

# Zur Mineralchemie von Biotit in den Tessiner Alpen

Autor(en): **Wenk, E. / Schwander, H. / Hunziker, J.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **43 (1963)**

Heft 2

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-33463>

## **Nutzungsbedingungen**

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

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

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

## **Haftungsausschluss**

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

# Zur Mineralchemie von Biotit in den Tessiner Alpen

Von *E. Wenk, H. Schwander, J. Hunziker* und *W. Stern* (Basel)

Mit 8 Textfiguren und 5 Tabellen

## Abstract

With the aid of a Jarrell Ash Atomcounter the main elements of 49 tri-octahedral micas from the Lepontine Alps and the trace elements of 68 samples have been determined spectroanalytically.

The Mg/Fe ratio and the contents in Ba, Ni, Cr, and Co vary considerably. Mg-rich end-members are restricted to marbles, carbonate-bearing schists, and basic metamorphic rocks, while Fe-rich biotites appear only in cross cutting pegmatites that are rich in Be- and B-silicates. Nevertheless, the common biotites with  $\frac{\text{Mg}}{\text{Mg} + \text{Fe}^{+2} + \text{R}^3}$  percentages from 30 to 60 per cent are characteristic of the wide range of "calcescisti", micaschists, dark- and light-coloured gneisses, migmatites, and their pegmatoid lenses and veins. Examples are mentioned which show that within the Alpine zone of anatexis the granitic gneiss-cores and their sedimentary mantles often contain both the same mica, giving proof of a perfect homogenization during the Tertiary orogenesis.

Thus, the Mg/Fe ratio of tri-octahedral micas cannot serve as an indicator of different metamorphic grades. High Mn-contents seem to characterize the uppermost part of the biotite zone.

## Einleitung

Biotit ist der wichtigste dunkle Gemengteil der Gesteine der Lepontinischen Alpen. In allen alpin umgewandelten tonerde- und eisenreichen mesozoischen Sedimenten ist das Mineral zu finden — von den peripheren Vorkommen im Zwischenbergental, bei Eisten am Simplon, Ausserbinn, an der Furka, der Nordseite des Lukmaniers, im Rheinwald, im Val di S. Giacomo und am Murettopass bis zu den geologisch tiefsten Aufschlüssen der grossen Südtäler und weiter, bis zur sogenann-

ten Wurzelzone und den spätalpinen Intrusivstöcken hin. Es handelt sich somit um ein typomorphes Mineral der mesothermalen alpinen Metamorphose.

Auch in den stratigraphisch nicht datierbaren Glimmerschiefer- und Paragneissmassen der weiten Tessiner Kristallinregion ist Biotit durchwegs anzutreffen. Dunkler Glimmer tritt hier sowohl in den Schiefen als auch in den daraus hervorgehenden Bänder- und Adergneissen auf. Überdies ist er ein Hauptgemengteil der grobgemengten Mischzonen zwischen Schieferhülle und hellem Kerngneiss, der leukokraten gneissigen und massigen Granitoide wie auch der Aplite und Pegmatite, welche das Parallelgefüge der Gneisse und Bündnerschiefer diskordant durchschlagen.

Gefügestudien lehren, dass Biotit während verschiedener Phasen der Alpenfaltung gebildet wurde — und auch noch postkinematisch — als Querglimmer oder amöbenartiger Porphyroblast in Phylliten und als Gemengteil diskordanter Intrusivgesteine entstand. Physikalisch-chemische Altersbestimmungen ergaben bis jetzt im Sopraceneri keine Ausnahmen. Unter den Bedingungen der Kluftmineralbildung kristallisierte Biotit jedoch nicht mehr.

Die gemeinsame tertiäre Geschichte — vor allem der durch verschiedene Methoden erbrachte Nachweis, dass die Glimmer der Gneissmassen gleich alt sind wie jene der eingefalteten Bündnerschiefer — bildet die Voraussetzung für regionale mineralchemische und paragenetische Studien. Müssten wir nämlich annehmen, wie es vor dreissig Jahren noch üblich war, dass in den tiefen Tessiner Aufschlüssen Altkristallin erhalten sei und dass präalpine Glimmer und Glimmergefüge auftreten, so stünden wir vor einem schwer lösbaren, äusserst komplexen Problem.

Vor allem das Studium der Migmatitzonen (Umgebung von Brione-Verzasca, Biasca-Cresciano, Misox, Bodengo, Novate-Mezzola) war in dieser Hinsicht entscheidend: Immer wieder durchkreuzt granitoides Mobilisat als chymogener Anteil den stereogenen Rahmen. Das Parallelgefüge im durchbrochenen oder aufgelösten Rahmengestein ist stets auf das regionale, auch die Bündnerschiefer erfassende und deshalb alpidische Strukturmuster zu beziehen. Auch beim Studium der durch moderne Kunstbauten geschaffenen Aufschlüsse ist man immer wieder überrascht über die Bedeutung der inhomogen gemischten Gesteinsbereiche, an deren Bildung hochmobile Systeme beteiligt waren.

Seitdem die Experimente von TUTTLE und BOWEN (1958) Aussagen über die Temperaturen anatektischer Vorgänge gestatten, kann gefolgert werden, dass zum mindesten der zentrale Teil des Tessiner Gneiss-

komplexes während der alpinen Orogenese heisser als  $640^{\circ}$  war und dass alle Biotite des Sopraceneri den Stempel der tertiären Kristallisationsperiode tragen.

\* \* \*

Die für manche mineralparagenetische und geochemische Fragestellung so wichtige Mineralchemie von Biotit wurde bisher in alpinmetamorphen Serien nie systematisch untersucht. Obgleich wir annehmen müssen, dass die Zusammensetzung dieser Mischkristalle sich von Gestein zu Gestein und von Region zu Region ändert, kennen wir die Unterschiede nicht — und noch weniger die Regeln, welche die Variabilität lenken. Wohl deckt schon die Farbe der Glimmer, sowohl im auffallenden als im durchfallenden Licht, Verschiedenheiten auf; die optischen und röntgenoptischen Daten können aber chemisch noch nicht interpretiert werden. Über die grundlegende Frage, welche Beziehungen bestehen zwischen der *Biotitzusammensetzung*, der *Mineralparagenese*, dem *Gesteinschemismus*, dem *Grad der Metamorphose* und der *geologischen Position*, können einzig chemische Reihenuntersuchungen an sorgfältig ausgewählten Proben Auskunft geben.

Die Sammelbände „Chemismus schweizerischer Gesteine“ (1942, 1956) enthalten 4 Phlogopit- und 14 Biotitanalysen aus dem Kartenausschnitt von Figur 1 — die letzteren vorwiegend aus Pegmatiten. Mehrere dieser älteren Analysen widersprechen der Formel deutlich (unreine Proben?). Die Zahlen belegen das Bedürfnis nach neuen Daten, die neben den Hauptkomponenten möglichst auch die bisher vernachlässigten Spurenelemente erfassen sollten.

Im Rahmen eines Forschungsplanes, der die hellen und dunklen Glimmer erfasst, publizieren wir hier 49 Biotit- und Phlogopitanalysen. Wir sind uns bewusst, dass auch diese Anzahl noch nicht genügt, um alle Fragen abzuklären; die neuen Daten liefern jedoch solide Grundlagen für eine gezielte Weiterarbeit. Wir sind aus diesem Grunde vorsichtig in den Konklusionen und bemühen uns hauptsächlich um die Dokumentation. Die zugehörigen röntgenoptischen Daten, Messungen des Magnetismus sowie DTA-Werte sind einer späteren Arbeit vorbehalten. Altersbestimmungen an acht der analysierten Glimmer wurden bereits von E. JÄGER (1959, 1961, 1962) im Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Bern durchgeführt. Aus den gleichen Proben wurden zum Teil auch die hellen Glimmer und andere Mineralien separiert, deren Analyse bevorsteht. Zum Vergleich nahmen wir in unsere Tabellen die Daten der voralpinen Probe Baveno 17 auf.

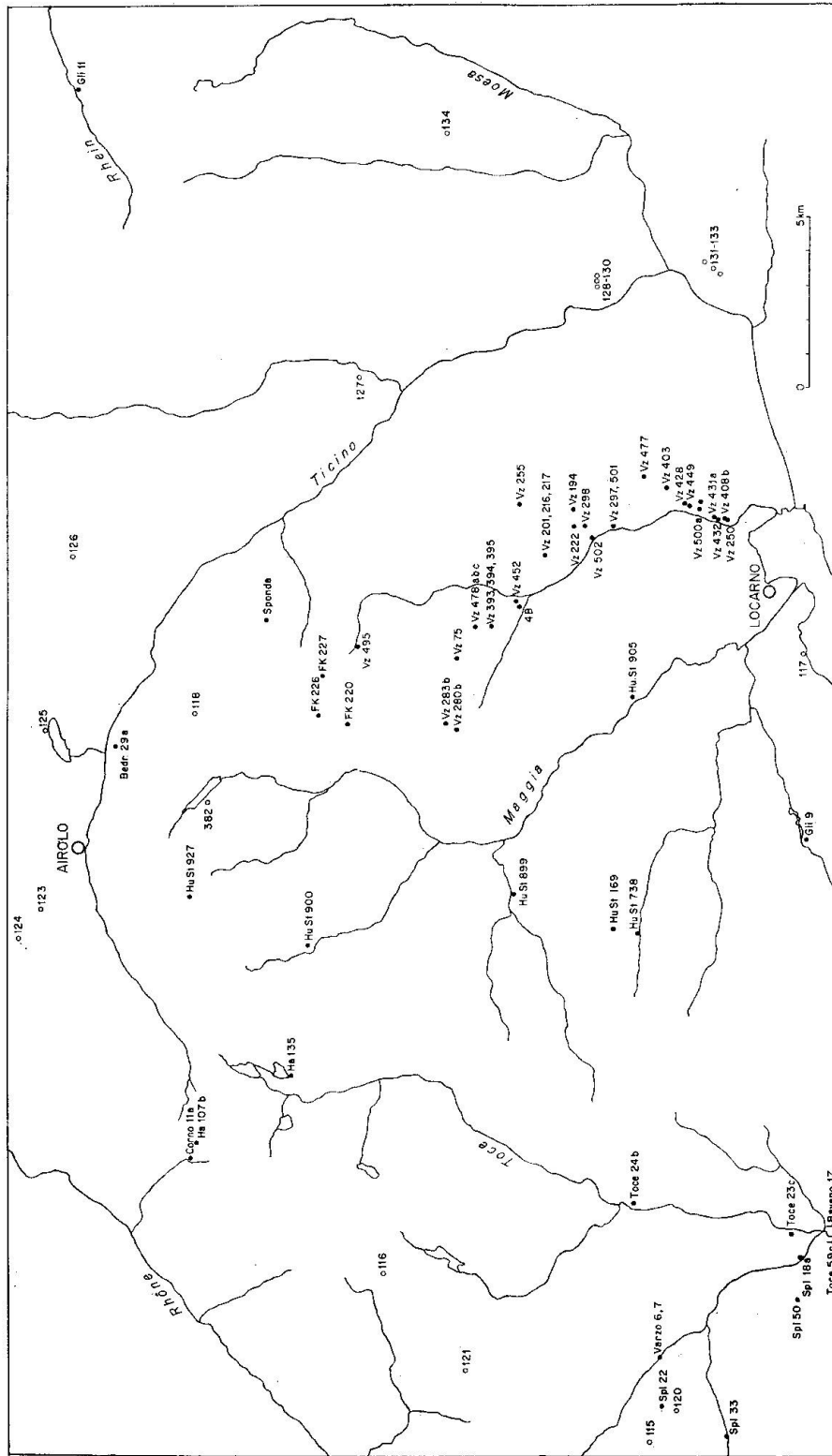


Fig. 1. Fundortkarte der analysierten Biotite und Phlogopite. Weitere Angaben in Tabelle 1. Offene Kreise mit Nummer beziehen sich auf Mineralanalysen in „Chemismus schweizerischer Gesteine“.

Dass sich unsere chemische Untersuchung in erster Linie den Glimmern zuwendet, hat ausser der weiten Verbreitung und paragenetischen Bedeutung dieser Gruppe einen weiteren Grund: Glimmer sind — abgesehen von Quarz — die einschlussfreiesten und reinsten Gemengteile der Tessiner Gesteine, und sie können mit den heutigen Mitteln leicht separiert werden. Die assoziierten Mineralien der Hornblende-, Zoisit-Epidot- und Granatgruppe bieten infolge ihrer vielen Einschlüsse viel grössere technische Schwierigkeiten.

Unser Projekt erforderte neben bereits vorhanden Apparaten (magnetischer Separator, Spektralapparat, Photometer u. a.) die Anschaffung eines 1,5 m Jarrel Ash Compact Atomcounters, von Mahl- und Mischungsapparaten, eines Spannungsstabilisators sowie den Bau eines neuen Schütteltisches und einer Sieb- und Entstaubungsanlage und ferner die Einrichtung einer Klimaanlage sowie die Besoldung von Assistenten. Seine Durchführung wurde in dankenswerter Weise durch einen Forschungskredit des Schweizerischen Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung und durch Kredite des Kantons Basel-Stadt ermöglicht.

Das neue, spektrometrische Analysenverfahren, worüber an anderer Stelle berichtet wird, entwickelte H. Schwander, der auch alle Spektralanalysen ausführte. Die leichtflüchtigen Komponenten und der Oxydationsgrad von Eisen wurden durch Fräulein M. Rechsteiner bestimmt. Die Assistenten J. Hunziker und W. Stern trennten sämtliche Mineralproben und bestimmten die Radioaktivität und die optischen Daten. Auf Grund ihrer mit selbstgebauten provisorischen Typen gewonnenen Erfahrungen baute Feinmechaniker E. Glauser die Apparaturen. E. Wenk plante die Arbeit, sammelte, zum Teil mit Assistenten, die Proben und besorgte die petrographische Bestimmung und die Auswertung. Herrn J. Hansen verdanken wir die graphischen Arbeiten.

## Methodisches

### Aufsammeln und Aufbereitung der Proben

Da Glimmer besonders anfällig ist Verwitterungseinflüssen gegenüber, wurde darauf geachtet, möglichst frisches Material zu beschaffen — aus Steinbrüchen, von Strassenbauten und durch Sprengung an Naturaufschlüssen.

Je nach Art des Gesteinsmaterials und Zweck der Untersuchung wurden zwischen zwei Kilogramm und dreissig Kilogramm frisches Gestein gesammelt.

Einige Handstücke bleiben als Belegexemplare und Schleifscherben reserviert; der Rest wird in einem Backenbrecher (Schriever & Co., Hannover) gebrochen, anschliessend in einer Scheibemühle (End Runner Mills Co., Ashbourne, England) gemahlen, automatisch auf ein mechanisches Sieb (Eigenkonstruktion) geführt und dort in verschiedene Korngrössen sortiert. Eine oder zwei — je nach Material ausgesuchte — Kornfraktionen trennt ein mechanischer Schütteltisch (Eigenkonstruktion) in Flach- (Glimmer) und Rundkomponenten (Quarz, Feldspat, Granat u. a.). Die Glimmerfraktionen werden mit destilliertem Wasser gewaschen und bei ca. 80° C getrocknet. Eventuelle Eisenbestandteile lassen sich bei schwachem elektromagnetischem Felde im Magnetscheider (Frantz Isodynamic Separator) entfernen. Die Separierung der einzelnen Glimmer erfolgt ebenfalls mit dem Magnetscheider. Von den anfallenden Glimmerproben werden Pulverpräparate (Einbettungsmedium Rhonohistol) hergestellt.

Einzelne Proben weisen jetzt schon eine genügende Reinheit auf und können in der Achatschale (Pulverisette) pulverisiert werden; ein Teil wird wiederum als Reserve zurückbehalten.

Sind Einschlüsse vorhanden, so erfährt das Material eine kürzere Behandlung in der Pulverisette. Unfrische oder verwachsene Körner zerbrechen rasch; ihre Trümmer lassen sich durch Siebung von den reinen Glimmern trennen. Wieder wird ein Pulverpräparat hergestellt, ein Teil des Glimmers als Beleg zurückbehalten und der Rest pulverisiert.

Vor der Spektralanalyse erfolgt die Untersuchung des pulverisierten Glimmers auf seine Radioaktivität (Beta- und Gammaaktivität). Die Tatsache, dass zwar viele Gesteine und Mineralien eine messbare Radioaktivität aufweisen, dass aber die spektralanalytische Erfassung von Elementen aus der Uran-/Thoriumreihe so gut wie nicht möglich ist, liess das Bedürfnis nach einer Methode aufkommen, welche die Spuren radioaktiver Elemente nachzuweisen in der Lage ist.

Von den vielen möglichen Messapparaturen kam von vornherein nur eine Anordnung in Frage, die zerstörungsfrei und ohne allzu grossen technischen Aufwand arbeitet.

Die vorliegenden Messungen wurden mit einem Dualimpulsumsetzer (Typ ELA 3, Landis & Gyr) und mit einem abgeschirmten Geiger-Müller-Zählrohr (Typ EQB 1, Landis & Gyr) ausgeführt. Als Abschirmung gegen kosmische Strahlung diente ein Bleiturm, der uns vom physikalischen Institut der Universität Basel freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurde, siehe Fig. 2 (1 Bleigehäuse, 2 Zählrohr, 3 Zählrohrhalter, 4 Substanzhalter, 4a Substanzhalter-Schublade in der Aufsicht).

Bei der verwendeten Anordnung schwankt das Verhältnis Nulleffekt : Signal zwischen 1 : 1 und 1 : 5; die Eichungen wurden auf K-Aequivalentprozent (K-Ae%), Uran-Ae%, Thorium-Ae% und Rubidium-Ae% geeicht. Rubidium wurde in allen Betrachtungen ausser acht gelassen, da ein Auftreten von 1000 ppm Rb erst 10 Impulse pro Stunde ergäbe.

1% K <sub>2</sub> O	liefert	183 I/h ± 3 I/h
1% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	liefert	112 500 I/h    8 I/h = 10 <sup>-22</sup> C = 1 pC
1% ThO <sub>2</sub>	liefert	48 000 I/h
1% Rb <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	liefert	120 I/h

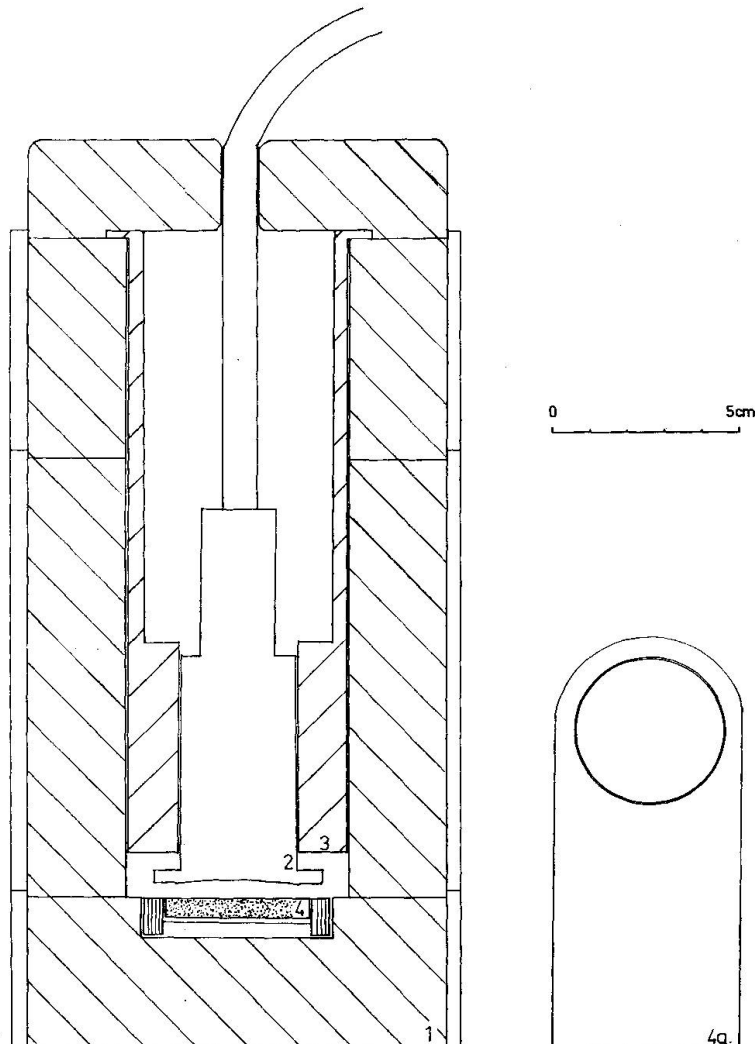


Fig. 2. Abschirmung des Geiger-Müller-Zählrohres. Für Legende siehe Text S. 440.



Mit dem Geiger-Müller-Zählrohr sind grundsätzlich  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  messbar. Für energiereiche  $\gamma$  ist die Ansprechwahrscheinlichkeit sehr gering. Dies wirkt sich bei den Uran-/Thoriumzerfallsreihen nicht aus, da beim Zerfall auch genügend niederenergetische  $\gamma$  entstehen, die vom Geiger-Müller-Zählrohr gemessen werden. Von den  $\alpha$ -Partikeln werden nun die sehr energiereichen, oberflächennahen gemessen (Selbstabsorption). Grob gesehen stellt das Zählrohr ein ideales Gerät zum Nachweis von  $\beta$ -Strahlen dar.

Da  $K_{40}$  zu 88%  $\beta$ -Strahler ist, kann mit unserer Anordnung Kalium besonders gut nachgewiesen werden.

Mit dem Szintillometer können lediglich  $\gamma$  erfasst werden, eine Unterscheidung der Elemente ist — ausser durch  $\gamma$ -Spektrometrie — schwer möglich.

Nach einer längeren Reihe von Vorversuchen, die wir in der Abteilung von Prof. Baumgartner am physikalischen Institut der Universität Basel durchführen konnten, kamen wir schliesslich zu einer Anordnung, die eine gute Reproduzierbarkeit aufweist.

Verschiedene Versuche mit variabler Menge, Korngrösse, Messgeometrie und Messdauer und mit variablem Zählrohrabstand zeigten, dass folgende Anordnung unseren Zwecken am besten gerecht wird:

Substanz: analysenfein gemahlen ( $< 50 \mu \varnothing$ , Ausschaltung von Struktureffekten, die sich gerade bei Glimmern sehr störend bemerkbar machen können);

Menge: 3,0 g. Da es sich in unserem Falle um Mineralfraktionen handelt, die sich nicht ohne weiteres in grösseren Mengen aufarbeiten lassen, erhielten wir nicht immer eine genügende Substanzmenge. Wir sahen in diesen Fällen von einer Radioaktivitätsmessung ab (Lücken in der Liste der Restaktivitäten), es erhellt auch sofort, dass eine Messung mit der von RYBACH (1961) beschriebenen Apparatur aus diesen Gründen für uns nicht ohne weiteres möglich wäre.

Geometrie: siehe Fig. 2, Oberfläche der Probe stets  $11 \text{ cm}^2$ .

Zählrohrabstand: minimal, d. h. 3 mm.

Messdauer: 1 h, vor und nach jeder Messung Feststellung des Nulleffektes je 1 h. Das arithmetische Mittel aus den beiden Nulleffektbestimmungen wird von der Substanzmessung subtrahiert.

Von den gemessenen Aktivitäten wird die Kaliumaktivität — berechnet aus dem  $K_2O$ -Prozentsatz der Spektralanalyse und unter Berücksichtigung eines Korrekturfaktors für Halbwertszeit und Alter der Probe — abgezogen.

Die Restaktivitäten sind auf der Tabelle 4 aufgeführt.

### Quantitative spektrometrische Analyse

Im August 1961 konnte mit der Arbeit am neuen 1,5-m-Atomcounter (Jarrell-Ash, USA) begonnen werden. Das Gerät wurde zunächst optisch justiert, und nach einer ersten Prüfung der Elektronik und der Anregung versuchten wir, Eichkurven für die Hauptelemente der Silikate (Si, Al, Fe, Ca, Mg, Ti, Mn) aufzustellen. Die Resultate befriedigten jedoch nicht, da wir die richtigen Anregungsbedingungen noch nicht kannten. Ausserdem arbeitete das elektronische Mess-System zu ungenau, so dass die geforderte Analysengenauigkeit nicht erreicht wurde. Erst nach einer gründlichen Revision des Mess-Systems durch Angestellte der Tochterfirma (Jarrell-Ash, Le Locle) und nachdem für die bessere Stabilisierung der Anregung ein BBC-Spannungskonstanthalter angeschafft worden war, funktionierte das Gerät einwandfrei, und wir konnten im Frühjahr 1962 ein Analysenverfahren für die oben erwähnten Hauptkomponenten entwickeln.

Der Aufbau des Spektrometers und das Verfahren sind im folgenden kurz beschrieben:

Der 1,5-m-Atomcounter besitzt in der zweiten Ordnung eine Linear-dispersion von  $2,7 \text{ \AA/mm}$ , welche sich über einen Bereich von 2200 bis  $4500 \text{ \AA}$  erstreckt. Diese optischen Eigenschaften genügen vollauf, um die linienarmen Spektren der Silikate photoelektrisch zu erfassen. Als Energiequelle zur Anregung der Proben ist unter anderm ein Hochspannungsfunkenerzeuger eingebaut. Das photoelektrische Mess-System des Atomcounters arbeitet nach folgendem Prinzip:

Das auf die Photokathode der Multipliers gestrahlte Licht wird in einen elektrischen Strom umgewandelt. Die dabei freiwerdende elektrische Energie wird in einem Kondensator gespeichert, dessen Entladung über einen Konverter erfolgt, welcher elektrische Impulse erzeugt. Die Impulszahl ist direkt abhängig von der Spannung des Ladekondensators. Die Registrierung der Impulse erfolgt mit Hilfe eines elektronischen Zählers. Während der Abfunkzeit ist der Kanal des sogenannten Internal-Standards direkt an den Konverter geschaltet, und nach 6000 Zählimpulsen wird die Integrationszeit automatisch unterbrochen. Es ist demnach möglich, den Lichtpegel des Internal-Standards konstant zu halten. Das Mess-System des Atomcounters kann verschiedenen Testprüfungen unterzogen werden. So lassen sich zum Beispiel die Ladekondensatoren mit einer bestimmten Spannung aufladen, und die beim Entladen registrierten Impulszahlen geben an, wie genau das System arbeitet. Die relativen Schwankungen betragen für die einzelnen Ka-

nähe  $\pm 0,1$  bis  $0,2\%$  relative Fehler, was einer hohen Genauigkeit entspricht.

Von grosser Bedeutung sind die nachfolgend beschriebenen Anregungsbedingungen, welche darüber Aufschluss geben, wie eine Analysenprobe im Funkenraum zur Emission gebracht wird:

Die feingepulverte Silikatprobe, die je nach Gehalt an leichtflüchtigen Bestandteilen wie  $H_2O$  und  $CO_2$  bei  $1000^\circ C$  geglüht wurde, wird mit wasserfreiem Borax im Verhältnis  $1:4$  vermischt und zu homogenen Glasperlen geschmolzen. Dadurch werden die verschiedenen Mineralien aufgelöst, die Kristallstrukturen zerstört und ausserdem eine innige Vermischung von Analysesubstanz und Matrix (Borax) erreicht. Die 30 bis 50 mg schweren Glasperlen werden gepulvert und mit pressbarem Graphit im Verhältnis  $1:2$  vermischt. Anschliessend wird die fertige Analysenmischung zu zylindrischen Tabletten gepresst und im Hochspannungsfunken angeregt. Das Na der Matrix dient als Internal-Standard.

Dieses Schmelzverfahren weist vor allem noch den wichtigen Vorteil auf, dass Eichproben und Analysenproben in denselben physikalischen Zustand übergeführt werden. Mit dem beschriebenen Analysenverfahren erzielen wir dann genaue Analysenergebnisse, wann sich die chemischen Zusammensetzungen der Eich- und der Analysenproben möglichst entsprechen. Bei sorgfältiger Standardisierung beträgt der relative Analysenfehler  $\leq 1$  Prozent rel. vom Gehalt, was den gestellten Anforderungen entspricht.

Die Alkalien und die Spurenelemente werden spektralanalytisch auf photographischem Wege bestimmt. Ihre Anregung erfolgt im stromstabilisierten Abreissbogen unter Verwendung von Presslingen und eines Air-Jets, der dazu dient, die Bogensäule mechanisch zu stabilisieren und den Tablettenhalter zu kühlen. Zur Herstellung der Presslinge verwenden wir verschiedene Analysenmischungen, zum Beispiel  $RbCl$  und  $SiO_2$ , als Matrixsubstanzen.  $RbCl$  dient als Puffer zur Anregung der Alkalien,  $Si$  als Internal-Standard bei der Ermittlung der Spurengehalte.

Bis heute sind wir in der Lage, innerhalb des nutzbaren Spektralbereiches von 2200 bis 4500 Å folgende Spurenelemente zu erfassen: Cr, Ni, Co, V, Pb, B, Be, Sr, Ba, Mn. Einige dieser Elemente können bis zu einem Minimalgehalt von 1 bis 10 ppm nachgewiesen werden.

Vor einiger Zeit unternahmen wir ebenfalls den Versuch, Spurenelemente spektrometrisch zu bestimmen. Die Elemente Cr, Ni, Cu, Mn und Be können, trotz der weniger empfindlichen Funkenanregung des Atomcounters, quantitativ in Spuren bestimmt werden.

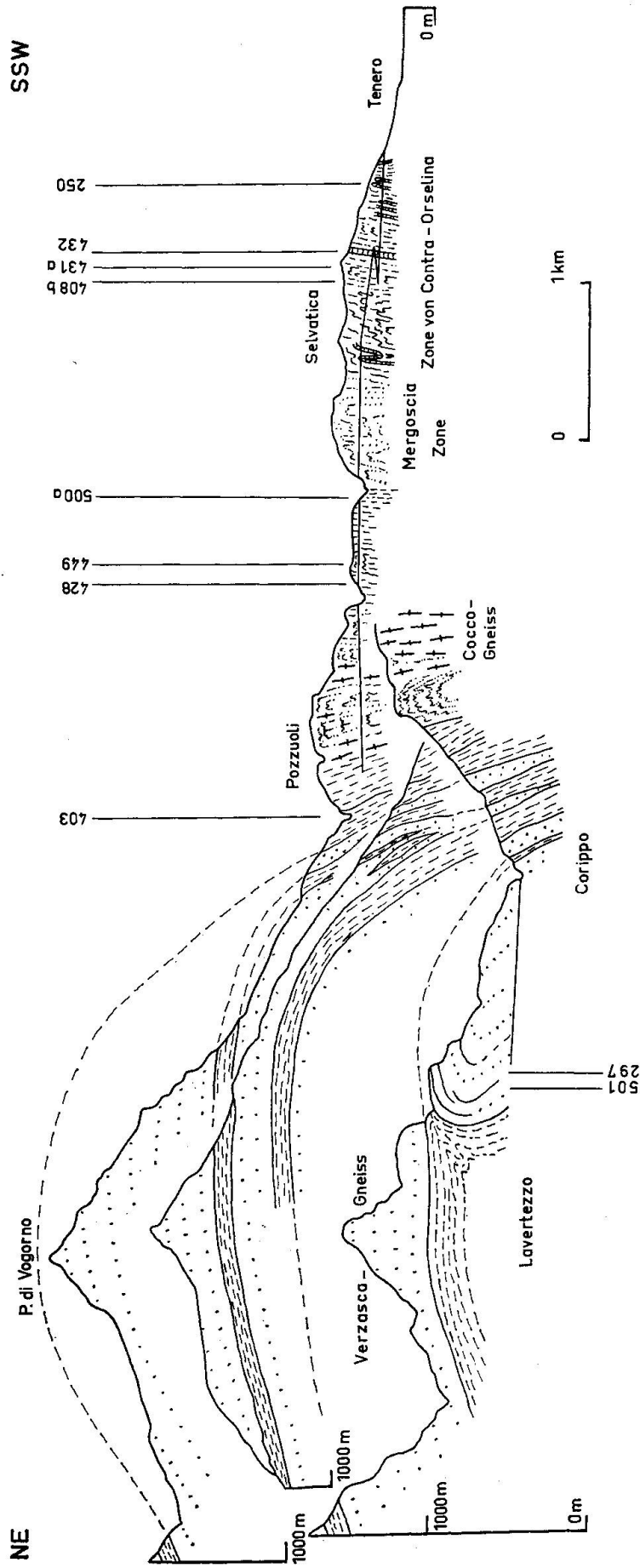


Fig. 3. Querprofil durch den Südteil der Valle Verzasca. Die Nummern beziehen sich auf Proben Vz. (Tabelle 1).

## Resultate

Über Fundorte, Muttergesteine und geologische Situation der analysierten Biotite geben die Tabellen 1a und 1b sowie die Figuren 1 und 3 Auskunft. Daraus ist zu ersehen, dass einerseits versucht wurde, eine grobe regionale Übersicht über die Glimmerzusammensetzung zu gewinnen, und dass andererseits das wichtige, durch den Bau der neuen Talstrasse vorzüglich aufgeschlossene Verzasca-Profil im Detail ausgewertet wurde. Kommende Studien müssen dieses Profil bis zum Gotthard verfolgen und ausserdem besonders die Mineralchemie der Glimmer von Bündnerschiefern und Pegmatiten bearbeiten.

## Hauptelemente

Die Analysendaten und Berechnungen sind in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt. Alle Strukturformeln wurden nach dem Schema von M. FOSTER (1960) berechnet; wir benützten dafür eine Rechenscheibe, weshalb unsere Zahlen um je eine Einheit in der zweiten Dezimale vom richtigen Wert abweichen können. Das Kompilationswerk der zitierten Autorin bietet hauptsächlich aus der älteren Literatur vorzügliche Vergleichsdaten.

Unsere Analysen ergaben durchwegs genügend Al, um die Summe der Tetraederplätze auf 8 zu bringen (Si + Al), und es blieb in allen Fällen Al für die Oktaederplätze übrig. Die 6 Oktaederpositionen sind nur bei den Mg-reichsten Typen voll besetzt; bei intermediären und Fe-reichen Biotiten ergibt die Summe 5,8 bis 5,4. Ein extrem niedriger Wert beträgt 5,19 (Pegmatit).

Die Differenz zwischen den Ladungen der Kationen von Oktaeder- und jenen von Tetraederschichten liegt bei 41 Proben zwischen 2,04 und 1,69 (bezogen auf die ganze Elementarzelle), bei 6 Proben zwischen 1,65 und 1,36, wobei sich deren fünf auf Pegmatite beziehen. Dieser freien Ladung der Schichten muss die Ladung der Zwischenschichtkationen entsprechen. Wie Tabelle 3 zeigt, ist tatsächlich in 38 Fällen die Differenz zwischen den beiden Werten kleiner oder gleich 0,05, und die grösste Abweichung beträgt 0,09. Zum Vergleich sei bemerkt, dass verschiedene publizierte Biotitanalysen der lepontinischen Region diesem Test nicht genügen; ungenügende Mineraltrennung mag dabei mitspielen.

Die Summe Ca + Na + K erreicht in unseren Analysen selten den theoretischen Wert 2; sie ist systematisch sehr niedrig in den eisen- und wasserreichen Glimmern der spätpalpinen Pegmatite. Da alle Glimmer

nach dem gleichen Verfahren gemahlen, aufbereitet, getrennt, gemischt und analysiert wurden, müssen diese Sonderfälle ihre Bedeutung haben. Alle Ausnahmen stammen von vielleicht nur scheinbar frischen Oberflächenaufschlüssen, nicht aus Steinbrüchen oder vom modernen Strassenbau; es sind also möglicherweise Verwitterungseinflüsse (Hydroglimmer) im Spiele. Der Befund spornt uns — und wohl auch unsere Kollegen — an, bei Glimmeranalysen ganz besondere Ansprüche an die Probenfrische zu stellen und dieser Frage weiter nachzugehen. Analog anderen modernen Biotitanalysen, jedoch im Gegensatz zu älteren Methoden, ergaben unsere Untersuchungen durchwegs niedrige Na-Gehalte.

Die Tabellen, und hauptsächlich Fig. 4, bestätigen, dass in der ganzen Reihe der Hauptelemente das Verhältnis  $\frac{\text{Mg}}{\text{Mg} + \text{Fe}^{+2} + \text{Mn}^{+2}}$  weitaus am stärksten variiert. Das Dreieck Mg-Fe<sup>+2</sup>(+Mn<sup>+2</sup>)-R<sup>3</sup> ist somit vorzüglich geeignet für die Darstellung der chemischen Beziehungen. Ti und Mn sind selten in Mg-reichen Gliedern, variieren im übrigen aber nicht wesentlich. Einzig der Biotit vom Nordportal des Strassentunnels San Bernardino, von der oberen Grenze der Mesozone, fällt durch einen hohen Mn-Gehalt sowie niedrige Al<sup>VI</sup>- und Ti-Gehalte auf, analog den Befunden von ENGEL und ENGEL (1960) in den schwächer metamorphen Serien der Adirondacks. Ob solche Zusammensetzungen generell charakteristisch sind für den oberen Rand der alpinen Biotitzone, ist erst noch nachzuweisen. Auch der R<sup>+3</sup>-Gehalt schwankt in mässigen Grenzen. Die Projektionspunkte der analysierten tri-oktaedrischen Glimmer sind — mit einer Ausnahme — im von FOSTER (1960, Fig. 11) umgrenzten Feld angeordnet. Das in der zitierten Figur zwischen 60 und 70% Mg dünn besetzte Feld wird durch die alpinen Mg-Biotite aus Bündnerschiefern und Ophiolithen gut angefüllt. In unsere Figur 4 wurden auch das gleiche Gebiet betreffende Literaturdaten aufgenommen, über welche die Fundortkarte (Fig. 1) orientiert.

Die wichtige Frage, ob die Variation des Mg-Gehaltes durch Paragenese und Gesteinszusammensetzung oder durch Metamorphosegrad und geologische Position bedingt sei, ist in bezug auf die Mg- und Fe-reichen Endglieder unbedingt im ersten Sinne zu beantworten. Diese Interpretation versagt aber, wenn wir die so ungemein verbreiteten Zwischenglieder betrachten. Zur Diskussion dieser komplexen Frage wählten wir in Fig. 4 Signaturen, welche die Beziehung zum Muttergestein kennzeichnen. Die analysierten Phlogopite-Biotite stammen aus folgenden Gesteinsgruppen, die nicht nur petrographische, sondern auch genetische Systeme darstellen:

- I. Marmore, Karbonat-Glimmerschiefer (*calcescisti*) und -phyllite: metamorphe mesozoische Sedimente.
- II. Amphibolreiche Gesteine und monomineralische Hüllen um zonar gebaute, ultrabasische Linsen: metamorphe Ophiolithe in I, III und IV.
- III. Glimmerschiefer, mesokrate Plagioklasgneisse, untergeordnet dunkle Gneisskörper in Migmatitkomplexen: sedimentogene Schieferhülle, Alter des Sedimentes unbestimmt (vormesozoisch, mesozoisch).
- IV. Leukokrate Gneisse, massige Granitoide, chymogener Anteil der Migmatite: syn- bis spätkinematische, granitoide Kerngesteine mehrheitlich anatektischen Ursprungs.
- V. Pegmatite, untergeordnet gangartige Quarzgesteine.
  - a) Linsen- und aderartige Bildungen, unregelmässige, teils konkordante, teils diskordante Gänge und Adern in II, III und IV: vorwiegend Exsudate aus Wirtgestein.
  - b) Echte, klar diskordante, brettartige Gänge (meist ac-Klüfte), oft mit Beryll, Turmalin und manganreichem Granat, alle Gesteinsserien I—IV durchschlagend: postkinematische Pegmatite tiefen Ursprungs.

Wie Fig. 4 zeigt, sind die tri-oktaedrischen Glimmer der Gruppen I und II am Mg-reichsten, die Biotite der Gruppe Vb die Fe-reichsten. Hinsichtlich der Hauptelemente unterscheiden sich die Glimmer der Gruppen I und II nicht. In den Mittelbereich des Dreieckes, mit Mg-Gehalten zwischen 30 und 60%, fallen alle Glimmer der Gesteinsgruppen III, IV und Va und, bezeichnenderweise, auch einige der Gruppe I (*calcescisti*) — somit alle Hauptgesteine des lepontinischen Gneisskomplexes. Wohl sind die Glimmer der Schieferhüllen im Durchschnitt Mg-reicher als jene der Gneisskerne; aber die Felder überschneiden sich: Der Calcit-Glimmerschiefer Spl. 50G der Gruppe I führt fast den gleichen Biotit wie der mesokrate Plagioklasgneiss Vz. 216 der Gruppe III, der Antigoriogneiss HuSt. 899 und der Pegmatit Vz. 432 der Gruppe Va. Noch eindrücklicher ist die Übereinstimmung, wenn man auf engem Raume in geologischem Zusammenhang stehende Proben vergleicht: Der Biotit des Cocco-Gneisses Vz. 283b stimmt mit jenem der grossen, eingeschlossenen, dunklen Scholle Vz. 280b überein. Im Gebiet Brione-La Marcia unterscheiden sich die dunkeln Glimmer der Verzasca-Gneisse aus zwei verschiedenen Steinbrüchen der Typenlokalität Brione (Vz. 452

und Standard 4B) kaum von jenen der 900 m höher gelegenen Alpe Tencio (Vz. 395) und der nochmals 600 m höheren Gipfelregion La Marcia (Vz. 478):

	R <sup>+3</sup>	Fe <sup>+2</sup>	Mg
Vz. 452	23,7	45,7	30,6
Standard 4B	22,8	46,1	31,1
Vz. 395	26,2	43,3	30,5
Vz. 478a	24,3	45,5	30,2
Vz. 478c	24,8	48,1	27,1

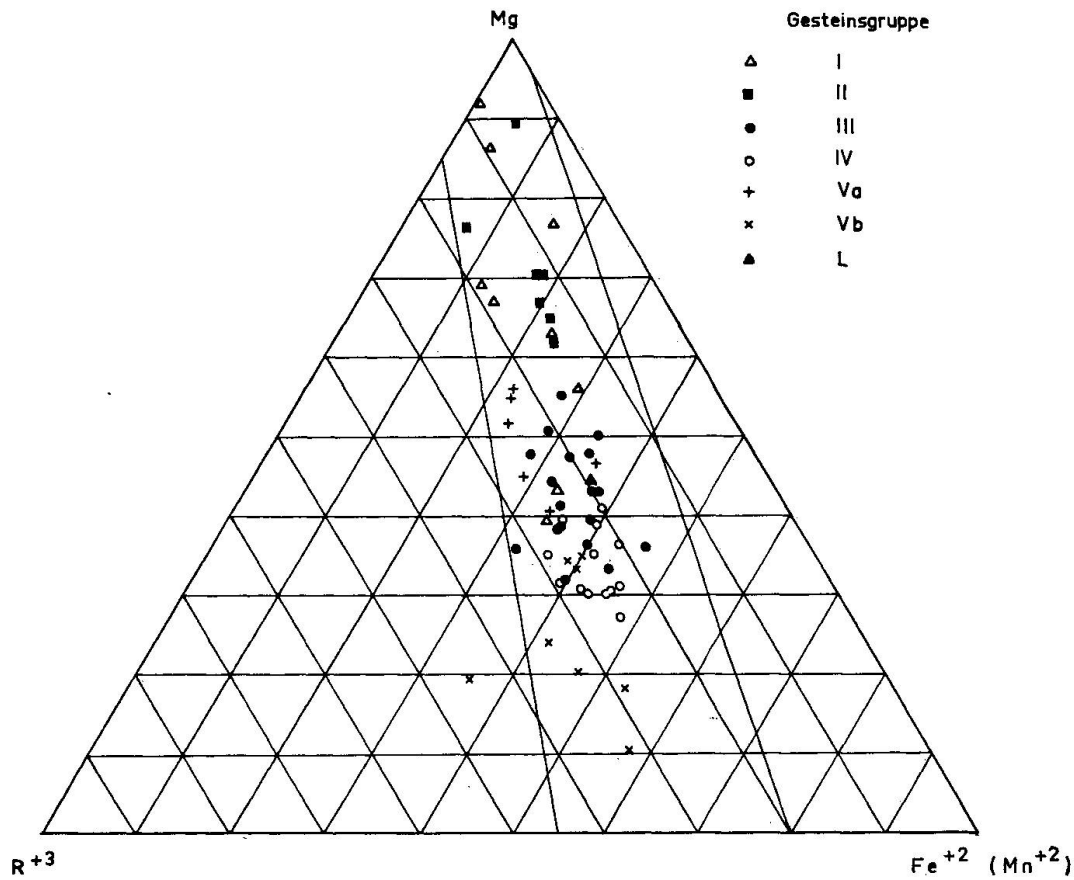


Fig. 4. Mg-, Fe<sup>+2</sup>-, R<sup>+3</sup>-Dreieck mit den Projektionspunkten aller analysierten Phlogopite-Biotite und einigen Literaturdaten (Chemismus schweizerischer Gesteine).

- I = Metamorphe mesozoische Karbonatgesteine.
- II = Metamorphe Ophiolithe.
- III = Sedimentogene, karbonatfreie Schieferhülle.
- IV = Granitoide Kerngesteine, synkinematisch.
- Va = Pegmatit- und Quarz-Adern und Linsen, spätkinematisch.
- Vb = Diskordante Pegmatitgänge, postkinematisch.
- L = Lamprophyr (? Paragneiss) vom Gotthard.



Der in 2 m Abstand vom nebulitischen, hellen Gneiss Vz. 395 gesammelte Granat-Biotit-Plagioklasgneiss (Schieferhülle) Vz. 393 weicht in seiner Zusammensetzung nur unwesentlich ab. Zwischen diese zwei Proben ist jedoch als Mg-reicher Saum das Muster Vz. 394 eingeschaltet, das die bei der Homogenisierung ausgeschiedenen Reststoffe enthält (in Strahlstein und Biotit).

	R <sup>+3</sup>	Fe <sup>+2</sup>	Mg
Vz. 393	22,9	43,8	33,3
Vz. 394	13,6	21,4	65,0

Die zwischen Vz. 478a und c auf La Marcia eingeschaltete, mesokrate und sedimentogene Scholle ohne Restitsaum Vz. 478b führt wieder einen dem Kerntyp verwandten Glimmer:

	R <sup>+3</sup>	Fe <sup>+2</sup>	Mg
Vz. 478b	23,5	39,9	36,6

Die Überschneidung der Biotitfelder der Gruppen III bis Va in diesem intermediären Bereich ist genetisch bedeutsam und bestätigt die weitgehende Homogenisierung im Verlaufe der alpidischen Kristallisation, die mit ultrametamorphen Vorgängen verknüpft war. In dieser Hinsicht sind auch die Befunde an Pegmatitglimmern wichtig.

Eine besondere Überraschung bot die grosse Ausdehnung des Pegmatitfeldes und seine Zerteilung in einen Fe-reichen Bezirk, welcher — den Literaturdaten nach zu urteilen — charakteristisch zu sein scheint für Biotite der durch magmatische Differentiation entstandenen Granite, und in einen Mg-reicheren Bezirk, der — vielleicht mit etwas höheren R<sup>+3</sup>-Werten — das weite Feld der Kerngneisse und Hülschiefer umfasst und offensichtlich anatektischer Natur ist.

Das geologische Auftreten und der Mineralbestand sprachen von jeher für eine Differenzierung der beiden Pegmatitgruppen Va und Vb. Die Gruppe Va ist ubiquitär in der Zone der Anatexis; die querschlagenden und oft mineralreichen Pegmatite Vb sind aber beschränkt auf eine schmale, langgestreckte Zone, die vom Onsernone her die Maggia zwischen Ponte Brolla und Moghegno, die Verzasca zwischen Vogorno und Lavertezzo, den Ticino zwischen Claro und Cresciano, die Moesa nördlich Grono quert und in Richtung Val Bodengo-Bergellerintrusion weiterzieht. Wir erwarteten jedoch nicht, dass die Mineralchemie von Biotit den Unterschied so klar manifestiere. Das Resultat fordert geradezu zu einem vertieften regionalen Studium des Gangschwarmes Vb heraus! Dass Pegmatite der Gruppe Va, die in basischen Gesteinen auftreten,

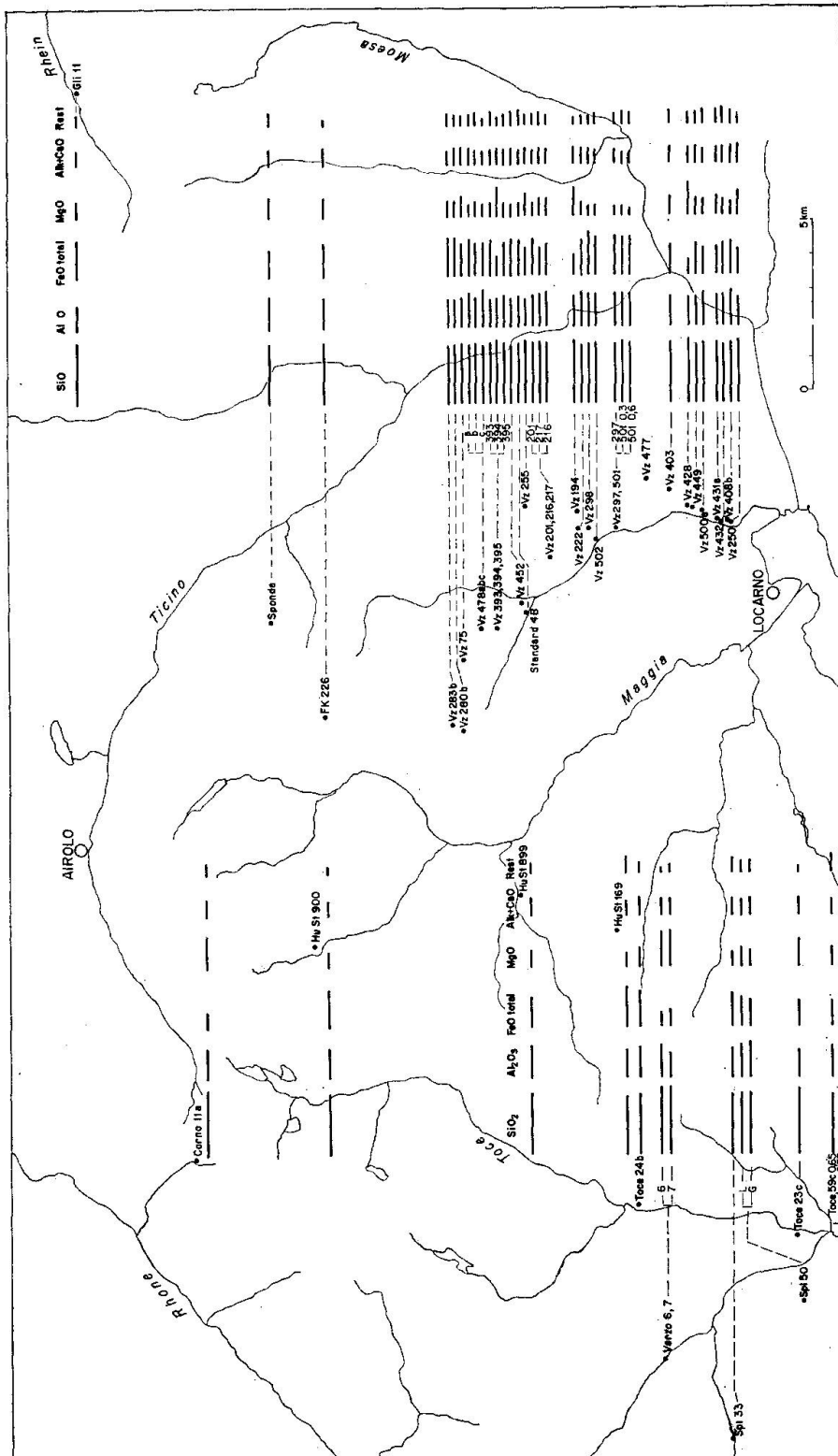


Fig. 5. Graphische Darstellung der Analysenergebnisse im Kartenbild, Hauptelemente.

recht Mg-reich sein können, war allerdings bereits durch einige Analysen von JAKOB (1931) angedeutet; unsere Daten belegen diese Abhängigkeit vom Wirtgestein, und da heute experimentelle Studien vorliegen, werden wir dieser Frage ganz besondere Beachtung schenken.

Auf die eingangs gestellte Frage zurückkommend, stellen wir also fest, dass in den Tessiner Alpen extrem Mg-reiche, tri-oktaedrische Glimmer nur in Dolomitmarmoren und basischen Metamorphiten und extrem Fe-reiche Glimmer nur in mineralreichen, postkinematischen Pegmatiten auftreten, dass aber intermediäre Biotite in der Zone der Anatexis in sehr verschiedenartigen geologischen Körpern — in calcescisti, hellen und dunklen Gneissen, Glimmerschiefern und Pegmatiten zu finden sind und, je nach dem vorherrschenden Wirtgestein, variieren. Die in sich „geschlossenen“ Systeme waren sehr weit und die geochemische Wandlungsfähigkeit gross.

### Spurenelemente

Über die Resultate orientieren Tabelle 4 und Figur 6.

- Ba (< 100 bis > 1000 ppm): Hohe Gehalte kennzeichnen die Biotite aus Glimmerschiefern und Paragneissen, niedrige solche aus hellen Gneissen und Pegmatiten.
- Be (< 5 bis 20 ppm) ist gleichmässig verbreitet; eine geringe Anreicherung ist in Biotiten der Pegmatitgruppe V b zu bemerken.
- B (< 10 bis 220 ppm) tritt besonders in den Pegmatiten V b und ausserdem in einigen Bündnerschiefern auf.
- Pb (< 10 bis 680 ppm). Auffallend ist einzig der hohe Pb-Gehalt des Biotites aus einer pegmatitischen Druse im Baveno-Granit (permo-karbonisch).
- V (25 bis 680 ppm) findet sich hauptsächlich in metamorphen Sedimenten der Gruppen I und III und ist selten in den granitoiden Gruppen IV und V.
- Zr (< 10 bis > 200 ppm). Hohe und niedrige Gehalte treten in allen Gesteinsgruppen auf, und in der Verteilung sind weder petrographische noch regionale Richtlinien erkennbar.
- Co (< 10 bis 100 ppm): Höhere Gehalte in den Gesteinsgruppen I—III, ausgesprochen niedrige in Gruppe V.
- Ni (< 10 bis > 400 ppm). Kennzeichnet die basischen Gesteine der Gruppe II und einige amphibolführende Bündnerschiefer. Geringste Ni-Gehalte in Pegmatitglimmern und solchen aus hellen Gneissen.

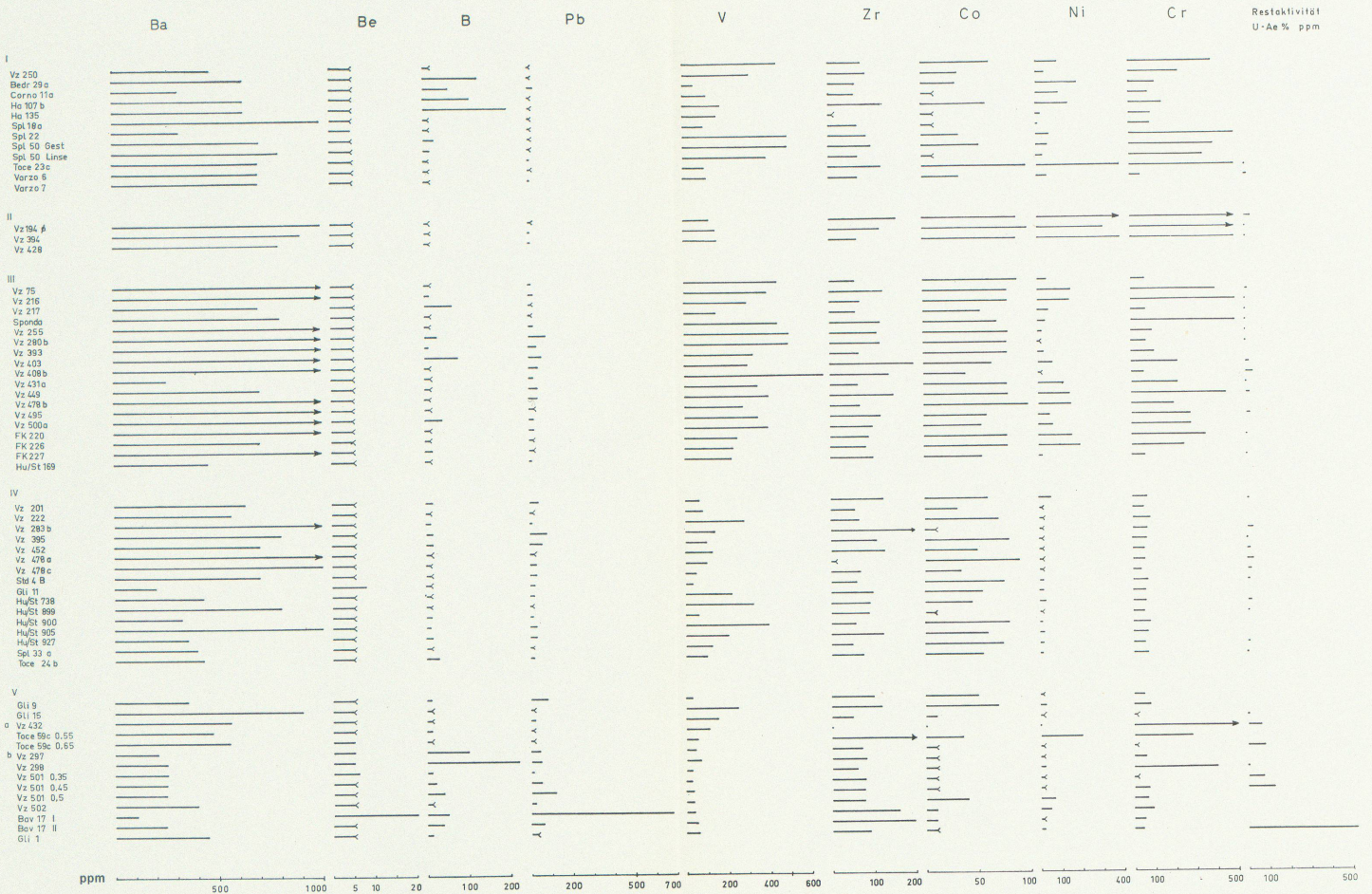


Fig. 6. Graphische Darstellung der Spurengehalte der analysierten tri-oktaedrischen Glimmer.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

Cr (<10 bis >500 ppm). Im Gegensatz zur Verteilung von Ni, sind hohe Cr-Gehalte ebenso typisch für basische Metamorphite wie für metamorphe pelitische Sedimente. Wiederum treten aber in granitoiden Gesteinen niedrige Gehalte auf.

Die Sr-Bestimmungen werden einstweilen weggelassen, da sich ergab, dass die Fe-Linie 2719 der 3. Ordnung unsere Sr-Analysenlinie 4077 der 2. Ordnung stört.

Wir erwähnen dies, da wir in der Literatur keine diesbezügliche Notiz finden konnten.

### Farbe

Tabelle 4 und Fig. 7 orientieren über die Farbe der analysierten Glimmer. Die Phlogopite und Mg-Biotite zeigen gelbe Farbtöne im Auf-

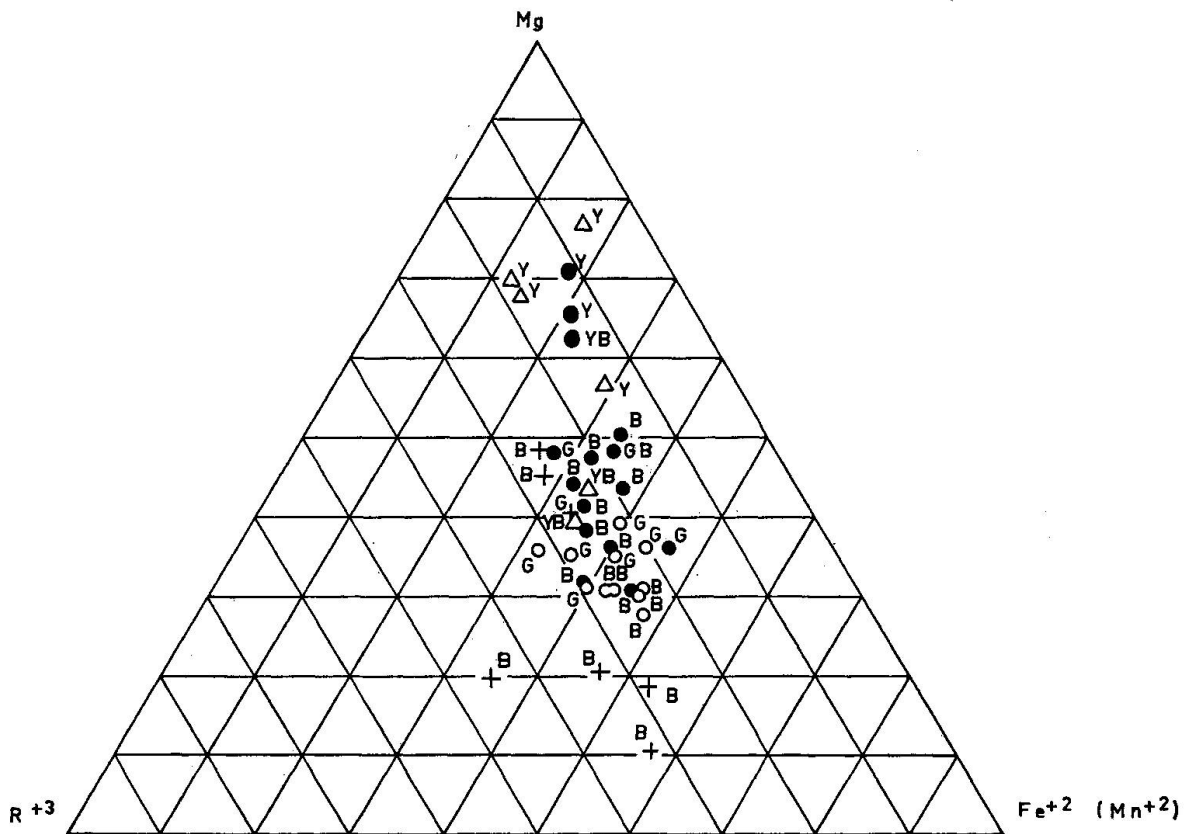


Fig. 7. Beziehungen zwischen makroskopischer Glimmerfarbe (Analysenpulver Y = gelb bis hellbraun, B = braun, G = grün bis graugrün),  $R^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$ - und Mg-Gehalt und petrographischer Gruppierung. Dreiecke = metamorphes Meso-ozoikum, Punkte = Hüllgesteine inkl. basische Linsen, Kreise = Kerngneisse, Kreuze = Pegmatite und pegmatoide Bildungen.

licht. Die Hauptmasse der Tessiner Biotite ist braun, ein Teil grün. Prüft man die grünen Biotite auf ihre Haupt- und Nebenelemente, so zeigt sich deutlich, dass alle durch ein hohes Verhältnis  $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}}$  ausgezeichnet sind, während kein anderes Element eine besondere Verteilung erkennen lässt. Im mesothermalen Bereich bedingt also  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  die grüne Farbe; epithermale grüne Glimmer sind in unserem Analysenmaterial nicht vertreten.

Kerngneisse (Cocco, Antigorio) zeigen häufiger Grüntöne als Hüllschiefer.

Nachdem die Abklärung einiger Grundlagen durchgeführt ist, können verschiedene mineralchemisch-genetische Fragen, deren Diskussion die Vorstudien als Erfolg versprechend erwiesen haben, jetzt systematisch behandelt werden.

Wir werden nun besonders die paragenetischen Fragen weiterverfolgen, da manche Muttergesteine unserer Biotite schon früher analysiert wurden und auch die begleitenden Muskowite bereits separiert sind. —

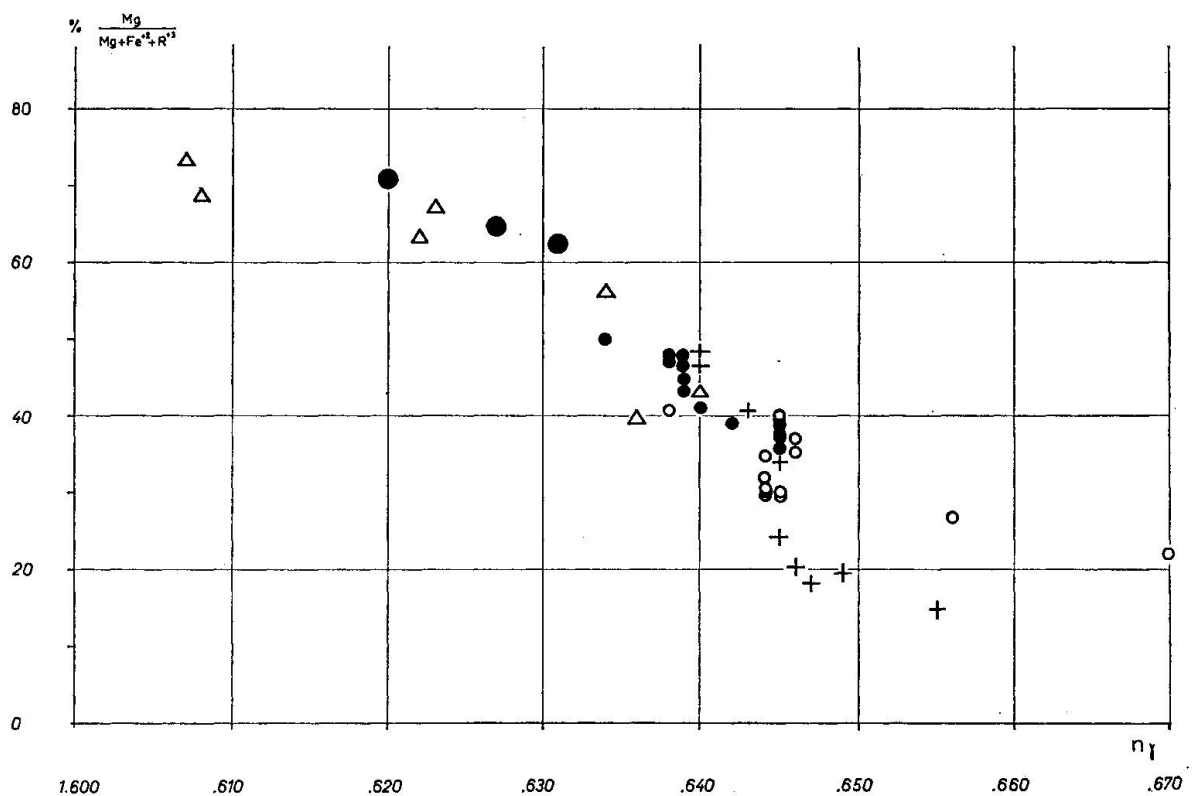


Fig. 8. Lichtbrechung und Verhältnis  $\frac{\text{Mg}}{\text{Mg} + \text{Fe}^{+2} + \text{R}^{+3}}$  der analysierten tri-oktaedrischen Glimmer. Zeichenerklärung wie bei Fig. 7.

Wir erkennen heute die Schwierigkeiten; verschiedenartige Ursachen können die gleiche Wirkung haben, und nur vertiefte Studien an ausgewähltem Material werden die Zusammenhänge klären helfen.

### Literatur

- Chemismus schweizerischer Gesteine (1942, 1956). Siehe: DE QUERVAIN, F.
- ENGEL, A. E. J. and ENGEL, C. G. (1960): Progressive Metamorphism and Granitization of the Major Paragneiss, Northwest Adirondack Mountains, New York. Part II: Mineralogy. Bull. geol. Soc. Amer., Vol. 71, 1—57.
- FOSTER, M. D. (1960): Interpretation of the Composition of Trioctahedral Micas. Geol. Survey prof. Pap. 354-B. Washington.
- JÄGER, E. and FAUL, H. (1959): Age Measurements on some Granites and Gneisses from the Alps. Bull. geol. Soc. Amer., Vol. 70, 1553—1558.
- JÄGER, E., GEISS, J., NIGGLI, E., STRECKEISEN, A., WENK, E. und WÜTHRICH, H. (1961): Rb-Sr-Alter an Gesteinsglimmern der Schweizer Alpen. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., Bd. 41, 255—272.
- JÄGER, E. (1962): Rb-Sr Age Determinations on Micas and Total Rocks from the Alps. J. geophys. Res., Vol. 67, 5293—5306.
- JAKOB, J. (1931): Beiträge zur chemischen Konstitution der Glimmer. IX. Mitteilung: Über den Bau der Biotite im weiteren Sinn. Z. Krist., Bd. 79, 367—378.
- DE QUERVAIN, F. und FRIEDLAENDER, C. (1942): 1. Nachtrag zu Chemismus schweizerischer Gesteine. Beitr. Geol. Schweiz. geotechn. Serie, Lfg. 20.
- DE QUERVAIN, F. und JENNY, V. (1956): 2. Nachtrag zu Chemismus schweizerischer Gesteine. Beitr. Geol. Schweiz, geotechn, Serie, Lfg. 34.
- RYBACH, L. (1961): Radiometrische Untersuchungen in der Misoxer Muldenzone. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. Bd. 41, 85—102.
- SCHWANDER, H. (im Druck): Quantitative analysis of the major and minor constituents of silicate rocks and minerals by means of direct reading spectroscopy.
- TUTTLE, O. F. and BOWEN, N. L. (1958): Origin of granite in the light of experimental studies in the system  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{SiO}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$ . Geol. Soc. Amer. Mem. 74.

Manuskript eingegangen am 31. Mai 1963.



Tabelle 1 a. Muttergestein und Fundort der chemisch analysierten Biotite aus der Verzasca

Nr.	Muttergestein und geologischer Verband	Fundort	Koordinaten	Höhe m
VZ. 75	Epidot-Biotit-Andesingneiss, mesokrate Bank im Verzasca-Gneiss	Grat P. Rasia-Cima di Cartedo	700.6 /132.4	2400
VZ. 194	Biotitschiefer, monomineralische Hülle um Olivinfelsinse in Gneiss	Mte Sambuco, Val Agro	709.4 /125.15	900
VZ. 201	Zweiglihmer-Mikrokin-Oligoklasgneiss, leukokrat, Verzasca-Gneiss	Rozzera ob Motta	706.55/126.5	1320
VZ. 216	Biotit-Oligoklasgneiss, mesokrater Körper in Migmatitkomplex	Rozzera ob Motta	706.85/126.75	1490
VZ. 217	Biotit-Oligoklasschiefergneiss, mesokrate Schieferhülle	Rozzera ob Motta	706.85/126.75	1500
VZ. 222	Zweiglihmer-Mikrokin-Oligoklasgneiss, leukokrat, Verzasca-Gneiss	Föpia N Lavertezzo	708.45/125.0	1100
VZ. 250	Phlogopit-Kalksilikatmarmor, Marmorzone von Contra	Steinbruch Scalate	708.9 /115.9	350
VZ. 255	Hornbl.-Biotit-Bytownitgneiss, mesokr. Bank in migmatit. Verzasca-Gneiss	Alpweg Fornà, Val Agro	708.7 /128.35	1580
VZ. 280 b	Epidot-Hornbl.-Biotit-Mikrokin-Oligoklasgneiss, Scholle im Cocco-Gneiss	Pizzo Cocco	696.3 /132.0	2250
VZ. 283 b	Biotit-Andesingneiss, typischer Cocco-Gneiss	Pizzo Cocco	696.8 /132.4	2200
VZ. 297	Beryll-Turmalin-Muskowit-Pegmatit, postkinematischer Gang	Verzascafluss S Lavertezzo	708.45/122.9	500
VZ. 298	idem	Strasse Lavertezzo-Cognora	708.6 /124.5	660
VZ. 393	Titanit-Granat-Biotit-Oligoklasgneiss, mesokrater Hüllgneiss	Alpe Tencio	702.6 /129.9	1680
VZ. 394	Biotit-Strahlsteinschiefer, Kontaktaum Verzasca-Gneiss-Amphibolit	Alpe Tencio	ibidem	
VZ. 395	Biotitschmitze in nebulitischem Verzasca-Gneiss, Migmatit	Alpe Tencio	ibidem	
VZ. 403	grobschuppige Sammelkristallisation von Biotit in mesokrater Adergneiss	Val della Porta	710.75/119.8	640
VZ. 408 b	Muskowit-Biotit-Oligoklasschiefergneiss, mesokr., Paragesteinszone Contra-Orselina			
VZ. 428	Strahlstein-Biotitschiefer, Schieferzone N der Adergneisse von Mergoscia	N Gordemo	708.8 /116.5	420
VZ. 431 a	Biotit-Andesingneiss, mesokrat, Paragesteinszone Contra-Orselina	Fontöbbia	709.65/118.63	460
VZ. 432	Biotit-Pegmatit, spätkinematischer Gang in Zone Contra-Orselina	N Gordemo	708.9 /116.6	410
VZ. 449	Biotit aus Quarzlinse im mesokraten Bändergneiss N der Zone von Mergoscia	N Gordemo	708.8 /116.4	430
VZ. 452	Biotitschmitze in Zweiglihmer-Bändergneiss, Verzasca-Gneiss	Fontöbbia	709.6 /118.45	500
VZ. 478 a	Muskowit-Biotit-Oligoklasgneiss, leukokrat, Verzasca-Gneiss	Brione-Verzasca	704.2 /128.5	820
VZ. 478 b	Muskowit-Biotit-Oligoklasschiefergneiss, mesokrate Scholle in Migmatit	La Marcia	702.23/131.15	2300
VZ. 478 c	Muskowit-Biotit-Oligoklasschiefergneiss, miloklimführend, Verzasca-Gneiss	ibidem	ibidem	
VZ. 500 a	Biotitschiefer, Paragesteinszone N Adergneisse von Mergoscia	ibidem	ibidem	
VZ. 501	(2 Analysen) Biotit-Muskowit-Pegmatit, postkinematischer Gang	Valle della Cazza	709.5 /117.97	500
VZ. 502	Biotit aus Quarzgang, schwach diskordant, in Bändergneiss	Ör S Lavertezzo	708.6 /122.95	530
Standard		Lavertezzo	707.75/124.0	530
Brione 4 B	Zweiglihmer-Oligoklasgneiss, Verzasca-Gneiss	Brione-Verzasca	703.7 /128.25	800

Tabelle 1 b. Muttergestein und Fundort chemisch analysierter Biotite von der Alpensüdseite

Nr.	Muttergestein und geologischer Verband	Fundort	Koordinaten	Höhe m
Bav. 17	Druse in Baveno-Granit, hydrothermale Bildung in spätherzynisch. Pluton	Monte Camoscio	45° 55' / 3° 58'	600
Bedr. 29a	Klinoisit-Plagioklas-Calcit-Glimmerschiefer, Bündnerschiefer Bedretto-Zone	Ambri, Riale Secco	695.25 / 151.75	1040
Corno 11a	Querbiotit-Calcit-Quarz-Sericitphylit, gothardmassives Mesozoikum	Altstafel, Aegidental	671.35 / 146.9	1980
F.K. 226	Staurolith-Granat-Muskowit-Biotit-Plagioklasgneiss, Campo Tencia-Masse	Val di Prato (Maggia)	697.47 / 139.86	1400
Gl. 1	Granat-Beryll-Turmalin-Biotit-Muskowit-Pegmatit, postkinematischer Gang	Bondasca, Bergell	766.85 / 132.5	2000
Gl. 11	Biotit-Muskowit-Epidot-Albit-Mikroklingsneiss, Adula-Decke	N-Portal Bernhardin-Tunnel	734.05 / 153.75	1640
HuSt. 169	Biotithaut um Quarzlinse in mesokrater Antigorio-Gneiss	Alpe Ribbia, Vergeletto	684.85 / 122.85	2000
HuSt. 899	plattig, mesokrat. Epidot-Biotit-Mikrokin-Oligoklas-Gneiss, Antigorio-Gneiss	Val di Campo	687.30 / 128.60	700
HuSt. 900	feinfasriger Muskowit-Biotit-Oligoklas-Mikroklingsneiss, Antigorio-Gneiss	S. Carlo, V. Bavona	683.95 / 140.45	1200
Spl. 33a	Biotithülle um Quarzlinse in Alkalifeldspatgneiss, Antigorio-Gneiss	Zoll Iselle	655.20 / 116.35	800
Spl. 50 G	Plagioklas-Skapolith, Muskowit-Biotit-Calcitschiefer, Bündnerschiefer über Antigorio-Gneiss	Riale di Burro	663.3 / 112.45	1200
Spl. 50 L	idem, biotitreiche Haut um Quarz-Calcitlinse darin	ibidem	ibidem	
Sponda	Disthen-Staurolith-Paragonit-Biotitschiefer der Campo Tencia-Masse	Alpe Sponda	702.5 / 142.0	2200
Toce 23c	Skapolith-Phlogopit-Marmor, metamorph. Mesozoikum über Antigorio-Gneiss	Oira, V. d'Antigorio	667.2 / 113.38	360
Toce 24b	Biotit-Oligoklas-Mikroklingsneiss, Verampio-Gneiss	Verampio, V. d'Antigorio	668.85 / 121.6	530
Toce 59c	(2 Analysen) Biotit aus glimmerreichem Pegmatit, Gang in boudinierterem Meta-Peridotit	Mondei, Monucco	46° 05' / 4° 13'	1000
Varzo 6	Strahlstein-Phlogopit-Karbonat-Oligoklasgneiss, metamorphes Mesozoikum in Basis des Antigorio-Gneiss	Cioina dentro, V. Cairasca	660.2 / 119.9	1000
Varzo 7	idem	ibidem	ibidem	





Tabelle 3. Strukturformeln der analysierten Biotite

Nr.	Si	AlIV	AlVI	Ti	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn	Mg	Summe VI	Ca	Na	K	Summe Alk	L. diff. Schicht.	R <sup>2+</sup>	Fe <sup>1+</sup>	Mg	Gesteinsgruppe
Varzo 6	5,72	2,28	0,15	0,10	0,16	0,98	0,01	4,58	5,98	0,02	0,09	1,77	1,88	1,84	6,9	16,5	76,6	I
Vz 428	5,59	2,41	0,47	0,17	0,02	1,07	0,01	4,15	5,89	0,02	0,10	1,74	1,86	1,84	11,2	18,3	70,5	II
Varzo 7	5,53	2,47	0,68	0,12	0,30	0,71	0,01	4,09	5,91	0,02	0,08	1,69	1,79	1,73	18,6	12,2	69,2	I
Corno 11a	5,58	2,42	0,65	0,12	0,27	0,82	0,00	3,87	5,73	0,04	0,03	1,74	1,81	1,80	18,2	14,3	67,5	I
Vz 394	5,52	2,48	0,44	0,14	0,21	1,23	0,01	3,76	5,79	0,06	0,09	1,72	1,87	1,96	13,6	21,4	65,0	II
Vz 194	5,40	2,60	0,46	0,29	0,10	1,34	0,01	3,64	5,84	0,02	0,14	1,62	1,78	1,82	14,6	23,1	62,3	II
Toce 23c	5,67	2,33	0,49	0,26	0,04	1,30	0,00	3,60	5,69	0,04	0,05	1,82	1,91	1,90	13,9	22,9	63,2	I
Vz 250	5,54	2,46	0,40	0,26	0,16	1,66	0,01	3,20	5,69	0,10	0,05	1,86	2,01	2,01	14,4	29,4	56,2	I
Vz 255	5,54	2,46	0,39	0,30	0,20	1,90	0,03	2,84	5,66	0,05	0,11	1,77	1,93	1,99	15,7	34,1	50,2	III
Toce 59c (0,55)	5,37	2,63	0,62	0,32	0,09	2,06	0,03	2,72	5,84	0,01	0,06	1,58	1,65	1,63	17,6	35,8	46,6	Va
Vz 75	5,40	2,60	0,46	0,27	0,27	1,92	0,04	2,74	5,70	0,01	0,04	1,90	1,95	1,94	17,5	34,4	48,1	III
Sponda	5,45	2,55	0,75	0,25	0,14	1,82	0,03	2,71	5,70	0,02	0,04	1,64	1,70	1,74	20,0	32,5	47,5	III
Vz 431a	5,48	2,52	0,67	0,28	0,38	1,48	0,07	2,66	5,54	0,01	0,06	1,75	1,82	1,83	24,0	28,0	48,0	III
Toce 59c (0,65)	5,53	2,47	0,82	0,30	0,31	1,54	0,03	2,45	5,45	0,01	0,06	1,74	1,81	1,83	26,2	28,8	45,0	Va
F.K. 226	5,40	2,60	0,58	0,22	0,32	2,09	0,01	2,45	5,67	0,04	0,02	1,81	1,87	1,89	19,7	37,0	43,3	III
Vz 403	5,51	2,49	0,59	0,28	0,20	2,06	0,06	2,43	5,62	0,02	0,04	1,83	1,89	1,90	19,1	37,7	43,2	III
Vz 449	5,59	2,41	0,76	0,28	0,23	1,70	0,04	2,41	5,42	0,04	0,02	1,94	2,00	2,03	23,4	32,2	44,4	III
Spl 50 L	5,47	2,53	0,73	0,31	0,23	1,82	0,01	2,41	5,51	0,02	0,05	1,81	1,88	1,92	23,0	33,2	43,8	I
GZi 11	5,58	2,42	0,35	0,18	0,61	2,08	0,16	2,34	5,72	0,04	0,06	1,56	1,66	1,69	19,9	39,2	40,9	IV
Vz 217	5,52	2,48	0,86	0,27	0,20	1,86	0,03	2,24	5,46	0,02	0,09	1,84	1,95	1,97	24,1	34,6	41,3	III
Vz 432	5,40	2,60	0,66	0,29	0,46	1,79	0,06	2,21	5,47	0,02	0,09	1,86	1,97	1,95	25,8	33,8	40,4	Va
Spl 50 G	5,37	2,63	1,01	0,31	0,11	1,88	0,00	2,18	5,49	0,04	0,05	1,75	1,84	1,93	26,1	34,2	39,7	I
Toce 24b	5,50	2,50	0,51	0,23	0,44	2,09	0,12	2,17	5,56	0,01	0,04	1,93	1,98	1,98	21,2	39,8	39,0	IV
HuSt. 899	5,47	2,53	0,80	0,30	0,25	1,90	0,06	2,15	5,46	0,02	0,04	1,83	1,89	1,93	24,7	35,9	39,4	IV

Vz 216	5,40	2,60	0,85	0,32	0,25	1,97	0,04	2,14	5,57	0,01	0,06	1,67	1,74	1,75	25,4	36,1	38,5	III
Vz 500a	5,46	2,54	1,04	0,31	0,07	1,93	0,05	2,13	5,53	0,02	0,04	1,72	1,78	1,75	25,7	35,8	38,5	III
Vz 478b	5,42	2,58	0,68	0,35	0,29	2,18	0,06	2,06	5,62	0,01	0,05	1,59	1,65	1,66	23,5	39,9	36,6	III
Vz 283b	5,46	2,54	0,46	0,26	0,43	2,42	0,05	2,06	5,68	0,02	0,04	1,73	1,79	1,77	20,2	43,5	36,3	IV
Vz 280b	5,43	2,57	0,35	0,24	0,41	2,58	0,06	2,06	5,70	0,02	0,04	1,88	1,94	1,95	17,6	46,3	36,1	III
HuSt. 900	5,52	2,48	0,67	0,23	0,42	2,27	0,04	1,97	5,60	0,04	0,04	1,82	1,90	1,90	23,6	41,2	35,2	IV
HuSt. 169	5,34	2,66	0,29	0,33	1,10	1,68	0,08	1,94	5,42	0,01	0,01	1,74	1,76	1,79	31,7	32,5	35,8	III-IV
Spl 33a	5,56	2,44	0,63	0,31	0,60	1,91	0,06	1,89	5,40	0,02	0,02	1,82	1,86	1,80	28,5	36,4	35,1	IV
GH 1	5,41	2,59	1,00	0,27	0,02	2,66	0,06	1,84	5,85	0,02	0,04	1,31	1,37	1,36	22,0	46,5	31,5	Vb
Vz 393	5,55	2,45	0,69	0,33	0,24	2,37	0,04	1,83	5,50	0,07	0,04	1,72	1,83	1,87	22,9	43,8	33,3	III
Vz 408b	5,41	2,59	1,04	0,34	0,16	2,13	0,04	1,74	5,45	0,01	0,05	1,66	1,72	1,79	28,3	39,8	31,9	III
Vz 422	5,29	2,71	0,90	0,31	0,37	2,19	0,00	1,73	5,50	0,01	0,06	1,80	1,87	1,83	28,7	39,9	31,4	IV
Standard 4B	5,50	2,50	0,81	0,32	0,14	2,52	0,04	1,73	5,56	0,01	0,04	1,73	1,78	1,78	22,8	46,1	31,1	IV
Vz 452	5,45	2,55	0,60	0,34	0,35	2,45	0,04	1,67	5,45	0,02	0,06	1,92	2,00	2,04	23,7	45,7	30,6	IV
Vz 478a	5,34	2,66	0,87	0,36	0,11	2,45	0,06	1,67	5,52	0,01	0,09	1,81	1,91	1,92	24,3	45,5	30,2	IV
Vz 201	5,45	2,55	0,70	0,30	0,45	2,20	0,06	1,66	5,37	0,02	0,05	1,75	1,82	1,84	27,0	42,1	30,9	IV
Vz 395	5,48	2,52	0,92	0,31	0,20	2,30	0,06	1,66	5,45	0,02	0,04	1,85	1,91	1,89	26,2	43,3	30,5	IV
Vz 478c	5,26	2,74	1,10	0,28	0,03	2,69	0,04	1,54	5,68	0,02	0,05	1,68	1,75	1,70	24,8	48,1	27,1	IV
Vz 502	5,63	2,37	1,03	0,24	0,56	2,20	0,06	1,31	5,40	0,02	0,09	1,47	1,58	1,52	33,8	41,9	24,3	Vb
Vz 297	5,45	2,55	0,90	0,32	0,54	2,41	0,10	1,11	5,38	0,01	0,06	1,70	1,77	1,72	32,7	46,7	20,6	Vb
Vz 298	5,50	2,50	0,98	0,23	0,37	2,81	0,13	1,04	5,56	0,01	0,06	1,50	1,57	1,51	28,4	52,9	18,7	Vb
Vz 501 (0,6)	5,59	2,41	1,11	0,22	0,99	1,79	0,05	1,03	5,19	0,04	0,15	1,25	1,44	1,48	44,7	35,4	19,9	Vb
Bav. 17	5,50	2,50	0,98	0,29	0,46	2,96	0,13	0,58	5,40	0,07	0,11	1,45	1,63	1,69	32,0	57,2	10,8	Vb

Tabelle 4. Spurengehalte (ppm) der analysierten tri-oktaedrischen Glimmer

	Ba	Be	B	Pb	V	Zr	Co	Ni	Rest-aktivität	
									Cr	U-Ae % ppm
Vz 75	>1000	<5	<10	15	450	60	90	45	65	—
Vz 194 (D'schnitt)	1000	<5	<10	<10	120	160	90	>400	>500	30
Vz 201	630	<5	15	40	65	125	60	55	65	—
Vz 216	>1000	<5	10	20	400	125	80	160	400	10
Vz 217	700	<5	65	<10	300	70	80	150	500	0
Vz 222	560	<5	<10	<10	80	110	30	< 10	50	5
Vz 250	470	<5	<10	<10	450	80	65	110	400	—
Vz 255	>1000	<5	<10	20	450	120	70	35	500	0
Vz 280b	>1000	<5	30	80	500	110	80	20	100	0
Vz 283b	>1000	<5	10	10	280	65	70	15	80	—
Vz 297	210	5	100	40	40	70	<10	< 10	< 10	75
Vz 298	250	5	220	50	65	80	<10	< 10	55	—
Vz 393	1000	<5	10	40	500	120	80	< 10	70	0
Vz 394	900	<5	<10	10	150	120	100	320	>500	0
Vz 395	800	<5	15	40	140	250	<10	< 10	65	25
Vz 403	>1000	<5	80	60	330	70	80	30	110	—
Vz 408b	>1000	<5	<10	20	250	200	65	70	220	17
Vz 428	800	<5	<10	<10	160	65	90	>400	>500	0
Vz 431a	250	<5	<10	10	670	140	40	< 10	60	30
Vz 432	560	<5	<10	20	150	50	<10	< 10	< 10	2
Vz 449	700	<5	<10	20	350	65	80	120	220	0
Vz 452	700	<5	15	30	100	110	70	< 10	65	0
Vz 478a	>1000	<5	<10	<10	125	130	50	15	55	7
Vz 478b	>1000	<5	<10	20	400	150	80	150	450	17
Vz 478c	1000	<5	<10	15	100	< 10	90	< 10	55	23
Vz 495	>1000	<5	<10	<10	280	70	100	160	200	—
Vz 500a	>1000	<5	40	10	350	120	60	55	280	15
Vz 501 (0,35)	250	7	10	10	25	60	<10	20	400	—
Vz 501 (0,45)	250	<5	20	50	30	80	<10	< 10	< 10	70
Vz 501 (0,5)	250	<5	40	120	30	80	<10	< 10	70	120
Vz 502	400	<5	<10	20	30	75	40	70	60	—
Std. 4B	700	<5	<10	15	50	70	35	< 10	40	15
Bav. 17 I	< 100	20	50	680	40	160	10	45	90	—
Bav. 17 II	250	<5	40	60	50	>200	<10	< 10	50	—
Bedr. 29a	620	<5	130	<10	320	90	35	45	240	—
Corno 11a	315	<5	60	30	50	65	80	200	125	0
FK 220	>1000	<5	<10	10	400	100	55	70	280	—
FK 226	700	<5	<10	<10	250	90	80	160	350	0
FK 227	>1000	<5	15	<10	180	85	80	200	250	—
GH 1	450	<5	10	<30	60	90	<10	10	40	520
GH 9	350	<5	10	80	30	100	50	< 10	50	—
GH 11	200	8	<10	20	30	60	75	15	70	5
GH 15	900	<5	<10	<10	250	120	70	25	80	—
Ha 107b	630	<5	110	<10	110	60	<10	110	90	—
Ha 135	630	<5	200	<10	180	125	60	160	170	—
HuSt. 169	450	<5	<10	15	220	55	70	20	50	0
HuSt. 738	430	<5	<10	10	220	100	55	15	60	—
HuSt. 899	800	<5	<10	<10	320	90	45	25	60	15
HuSt. 900	320	<5	10	<10	30	90	<10	< 10	50	2
HuSt. 905	>1000	<5	10	30	400	55	80	10	80	—
HuSt. 927	350	<5	15	30	200	125	60	20	65	—
Spl. 18a	1000	<5	<10	<10	160	< 10	<10	25	90	—
Spl. 22	320	5	<10	<10	100	70	<10	< 10	100	—
Spl. 33a	400	<5	<10	<10	130	50	75	10	50	5
Spl. 50 G.	710	<5	25	<10	500	90	35	65	500	—
Spl. 50 L.	800	<5	15	15	500	100	55	55	400	—
Sponda	800	<5	<10	<10	150	60	55	50	70	0
Toce 23c	700	<5	<10	10	400	70	<10	35	350	—
Toce 24b	430	<5	30	20	100	75	55	10	65	0
Toce 59c (0,55)	470	5	10	<10	110	—	—	—	>500	58
Toce 59c (0,65)	550	5	<10	<10	50	>200	35	200	280	—
Varzo 6	700	<5	<10	<10	100	125	100	>400	>500	0
Varzo 7	700	<5	<10	10	110	70	35	50	50	14

Tabelle 5. *Dichte, Lichtbrechung und Farbe der Biotite*

Gestein	D	n <sub>γ</sub>	Farbe n <sub>γ</sub> im	
			durchfallenden Licht	auffallenden Licht
Vz 75	2,97	1,639	5 Y 5/4	5 GY 6/1
Vz 194	2,91	1,631	5 YR 5/5	10 YR 6/3
Vz 201		1,644	10 YR 3/2	5 Y 6/1
Vz 216	3,03	1,642	5 YR 5/6	10 YR 6/2
Vz 217	3,05	1,640	5 bis 10 YR 6/6	10 YR 7/2
Vz 222	3,02	1,644	5 YR 5/5	5 Y 5/1
Vz 250	2,89	1,634	10 YR 7/6	5 YR 6/2
Vz 255	2,99	1,634	10 YR 6/6	10 YR 7/2
Vz 280b	3,04	1,645	5 Y 6/6	5 GY 5/1
Vz 283b	3,06	1,646	5 Y 5/4	5 GY 5/1
Vz 297		1,646	10 YR 5/3	10 YR 7/2
Vz 298	3,11	1,647	10 YR 6/4	10 YR 7/2
Vz 393	3,10	1,645	10 YR 6/5	10 YR 6/2
Vz 394		1,627	10 YR 6/6	10 YR 7/3
Vz 395	3,06	1,645	10 YR 5/4	10 YR 5/2
Vz 403	3,05	1,639	10 Y 5/3	10 Y 5/2
Vz 408b	3,02	1,645	5 YR 5/6	10 YR 6/2
Vz 428	2,92	1,620	5 Y 7/6	10 YR 7/2
Vz 431a	3,06	1,638	5 bis 10 YR 6/6	5 GY 5/2
Vz 432	2,99	1,643	5 Y 6/6	5 GY 5/1
Vz 449	2,97	1,639	10 YR 6/5	5 Y 6/1
Vz 452	3,12	1,644	5 YR 5/6	10 YR 5/2
Vz 478a	3,06	1,644	10 YR 6/5	10 YR 5/2
Vz 478b	3,06	1,646	10 YR 6/6	10 YR 5/2
Vz 478c	3,00	1,656	10 YR 5/5	10 YR 6/2
Vz 495			5 YR 6/6	5 YR 7/1
Vz 500a	3,01	1,645	10 R 4/6	5 YR 6/2
Vz 501 (0,6)		1,649	5 YR 5/6	10 YR 6/3
Vz 502		1,645	5 YR 6/6	5 Y 7/2
Bav 17I	3,05		5 YR 6/6	10 Y 6/2
Bedr 29a			10 YR 7/6	10 YR 5/2
Corno 11a		1,623	5 YR 7/4	5 G 7/1
FK 220			10 YR 6/4	
FK 226	3,01	1,639	10 YR 6/6	10 YR 6/2
FK 227			10 YR 5/2	
Gli 1		1,645	5 Y 5/4	5 GY 6/1
Gli 11	3,05	1,638	10 Y 5/3	5 G 5/1
HuSt 169	3,03	1,645	5 Y 4/6	10 Y 5/2
HuSt 899	3,02	1,645	10 Y 3/2	5 Y 5/1
HuSt 900		1,646	5 Y 5/6	5 GY 6/2
Spl 33a	2,98	1,644	10 Y 6/4	5 GY 5/1
Spl 50 G	2,96	1,636	10 YR 6/6	5 YR 6/2
Spl 50 L	2,95	1,640	5 YR 6/6	5 YR 6/3
Sponda		1,636	5 YR 5/6	5 YR 7/1
Standard Brione 4 B	3,09	1,645		10 YR 5/2
Toce 23c	2,96	1,622	10 YR 7/6	5 YR 7/1
Toce 24b	3,02	1,645	5 Y 3/4	5 GY 5/1
Toce 59c (0,55)	3,03	1,640	5 YR 5/6	5 YR 7/1
Varzo 6	2,87	1,607	10 YR 6/4	5 GY 8/1
Varzo 7	2,93	1,608	10 YR 8/4	5 Y 7/1

±0,003

Die Kennzeichnung der Farbe bezieht sich auf die Rock-Color-Chart des Nat. Research Council, Washington 1948.