and esine amphibolites and kindred facies (Abstr.). — *Bull. Geol. Soc. America* 62, 1435—36.
- ENGEL, A. E. J., C. G. ENGEL, & R. G. HAVENS (1965): Chemical characteristics of oceanic basaltic and the upper mantle. — *Bull. Geol. Soc. American* 76, 719—734.
- EVANS, B. W., & B. E. LEAKE (1960): The composition and origin of stripped amphibolites of Connemara, Ireland. — *J. Petrol.* 1, 337—63.
- FRASEL, G. (1970): Zur Metamorphose und Abgrenzung der moravischen Zone im niederösterreichischen Waldviertel. — *Nachrichten der Deutschen Geol. Ges.* 2, S. 55—60.
- GROHMANN, H. (1965): Beitrag zur Geochemie österreichischer Granite. — *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* 10, 436—474.
- HEIER, K. S. (1962): The possible origins of amphibolites in an area of high metamorphic grade. — *Norsk. geol. Tidsskr.* 42, 157—65.
- JAKOB, J. (1952): Chemische Analyse der Gesteine und Silikatminerale. — Basel 1956.
- JANDA, I., E. SCHROLL, & M. SEDLAZEK (1965): Zum Problem der geochemischen Unterscheidung von Para- und Orthoamphiboliten am Beispiel einiger Vorkommen des Waldviertels und der Ostalpen. — *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* 10, 552—571.
- KHAFFAGY, M. (1970): The genesis of the Spitzer gneisses and the para-rock series of the Kamp Valley in the Lower Austrian Waldviertel. — Pt. 1: Geology and structures. — *Jb. Geol. B.-A.*, Sbd. 15, 67—81, Wien.
- KHAFFAGY, M. (1971): The genesis of the Dobra and Krumau complexes of the Kamp Valley in the Lower Austrian Waldviertel. — *Jb. Geol. B.-A.*, Sbd. 17, 139—170, Wien.
- LAPADU-HAGUES, P. (1959): A propos des massifs d'amphibolite du Limousin et de la Haute Vienne (Massif Central francais). — *C. R. Somm. Seances Soc. Geol. France*, 10—11.

- LEUTWEIN, F. (1939): Über das Vorkommen einiger seltener Elemente in metamorphen Gesteinen des Schwarzwaldes. — Centralblatt f. Min. Abt. Petr. 123—128.
- LEAKE, B. E. (1964): The chemical distinction between ortho- and para-amphibolites. — J. Petrol. 5, 238—254.
- SCHROLL, E., E. SKOL, & E. STEPAN (1963): Zur Röntgenfluoreszenzanalyse schwerer Spurenelemente in leichter Matrix und Verwendung der Röhrenhauptlinie als interner Standard. — Öst. Akad. Wiss. math.-naturwiss. Kl. Anz. 100, 147—153.
- SCHROLL, E., & E. STEPAN (1969): Zur Röntgenfluoreszenzanalyse geologischen Materials. — Tschermaks Min. Petr. Mitt. 13, 131—147.
- SCHROLL, E., & H. GROHMANN (1965): Beitrag zur Kenntnis des K/Rb-Verhältnisses in magmatischen Gesteinen. — Geol. Rundschau 55, 261—274.
- SNELLING, N. J. (1958): A note on the possible sedimentary origin of some amphibolites from the Cooma area, N. S. W. — Proc. Roy. Soc. N. S. W. 92, 43—46.
- TAYLOR, S. R. (1955): The origin of some New Zealand metamorphic rocks as shown by their major and trace element composition. — Geochim. Cosmochim. Acta 8, 182—197.
- TAYLOR, S. R. (1965): The application of trace element data to problems in petrology. — Physica and Chemistry of the Earth VI, 133—214.
- TUREKIAN, K. K., & K. H. WEDEPOHL (1961): Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. — Bull. Geol. Soc. America 72, 175—192.
- TUREKIAN, K. K. (1963): The use of trace-element geochemistry in solving geologic problems. In D. M. SHAW: Studies in Analytical Geochemistry. — Spec. Publ. No. 6. The Royal Soc. Canada. Toronto.
- WILCOX, R. E., & A. POLDERVAART (1958): Metadolerite dike swarm in Bakersville Roan Mountain area, North Carolina. — Bull. Geol. Soc. America 69, 1323—68.

Zeichenerklärung zu den Abb. 1—6

Amphibolite

- △ Amphibolite aus dem Dobra Komplex
- ▲ Amphibolite aus dem Krumauer Komplex
- ▲ Amphibolite (JANDA, SCHROLL u. SEDLÁZEK [1965]), (SCHROLL, unveröffentlicht)
- 6-Maiersch, Bez. Horn — geb. Salitamphibolit
- 28-Elsenreich, Bez. Zwettl — Amphibolite eingelagert in Marmor
- 33-Halterberg bei Raisdorf, Bez. Horn — Fugnitzer Kalksilikatschiefer
- 34-Unterberg bei St. Corona am Wechsel. Steinbruch auf der Straße nach Aspang — Pyrit führender Amphibolit
- 38-Panzendorf, Osttirol, Halde des Kiesbergbaues — Amphibolit
- 39-Buckelkarsee, Schladminger Obertal, Stmk. — Amphibolit
- 40-Berliner Hütte, 1950 m — Femisches Relikt (Biotit, Hornblende, Epidot) im Migmatit
- 41-Berliner Hütte, 2000 m — Dunkler biotitreicher Anteil des Migmatites (mit Hornblenderesten)
- 42-Berliner Hütte, 1950 m — stärker injizierter Amphibolit
- E-Steingraben, Hornblendegranulit
- F-Steingraben, Hornblendegranulit
- 89-Diebsgraben am Wechselgebiet — Grünschiefer

Mittelwerte für Amphibolite

⊕ A ... G (CK) = Mittelwerte für Amphibolite der Kleinen Karpaten (Cambel, Kupčo 1965)

A = 12 grobkörnige Gabbros, epizonal-metamorph. 40—55% Hbl.

B = 17 Gabbro-Amphibolite bis Hornblendit, schwach metamorph, 45—65% Hbl. Teilweise 80—90%.

