

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
KLEINERE MITTEILUNGEN

MATERIAUX POUR LA GEOLOGIE DE LA SUISSE
BULLETIN

Nr. 91

herausgegeben von der - publié par la
Schweizerischen Geotechnischen Kommission - Commission Géotechnique Suisse

Chemismus von Gesteinen und Mineralien der Val Verzasca

von

E. Wenk

1992

In Kommission bei Kümmerly & Frey AG, Geographischer Verlag, Bern

Vorwort der Schweizerischen Geotechnischen Kommission

Die Zeitschrift *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* publizierte in ihrem Band 72, 1992, einen Beitrag von Prof. E. Wenk mit dem Titel «Chemismus von Gesteinen und Mineralien der Val Verzasca». Die Schweizerische Geotechnische Kommission freut sich, dass es möglich wurde, diese Arbeit auch in ihre Publikationsreihe der «Kleineren Mitteilungen» aufzunehmen. Für das Entgegenkommen sei dem Autor und der Redaktion der Schweizerischen Mineralogischen und Petrographischen Mitteilungen herzlich gedankt.

Die vorliegende Publikation stellt eine Ergänzung zu den bereits früher in der «Geotechnischen Serie» erschienen Beiträgen über den Chemismus schweizerischer Gesteine dar (Lieferungen 14, 20 und 34). Es werden chemische Analysen an über 100 Gesteinen und Mineralien aus der Val Verzasca und deren Nachbarschaft vorgestellt, die im Verlauf der letzten Jahrzehnte im geochemischen Labor des Mineralogisch-Petrographischen Instituts der Universität Basel ausgeführt wurden. Daneben findet sich ein Überblick über die ältere und neuere Literatur. Mit ihrer grossen Datenmenge bildet die vorliegende Zusammenstellung eine wichtige Grundlage für weiterführende Untersuchungen sowohl an Gesteinen des lepontinischen Gneiskomplexes als auch in anderen amphibolitfaziellen Gebieten. Die Präsentation der Daten erfolgt grösstenteils nach den Arbeitsmethoden von P. Niggli.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Autor allein verantwortlich.

Zürich, März 1992

Der Präsident der Schweizerischen
Geotechnischen Kommission

C. Schindler

Chemismus von Gesteinen und Mineralien der Val Verzasca*

Chemical composition of rocks and minerals from Val Verzasca

von *Eduard Wenk*¹

Abstract

This study reviews the chemical composition of 100 metamorphic rocks from Val Verzasca in the Central Alps, mainly mica schists, gneisses, amphibolites and ultramafics, and of an equal number of composing minerals. Calculations are made in cation-percentage (after Paul Niggli) and graphical representations use k vs mg, mg vs Al-(K+Na+2Ca) diagrams, and the triangle OrAbAn.

In the k-mg diagram the different rock groups occupy distinct fields, partly with transitional borders. When compositions of rocks and corresponding minerals are plotted together, subparallel tie-lines between amphibolites and common amphiboles as well as between mica schists and constituent biotite occur.

The new diagram (mg vs positive or negative balance Al-(K+Na+2Ca)) is well suited for mesocratic metamorphic rocks and their mineral components. Tie-lines connecting coexisting pairs biotite-muscovite are parallel or subparallel.

The same type of projection for cordierite-bearing rocks (Verzasca, Bregaglia) and their mineral constituents show that the tie-lines connecting rock and cordierite converge slightly, but both show the same sequence in Mg-content. Tie-lines between cordierite and coexisting biotite are strictly parallel, indicating crystallization in chemical equilibrium. Rocks from the tectonically deep Verzasca area show the same pattern as those from the much higher Bergell area.

The triangle OrAbAn in which the compositions are connected with the lowest and highest An-content of their plagioclases indicates that modal An-content is strongly influenced by the norm. It reflects also the discontinuities in the low plagioclase series.

Keywords: Geochemistry, rock/mineral composition, norm calculation, metamorphic rocks, Val Verzasca, Central Alps.

Einleitung

Auf Initiative von *Paul Niggli* hat die Schweizerische Geotechnische Kommission im Jahr 1930 den Beitragband «Chemismus Schweizerischer Gesteine» publiziert (NIGGLI et al., 1930). In den Jahren 1942 und 1956 folgten zwei Nachträge dank dem Einsatz von *F. de Quervain* und *V. Jenny* (DE QUERVAIN und FRIEDLÄNDER, 1942; DE QUERVAIN und JENNY, 1956). Der letzte Band enthält neben der tabellarischen Zusammenstellung von Gesteinsanalysen auch Mineralanalysen. Seither ist keine Fortsetzung des wertvollen

Nachschlagwerkes erschienen. Eine solche verlangt angesichts der Flut von neuen Daten einen grossen, uneigennützig zu leistenden Arbeitseinsatz und könnte nur von einem Team bewältigt werden. Die Aufgabe sollte aber nicht vergessen werden.

Paul Niggli hat das Thema der Beziehungen zwischen Mineral- und Gesteinschemismus und zwischen koexistierenden Gemengteilen intensiv bearbeitet. Er hat 1936 für deren Diskussion neue Arbeitsmethoden (Kationprozente) geschaffen und in den Jahren 1941, 1943 und 1946 Arbeitsbeispiele vorgelegt, die alle in den Schweizeri-

* Erscheint gleichzeitig in der Reihe «Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen Nr. 91» der Schweiz. Geotechnischen Kommission, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

¹ Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Basel, Bernoullistrasse 30, CH-4056 Basel.

schen Mineralogischen Petrographischen Mitteilungen – in deren Glanzzeit – erschienen sind (NIGGLI, 1941, 1943, 1946).

Die vorliegende Studie befasst sich mit dem gleichen Thema am Beispiel eines begrenzten, geologisch gut erforschten Kristallgebietes, aus dem viele neuere Gesteins- und Mineralanalysen vorliegen, nämlich mit der Val Verzasca in den Lepontischen Alpen. Es soll geprüft werden, ob der Gesteinschemismus die petrographische Unterteilung des Feldgeologen stützt, hauptsächlich aber, ob die Beziehungen zwischen Gestein und Mineral sowie zwischen koexistierenden Mineralien auf chemisches Gleichgewicht hinweisen. Zur Diskussion werden die Arbeitsmethoden von P. Niggli verwendet und teilweise ergänzt.

Aus der Val Verzasca und ihrer Nachbarschaft sind in den vergangenen fünf Jahrzehnten im geochemischen Labor des Mineralogisch-Petrographischen Institutes der Universität Basel fast 100 Gesteine und ebenso viele ihrer Mineralien analysiert worden. Davon wurden 21 Gesteine in den Jahren 1941–54 noch nach gravimetrischen Methoden mit Silikataufschluss untersucht durch J. Steiger, W. Voegtli, H. Schwander und P. Hasler (DE QUERVAIN und JENNY, 1956). Von 1959 an wandte H. Schwander die lichtoptische Spektralanalyse an, und von 1970 an W. Stern die Methode der Röntgenfluoreszenz. Die Elektronenmikrosonde (EMS) wurde von 1964 an von H. Schwander zur Mineralanalyse eingesetzt. Diesen Kollegen verdanken wir viele, nur zum Teil publizierte Gesteinsanalysen¹. Eine Auswahl von bisher unpublizierten Analysen ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Diese enthält auch Analysen von Cordierit, Chlorit, Staurolith, Disthen und Granat der aufgeführten Muttergesteine. Im Gegensatz zum Usus des «Chemismus schweizerischer Gesteine» haben wir jeweils die Probennummern aufgeführt, um die Korrelation Gestein–Mineral und das Auffinden der Originalproben am Naturhistorischen Museum Basel zu erleichtern.

Über die Glimmer der Verzasca-Gesteine ist in den Publikationen von E. WENK et al. (1963), Stern (1966), SCHWANDER et al. (1968), E. WENK (1970) berichtet worden. Chemische Daten über Amphibolite und ihre Hornblendensind in der Arbeit E. WENK et al. (1974) enthalten. Besonders ausgiebig untersucht wurden mit U-Tisch und EMS die Feldspäte, worüber die Publikationen E. WENK (1962), SCHWANDER und E. WENK (1967), E. WENK und KELLER (1969), E. WENK, H.R. WENK et al. (1975), E. WENK und H.R. WENK (1977), E. WENK (1979), E. WENK (1983), E. WENK

und H.R. WENK (1984), E. WENK, SCHWANDER und H.R. WENK (1986), E. WENK (1988), E. WENK et al. (1991) informieren.

Das Kristallin der Verzasca besteht, gleich wie weltweit verbreitete Gesteine der Amphibolitfazies, hauptsächlich aus Gneis, Glimmerschiefer und ihren Mischgesteinen sowie aus Amphibolit, untergeordnet aus Mg-Silikatgestein und Marmor, lokal aus Aplit und Pegmatit.

Im Gegensatz zu älteren chemischen Daten, die hauptsächlich homogene leukokrate Gneise betrafen, berücksichtigen die neueren Analysen besonders mesokrate Gneise, Glimmerschiefer, Adergneise, Migmatite und Amphibolite, untergeordnet metamorphe Karbonatgesteine und Ultra-Mafitite. Von Bändergneisen wurden in einigen Fällen angrenzende helle und dunkle Lagen getrennt analysiert. Auch in Adergneisen sind dunkle Matrix und Leukosome separat untersucht worden. Grobkörnige Augengneise und Pegmatite sind aus verständlichen Gründen chemisch schlecht bekannt. Die längs der Wasserscheide zwischen Verzasca und Ticino als Linsen in die tektonisch hohe Cima-Lunga-Serie eingeschalteten Mg-Silikatgesteine sind von EVANS (1978), TROMMSDORFF (1980) und Mitarbeitern in zum Teil publizierten Arbeiten gründlich untersucht worden. Darüber wird eine zusammenfassende Publikation erwartet. Die hier diskutierten Basler Analysen von Mg-Silikatgesteinen beziehen sich auf Mafititlinsen im tieferen Gneisgebirge, nicht auf solche der Cima-Lunga-Serie.

Methodisches

Es wird hier ausschliesslich mit molekularen Verhältniszahlen und mit Kationprozenten argumentiert, und es werden die bekannten Berechnungs- und Darstellungsmethoden von NIGGLI (zusammengefasst in BURRI, 1959) als Grundlage benutzt. Ein hier neu eingeführtes Diagramm bedarf einer Erläuterung:

Neben stofflich wohl abgegrenzten Gesteinsgruppen, die in Diagrammen kompakte Felder besetzen, bestehen im Untersuchungsgebiet auch Übergänge zwischen den auf der geologischen Karte ausgeschiedenen Gruppen wie auch innerhalb einiger vom Geologen zusammengefasster inhomogener Serien. Ihre Variabilität muss anhand von Projektionen diskutiert werden, in denen sowohl granitoide Gneise und Adergesteine als auch mesokrate Gneise, Glimmerschiefer und Amphibolite dargestellt werden können und in

¹ Textfiguren mit eingetragenen Probennummern können beim Autor eingesehen werden.

Tab. 1 Chemische Analysen von Cordierit-Gesteinen (R.F.A. W. STERN) der Val Verzasca und ihren Mineralen (E.M.S. H. SCHWANDER).

	Probe Vz 691						Vz 721						Vz 777					
	Gest.	Cord.	Biot.	Chlo.	Plag.		Gest.	Cord.	Biot.	Gran.		Gest.	Cord.	Biot.	Chlo.	Gran.	Dist.	Plag.
SiO ₂	60.50	47.40	37.80	26.10			51.70	48.00				56.70	48.50	38.20	25.90	38.20	37.20	
Al ₂ O ₃	19.30	33.70	20.15	21.70			19.90	32.50				16.70	33.00	17.50	22.30	21.90	62.40	
Fe ₂ O ₃	1.00						1.40					1.00	0.60					
FeO	3.70	3.30	8.45	10.60			8.40	5.70	15.60	29.30		6.90	7.40	11.90	14.50	28.30	0.15	
MnO	0.10	0.17	0.08	0.10			0.10	0.20	0.10			0.16	0.14	0.08	0.10	1.04	0.03	
MgO	7.00	11.90	18.70	24.80			6.10	10.20	13.70	6.60		7.40	8.40	15.83	22.40	6.63		
CaO	0.60	0.02	0.30	0.09			1.70					1.60	1.20	0.07	0.03	4.05		
Na ₂ O	1.50	0.50	0.40	0.00			3.40					1.30	1.10	0.41	0.00	0.00		
K ₂ O	4.50	0.00	9.05	0.10			2.40					3.35	3.95	8.34	0.03	0.02		
TiO ₂	0.20	0.00	0.41	0.05			1.30					0.93	0.91	1.37	0.08	0.01		
P ₂ O ₅							0.20					0.25	0.24					
CO ₂												0.10	0.10					
H ₂ O	2.00						3.20					2.70	2.50					
Σ	100.40	96.99	95.34	83.54			99.80	96.60				99.09	99.34	97.16	93.70	100.15	99.78	
mg	0.73	0.86	0.80	0.80			0.53	0.76	0.61	0.25		0.62	0.64	0.80	0.73	0.30		
k	0.66						0.32					0.62	0.70					
Al-(K+Na+2Ca)	11.90	35.60	9.90	25.90			9.70	36.00				9.20	9.90	7.30	26.90	16.70	66.40	
Or																		0.30
Ab																		72.30
An																		27.40

Vz 691: Cordierit-Albit-Disthen-Biotitschiefer, chloritführend. Lovalt, Val Redorta, Koord. 701.2/135.3.

Vz 721: Chlorit-Cordierit-Oligoklas-Disthen-Granat-Biotitschiefer, stauroolithführend. Block in Val d'Osura bei Koord. 701.2/129.2.

Vz 777: Chlorit-Cordierit-Granat-Disthen-Oligoklas-Biotitschiefer mit leukokraten Disthen-Oligoklas-Granat-Quarz-Einschlüssen. Val d'Efra, Koord. 706.7/132.95.

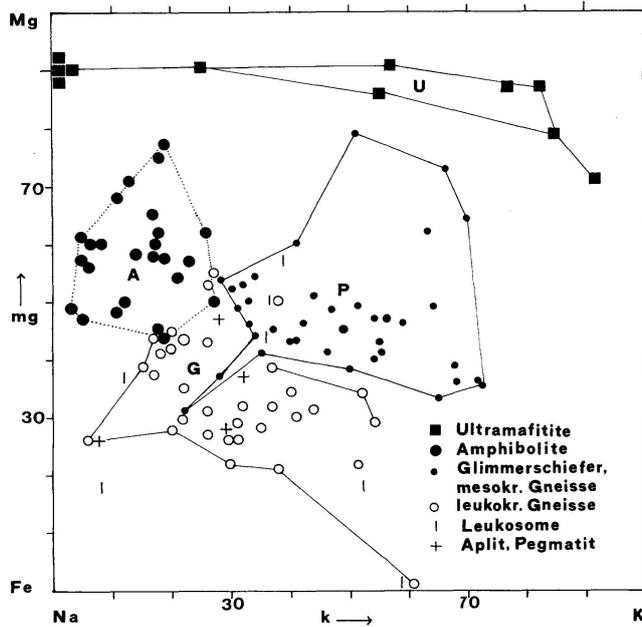


Abb. 1 k-mg-Diagramm. 116 Gesteine der Val Verzasca und Val Chironico.

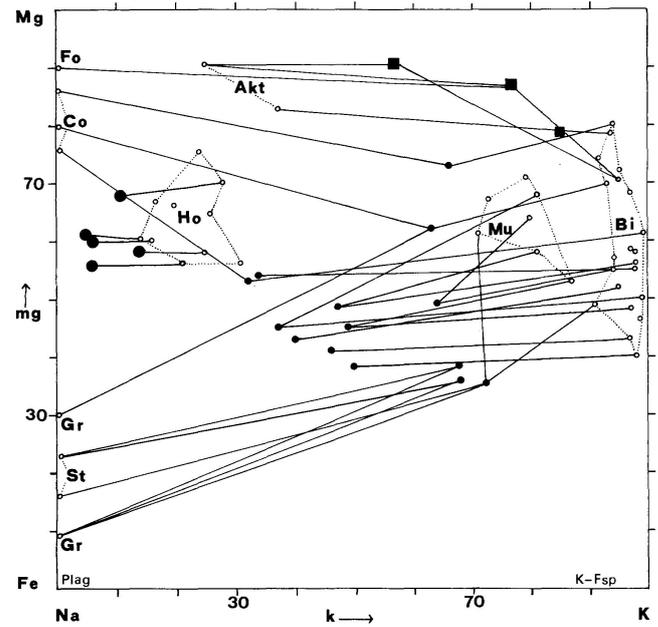


Abb. 2 k-mg-Diagramm. Beziehungen zwischen 22 mesokraten bis melanokraten Gesteinen und ihren Gemengteilen Biotit, Muskowit, Hornblende, Aktinolith, Forsterit, Cordierit, Granat und Staurolith.

denen ausserdem die Projektionsorte der dunklen Gemengteile Hornblende, Biotit, Muskowit, Chlorit, Cordierit, Granat, Staurolith und der Al_2SiO_5 -Modifikationen im Diagramm getrennt sind. Diesen Anforderungen genügen ESKOLAS Dreiecke ACF und A'FK nicht. Das QLM-Dreieck von NIGGLI differenziert nur grob, da M einen komplexen Posten darstellt.

Der Gang jeder Normberechnung aus Kationprozenten zeigt, dass für den mafischen Mineralbestand entscheidend ist, ob nach der Bildung von normativem Feldspat und Apatit entweder Aluminium oder Calcium übrigbleiben, ob also $Al-(K+Na+2Ca)$ einen positiven oder einen negativen Wert ergibt. Eine positive Zahl wird hier als +Al, eine negative als -Al bezeichnet und im Diagramm als Ordinate aufgetragen. -Al gibt Auskunft über den Ca-Überschuss, entspricht also der doppelten Menge jenes Anteils von Ca, der nach der Feldspatbildung übrigbleibt und an Si gebunden wird: $-Al = 2 Ca^+$. Ist Al negativ, so bedeutet dies, dass nicht genügend Tonerde vorhanden ist, um aus den vorhandenen Alkalien und Calcium Feldspat zu bilden.

Mit der Ordinate Al wird im Diagramm als Abszisse das wichtige Verhältnis

$$\frac{(Mg)}{(Mg + Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn)}$$

kombiniert (mg nach NIGGLI). Diese Projektion ergänzt andere Darstellungen und ist einfach zu konstruieren. Sie eignet sich besonders für die

Diskussion der Hauptgesteine von Kristallinkörpern ohne Alkali-Überschuss, also von Gneisen, Schieferen und Amphiboliten.

Wir beginnen die chemische Diskussion mit der Darstellung des allgemein bekannten k-mg-Diagramms

$$K = \frac{K^+}{K^+ + Na^+}$$

k-mg-Diagramm

Das k-mg-Diagramm ist von NIGGLI zur Charakteristik von magmatischen Provinzen eingeführt und seither hauptsächlich zu diesem Zweck verwendet worden. Abbildung 1 zeigt, dass sich diese Darstellung auch für die chemische Diskussion von metamorphen Gesteinen der Amphibolitfazies ausgezeichnet eignet. In Abbildung 1 sind die Hauptgesteine der Val Verzasca und der nördlich daran anschliessenden Val Chironico (KELLER, 1968) dargestellt. *Ultramafische Mg-Silikatgesteine* (U), welche als zonar gebaute Linsen im Gneis-Schiefergebirge auftreten, führen Forsterit und Orthopyroxen im Kern, Amphibole in einer inneren, Phlogopit in der äusseren Randzone. Sie repräsentieren eine geschlossene Gruppe mit durchwegs hohem mg-Wert und niedrigem bis hohem k-Wert. Sie sind nicht mit den regional verfolgbaren und in die Gebirgsstruktur eingeschichteten Amphibolitzygen assoziiert.

Deutlich abgesetzt von dieser Gruppe ist das kompakte Feld der *Amphibolite* (A) mit niedri-

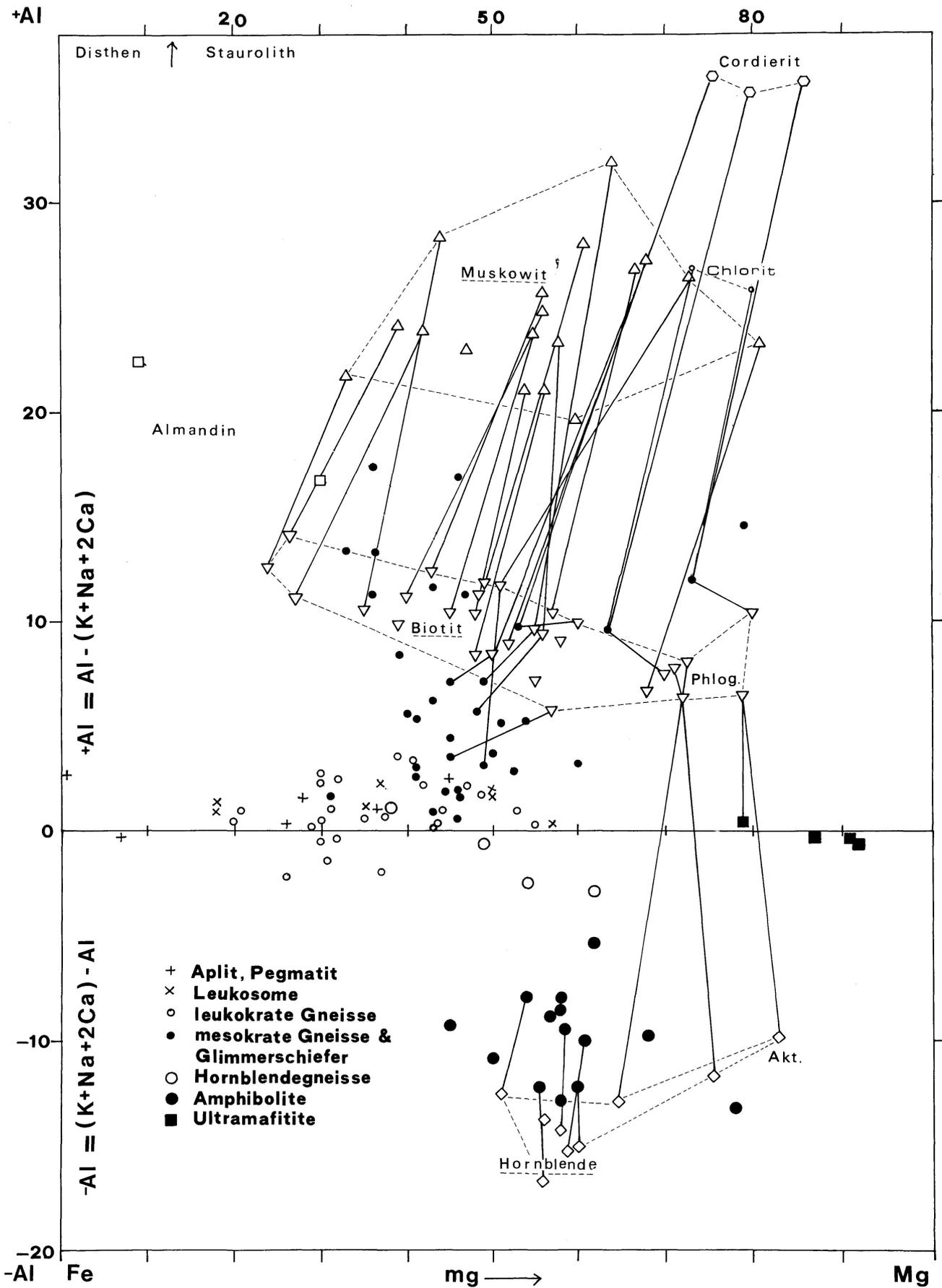


Abb. 3 Diagramm $mg-[Al-(K+Na+2Ca)]$. 93 Gesteine der Val Verzasca, 16 koexistierende Glimmerpaare, Beziehungen zwischen 5 Amphiboliten und ihren Hornblenden sowie zwischen Phlogopit und Aktinolith.

geren mg-Werten und niedrigem k-Wert. Sie entsprechen gabbroiden bis gabbrodioritischen Gesteinen. Ihre Projektionspunkte werden hauptsächlich durch den Hauptgemengteil Hornblende diktiert.

Mit höheren k-Werten grenzt daran das ebenfalls wohl dokumentierte, ausgedehnte Feld der *Glimmerschiefer und mesokraten Gneise* (P), also sedimentogener metamorpher Gesteine. Zunehmender Glimmergehalt äussert sich in höherem k-Wert. Schiefer mit hohem mg führen Cordierit und mg-reichen dunklen Glimmer. Solche mit niedrigem mg und k sind in der Regel reich an Granat, Staurolith und Disthen (Andalusit nur in Quarzknuern).

Die für die Verzasca repräsentative Gruppe von mächtigen *granitoiden Gneisen* (G) und assoziierten Adergneisen schliesst im Diagramm mit niedrigem mg an das Amphibolit- und Paragesteinsfeld an. Solche Übergänge sind auch vom Feldgeologen festgestellt worden. Leider sind die in der nördlichen Verzasca weit verbreiteten, oft sehr grobkörnigen Augengneise im Diagramm untervertreten. Ihre Projektionspunkte würden das leere Feld in Richtung zur K-Ecke füllen. Die chemischen Daten der granitoiden Gneise sind vorwiegend älteren Datums und etwas unsicher.

Die ebenfalls in das Diagramm eingetragenen diskordanten *Pegmatit- und Aplitgänge* (Kreuze) und die *Neosome* in Adergneisen (vertikale Striche) streuen je nach vorherrschendem Feldspat im mg-armen Sektor der Abbildung.

Karbonatfrei berechnete Marmore und assoziierte Kalksilikatfelse wurden in diesem Diagramm weggelassen, da sie infolge der unterschiedlichen mg-Werte (Calcit/Dolomit) als auch der k-Werte (fehlender bis vorherrschender Glimmergehalt) stark streuen.

Abbildung 1 zeigt somit, dass die vom kartierenden Feldgeologen unterschiedenen grossen Gesteinsgruppen sich auch chemisch unterscheiden, dass aber Übergänge vorhanden sind.

Bedeutsamer sind jedoch die Beziehungen zwischen Gesteins- und Mineralchemismus. Diese werden im k-mg-Diagramm der Abbildung 2 überprüft. Darin ist jeweils das Muttergestein, mit dem Zeichensymbol der Abbildung 1 versehen, durch eine Gerade mit dem daraus isolierten und ebenfalls analysierten Mineral (Kreise) Forsterit, Aktinolith, Hornblende, Phlogopit-Biotit, Muskowit, Cordierit, Granat oder Staurolith verbunden. Die Streufelder der durch weitere Mineralanalysen aus der Verzasca belegten Gemengteile Hornblende, Muskowit und Biotit sind punktiert umgrenzt. Enge Abhängigkeit zwischen Gesteins- und Mineralchemismus ist unverkennbar. Die mg-Werte von Gestein und konstituierenden

dunklen Gemengteilen stimmen nahe überein. Besonders eindrücklich ist der subhorizontale parallele Verlauf der Verbindungslinien zwischen Glimmerschiefer und zugehörigem dunklem Glimmer sowie die nahe Übereinstimmung der mg-Werte von Amphibolit und Hornblende. Im Verlauf der Metamorphose wurde chemisches Gleichgewicht weitgehend erreicht, wie das E. WENK (1970, S. 59) anhand von Glimmerpaaren der gleichen Region auf anderem Wege festgestellt hat. Die in das gleiche planare und lineare Bezugssystem des Gebirgsbaues eingeregelteten Gemengteile koexistierten im Verlauf der Metamorphose.

Diagramm mg-[Al-(K+Na+2Ca)]

In Abbildung 3 sind im neu konzipierten Diagramm mit mg als Abszisse und der positiven oder negativen Differenz Al-(K+Na+2Ca) als Ordinate einesteils die in der Legende aufgeführten Gesteine dargestellt. Im oberen Teil des Diagramms (Tonerdeüberschuss) liegt das weite Feld der sedimentogenen mesokraten Gneise und Glimmerschiefer. Ihr Gehalt an +Al variiert stark je nach dem Anteil von Glimmern, Granat, Staurolith, Disthen und Cordierit. Darunter folgen, knapp oberhalb der Linie Al = 0, die granitoiden leukokraten Gneise, Ganggesteine und Leukosome. Vereinzelt fallen einige vor 1930 analysierten Gneise unterhalb diese Linie. Mafitite sind beschränkt auf hohes mg und Al = 0. Im unteren Teil des Diagramms, mit Calciumüberschuss, befinden sich Hornblendegneise und hauptsächlich das dichte Feld der Amphibolite.

In die gleiche Abbildung 3 wurden auch die ausgiebig analysierten hellen und dunklen Glimmer sowie die Hornblenden dieser Gesteine projiziert, deren Felder gestrichelt umgrenzt sind. Koexistierende Biotite und Muskowite sind durch Geraden verbunden. Diese verlaufen subparallel über einen breiten mg-Bereich. Die in ihrer Neigung etwas abweichenden 3 Fe-reichsten Glimmerpaare stammen aus Pegmatiten, die Mg-reichsten aus Mg-reichen Schiefen. Die dargestellten Stoffe wurden also – besonders wenn man die Möglichkeit von unreinen Konzentraten berücksichtigt – regelmässig auf die Glimmerpartner verteilt. Amphibolite und zugehörige Hornblenden sind ebenfalls durch subparallele Geraden verbunden. Bei übereinstimmendem mg ist das Gestein stets Al-reicher als die Hornblende.

Die ebenfalls dargestellten Positionen der drei bisher chemisch analysierten Cordieritgesteine der Verzasca und ihrer Gemengteile Cordierit, Biotit und Chlorit (zusammen mit Plagioklas,

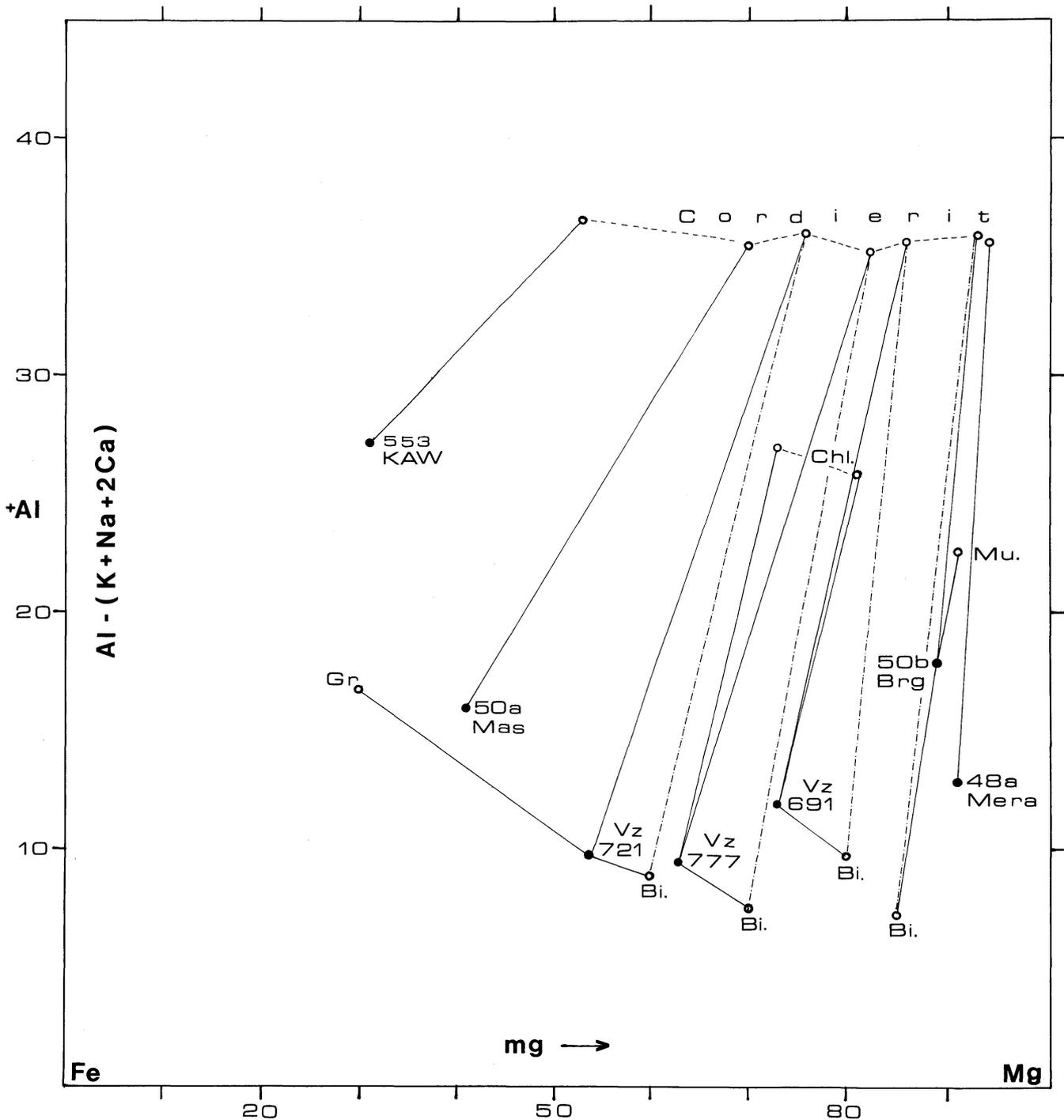


Abb. 4 Diagramm mg-[Al-(K+Na+2Ca)]. Cordieritgesteine aus Val Verzasca (3) und aus dem Schieferrahmen des Bergeller Granitgneiskörpers (4). Beziehungen zwischen Muttergesteinen und ihren Gemengteilen Cordierit, Biotit, Muskowit, Chlorit, Granat (Geraden) sowie zwischen koexistierendem Biotit und Cordierit (gestrichelte Linien).

Quarz, Disthen, Granat ± Staurolith) zeigen, dass hier Cordierit nur in sehr Mg-reichem Gestein auftritt und dass die Verbindungslinien Gestein-Mineral wiederum subparallel verlaufen. Der Spezialfall Cordierit wird in Abbildung 4 und Tabelle 1 gesondert dargestellt.

Cordieritgesteine sind in den Tessiner Alpen relativ spät nachgewiesen worden (E. WENK,

1968). Sie waren lange vorher bekannt aus dem Schieferrahmen des Bergeller Granitgneiskörpers. Es liegt nahe, chemische Daten aus den beiden Regionen zu vergleichen. In Abbildung 4 sind im gleichen Diagrammtyp mg-[Al-(K+Na+2Ca)] einesteils die drei disthenführenden Cordieritgesteine der Verzasca Vz 691, 721, 777, andernteils nach Literaturdaten (H.R. WENK et al., 1974,

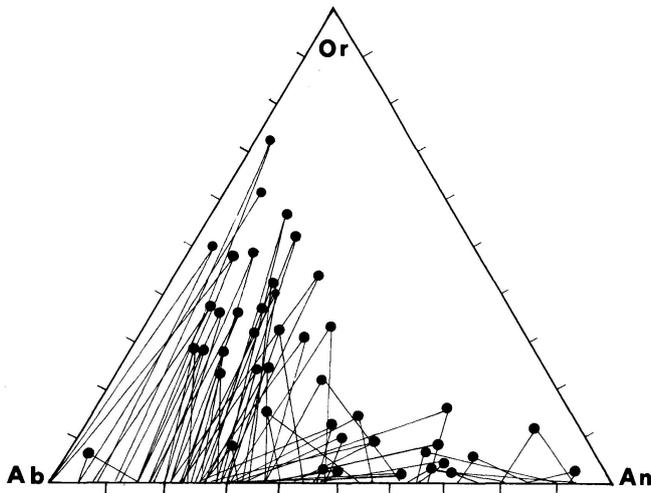


Abb. 5 OrAbAn-Diagramm. 44 karbonatfreie Gesteine der Verzasca (vorwiegend mesokrate Gneise und Schiefer sowie Amphibolite) Muttergesteine (Punkte) sind durch Geraden mit dem minimalen und dem maximalen An-Gehalt (U-Tisch und Sonde) ihrer Plagioklasse verbunden.

SCHWANDER et al., 1969) vier Cordieritproben und ihre analysierten Gemengteile aus der Bergeller Region dargestellt. Es sind dies die disthenfreien, z.T. Sillimanit, Granat und Saphirin führenden Proben KAW 553 (Codera), Mas 50a (Bagni Masino), Brg 50b (Lera Sura, Bergell) und Mera 48a (Val Schisone). Die Bergeller Cordierite und ihre Muttergesteine überspannen einen breiteren mg-Bereich als die Proben aus der Verzasca. Der +Al-Gehalt der Cordierite ist praktisch konstant, während derjenige der Muttergesteine variiert je nach Gehalt an anderen Al-reichen Silikaten.

In Abb. 4 sind die Cordieritgesteine und ihre Gemengteile durch Geraden verbunden, die subparallel verlaufen. Streng parallel sind die strichpunktierten Koexistenzgeraden Biotit-Cordierit. Wie in Abbildung 3 bestehen also auch hier klare Zusammenhänge zwischen der chemischen Zusammensetzung von Gestein und Mineral und besonders zwischen koexistierenden Mineralien. Biotit-Muskowit und Biotit-Cordierit sind somit Mineralpaare, deren Koexistenz während der Metamorphose überprüft ist; bei Glimmern auch durch Korngefüge-Analyse. Bereits GORBATSCHEV (1969) hat anhand von anderen Gesteinsproben eine annähernd ideale Verteilung von Fe und Mg auf Biotit und Cordierit festgestellt, nicht aber für das Paar Granat und Cordierit. In der Literatur wird für thermodynamische Ableitungen meist das Paar Biotit-Granat verwendet, dessen wahre Koexistenz selten überprüft wird. Am Beispiel der Verzasca-Gesteine haben wir diese Frage nicht chemisch kontrolliert, da hier polymineralische Reaktionsränder um Granatpor-

phyroblasten und die Präsenz von Chlorit in Granatglimmerschiefern zur Vorsicht mahnen. Überraschend ist die Übereinstimmung der Befunde aus den zwei rund 50 km entfernten Teilgebieten des lepontischen Kristallins. Aufgrund geologischer Evidenz erfolgte die Metamorphose im Osten (Bergell) unter wesentlich geringerer Überlastung als im Westen (Verzasca). Spielen Druckunterschiede von etwa 2 kb beim Kristallisationsvorgang eine geringe Rolle?

Dreieck OrAbAn

Die Abbildungen 1–4 geben Auskunft über die chemischen Beziehungen zwischen Muttergesteinen und ihren Mafiten, nicht über Feldspäte. Zur Ergänzung der oben zitierten U-Tisch- und Sondenuntersuchungen an Plagioklasen von metamorphen Calcitgesteinen und Amphiboliten und über ihre koexistierenden NaK- und NaCa-Feldspäte sind in Abbildung 5 im Dreieck OrAbAn ausschliesslich karbonatfreie metamorphe Gesteine der Verzasca dargestellt, also die Hauptgesteine Gneis, Glimmerschiefer und Amphibolit. Ausser Proben der eigenen Sammlung (Vz, Wurz) sind einige Daten der Publikationen von PREISWERK (1931), WANG (1939) und SHARMA (1969) berücksichtigt.

Die Projektionspunkte von 44 analysierten Muttergesteinen sind durch Geraden mit dem minimalen und maximalen modalen An-Gehalt ihrer Plagioklasse verbunden. Sondenstudien haben gezeigt, dass ihr Or-Gehalt meist < 1% ist. Auf die in der Verzasca nachgewiesenen kristallographischen Verwachsungen verschiedener Plagioklasse im gleichen Korn, auf die ungleiche Häufigkeitsverteilung der An-Gehalte und auf Probleme der diskontinuierlichen Plagioklasreihe wird an dieser Stelle nicht näher eingetreten (siehe E. WENK et al., 1991). Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass im Gegensatz zur Häufigkeitsverteilung in Calcitgesteinen in den leukokraten K-reichen Gneisen Oligoklasse An 17–30 verbreitet auftreten, ausnahmsweise und nur in sehr Ab-reichen Gesteinen auch Plagioklasse An 0–15.

Im übrigen ist die Information von Abbildung 5 klar: Sie zeigt, dass – gleich wie das für Calcitgesteine nachgewiesen ist (E. WENK, 1979, Abb. 6; E. WENK et al., 1984, Abb. 5) – der normative An-Gehalt im Zusammenspiel mit der Paragenese und mit Gegebenheiten der Plagioklasreihe-Tiefden modalen An-Gehalt entscheidend beeinflusst. Die Or- und Ab-reichen Gesteine auf der linken Seite von Abbildung 5 führen vorwiegend Oligoklas zusammen mit Alkalifeldspat und Glimmer. Die Or-ärmeren und An-reicheren Ge-

steine im mittleren Teil und auf der rechten Seite des Dreiecks OrAbAn – es sind dies hauptsächlich Amphibolite – führen Andesin, Labradorit, selten Bytownit-Anorthit in Übereinstimmung mit der Norm. Albit ist nur in den normativ Ab-reichsten, Bytownit-Anorthit nur in den normativ An-reichsten Gesteinen nachgewiesen. Gleich wie das für die dunklen Gemengteile gezeigt werden konnte, besteht somit auch für die Feldspäte der Verzasca eine deutliche Abhängigkeit vom Gesteinschemismus, modifiziert durch die erst zum Teil verstandenen Diskontinuitäten in der Plagioklasreihe-Tief.

GÜNTHERT (1985, S. 202) ist gegenteiliger Ansicht. Er behauptet – ohne jeden Beleg –, dass in den Tessiner Gesteinen der Amphibolitfazies der Albit nicht bloss in normativ Ab-reichen und der Anorthit nicht bloss in normativ An-reichen Gesteinen auftritt, und schliesst auf vorherrschendes Ungleichgewicht im Verlauf der Metamorphose. Dies würde petrologische Forschung sinnlos machen.

Schlusswort

Diese Studie stützt sich auf eine grosse Anzahl chemischer Analysen von Gesteinen und Mineralien der Val Verzasca, einem Teilgebiet des lepontischen Gneiskomplexes in den Zentralalpen, das ganz im Bereich der Amphibolitfazies liegt und in dem Disthen das leitende Alumosilikat darstellt.

Die Arbeit will nicht unter Zuhilfenahme von experimentellen Daten, die angesichts der Trägheit der Mineralreaktionen (Ordnung/Unordnung, Tief/Hoch) durch Unsicherheiten belastet sind, die Druck-Temperatur-Bedingungen bei der Metamorphose ableiten. Sie untersucht vielmehr eine der Voraussetzungen für solche Studien. Sie prüft, in welcher Weise Mineralbestand und Mineralchemie mit ändernder stofflicher Zusammensetzung des Gesteins variieren und wieweit bei der Metamorphose ein quasi stabiler Endzustand erreicht wurde.

Die aufgrund von Kationberechnungen konstruierten Textfiguren belegen, dass enge Beziehungen zwischen Gesteinschemismus und Mineralchemismus bestehen und dass die Verbindungslinien zwischen koexistierenden Mineralien (z.B. Biotit-Muskowit, Biotit-Cordierit) parallel bis subparallel verlaufen. Im Gebiet der heutigen Val Verzasca wurde also bei der alpinen Gesteinsmetamorphose in den meisten Fällen ein bestimmter Endzustand erreicht. Auf keinen Fall darf auf vorherrschendes Ungleichgewicht geschlossen werden.

Möge diese Studie andere anregen, die chemischen Beziehungen zwischen Gestein und Mineral sowie zwischen koexistierenden Gemengteilen anhand von Probenreihen aus anderen Gebieten der zentralalpiner Amphibolitfazies zu untersuchen.

Der Autor ist den eingangs genannten Analytikern seiner Gesteinsproben zu grossem Dank verpflichtet. Entscheidende Anregung für geochemische Berechnungsmethoden hat er anlässlich Postdoktoratsstudien durch *Paul Niggli* in Zürich empfangen.

Literaturverzeichnis

- ARMBRUSTER, TH. und IROUSCHECK, A. (1983): Cordierites from the Lepontine Alps: Na + Be \rightarrow Al substitution, gas content, cell parameters and optics. *Contrib. Mineral. Petrol.* 82: 389–396.
- BURRI, C. (1959): Petrochemische Berechnungsmethoden auf äquivalenter Grundlage. Birkhäuser Verlag, Basel, 344 pp.
- EVANS, B.W. und TROMMSDORFF, V. (1978): Petrogenesis of garnet lherzolite, Cima di Gagnone, Lepontine Alps. *Earth Planet. Sci. Lett.* 40, 333–348.
- GORBATSCHEV, R. (1968): Distribution of elements between Cordierite, Biotite and Garnet. *N. Jb. Miner. Abh.* 110, 57–80.
- GÜNTHERT, A., SCHWANDER, H., STERN, W. und FRANK, E. (1985): Anorthitgehalt von Plagioklas in karbonatführenden Gesteinen der Amphibolitfazies der Zentralalpen. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 65, 159–203.
- IROUSCHECK, A. (1980): Zur Verbreitung von Cordierit im zentralen Lepontin. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 60, 137–144.
- IROUSCHECK, A. (1983): Mineralogie und Petrographie von Metapeliten unter besonderer Berücksichtigung von cordieritführenden Gesteinen in der Simano-Decke zwischen Alpe Sponda und Biasca. *Diss. Univ. Basel.*
- KELLER, F. (1968): Mineralparagenesen und Geologie der Campo-Tencia-Pizzo-Forno-Gebirgsgruppe. *Beitr. Geol. Karte Schweiz, N.F.* 135, 1–72.
- NIGGLI, P., DE QUERVAIN, F. und WINTERHALTER, R.U. (1930): Chemismus schweizerischer Gesteine. *Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie* 14, 1–389.
- NIGGLI, P. (1936): Über Molekularnormen zur Gesteinsberechnung. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 16, 295–317.
- NIGGLI, P. (1941): Gesteinschemismus und Mineralchemismus. I. Das Problem der Koexistenz der Feldspäte in Eruptivgesteinen. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 21, 183–193.
- NIGGLI, P. (1943): Gesteinschemismus und Mineralchemismus. II. Die Pyroxene der magmatischen Erstarrung. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 23, 538–607.
- NIGGLI, P. (1946): Allgemeines über Reaktionsgleichungen und Dreieckdarstellungen. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 26, 34–43.
- PREISWERK, H. (1931): Der Quarzdiorit des Cocco-Massivs und seine Beziehungen zum Verzasca-Gneis. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 11, 27–55.
- QUERVAIN DE, F. und FRIEDLÄNDER, C. (1942): I. Nachtrag zu Chemismus schweizerischer Gesteine. *Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie* 20, 1–108.

- QUERVAIN DE, F. und JENNY, V. (1956): 2. Nachtrag zu Chemismus schweizerischer Gesteine. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie 32, 1-103.
- SCHWANDER, H. und WENK, E. (1967): Studien mit der Röntgen-Mikrosonde an basischen Plagioklasen alpiner Metamorphite. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 47, 225-234.
- SCHWANDER, H., HUNZIKER, J. und STERN, W. (1968): Zur Mineralchemie von Hellglimmern in den Tessiner Alpen. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 48, 357-390.
- SCHWANDER, H. und STERN, W. (1969): Zur Analyse von Cordierit. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 49, 585-595.
- SHARMA, R.S. (1969): On banded gneisses and migmatites from Lavertezzo and Rozzera (V. Verzasca). Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 49, 199-276.
- STERN, W. (1966): Zur Mineralchemie von Glimmern aus Tessiner Pegmatiten. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 46, 138-188.
- TROMMSDORFF, V. (1980): Excursion VI in M. Frey, V. Trommsdorff and E. Wenk: Alpine metamorphism of the Central Alps, incorporated in "Geology of Switzerland - a guide-book" edited by Schweiz. Geol. Komm. 1980, 310-314.
- WANG, H.S. (1939): Petrographische Untersuchungen im Gebiet der Zone von Bellinzona. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 19, 21-199.
- WENK, E. (1962): Plagioklas als Indexmineral in den Zentralalpen. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 42, 139-152.
- WENK, E., SCHWANDER, H., HUNZIKER, J. und STERN, W. (1963): Zur Mineralchemie von Biotit in den Tessiner Alpen. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 43, 435-463.
- WENK, E. (1968): Cordierit in Val Verzasca. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 48, 455-457.
- WENK, E. und KELLER, F. (1969): Isograde in Amphibolitserien der Zentralalpen. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 49, 157-198.
- WENK, E. (1970): Distribution of Al between coexisting micas in metamorphic rocks from the Central Alps. Contrib. Mineral. Petrol. 26: 50-61.
- WENK, E., SCHWANDER, H. und STERN, W. (1974): On calcic amphiboles and amphibolites from the Lepontine Alps. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 54, 97-149.
- WENK, E., WENK, H.R., GLAUSER, A. und SCHWANDER, H. (1975): Intergrowth of andesine and labradorite in marbles of the Central Alps. Contrib. Mineral. Petrol. 53: 311-326.
- WENK, E. und WENK, H.R. (1977): An-variation and intergrowths of plagioclases in banded metamorphic rocks of Val Carecchio. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 57, 41-57.
- WENK, E. (1979): Bevorzugte Zusammensetzung und Variabilität der Plagioklase von Gesteinsserien der Verzasca. N. Jb. Min. Mh. 1979, 525-541.
- WENK, E. (1983): Kristalloptik und Zusammensetzung von Bytownit-Drillingen und -Vierlingen in Kalksilikatfels von Bagni Masino. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 63, 181-185.
- WENK, E. und WENK, H.R. (1984): Distribution of plagioclase in carbonate-rocks from the Tertiary metamorphic belt of the Central Alps. Bull. Mineral. 107, 357-368.
- WENK, E., SCHWANDER, H. und WENK, H.R. (1986): Alkali feldspar and coexisting plagioclase in metamorphic carbonate rocks from the Central Alps. N. Jb. Miner. Abh. 155, 89-108.
- WENK, E. (1988): Albit-Ala- und Karlsbadzwillinge in Plagioklasen aus Amphiboliten der Tessiner Alpen. N. Jb. Miner. Mh. 1988, 418-422.
- WENK, E., SCHWANDER, H. und WENK, H.R. (1991): Microprobe analyses of plagioclase from metamorphic carbonate rocks of the Central Alps. Europ. J. Mineral. 3, 181-191.
- WENK, H.R., WENK, E. und WALLACE, J.H. (1974): Metamorphic mineral assemblages in pelitic rocks of the Bergell Alps. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 54, 507-554.

Manuskript eingegangen 10. Juni 1991, überarbeitetes Manuskript angenommen 1. Oktober 1991.