

Die Hornblende der Tremolaserie. Teil 1, Chemismus und Dichte der Hornblenden

Autor(en): **Steiger, Rudolf**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **41 (1961)**

Heft 1

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-31898>

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.

Die Hornblende der Tremolaserie

Teil I. Chemismus und Dichte der Hornblenden

Von *Rudolf Steiger* (Zürich)

Mit 1 Textfigur

Abstract

Systematic chemical and physical measurements of rockforming hornblendes from the Tremola series (low to middle-grade metamorphic pre-Triassic sedimentary rocks on the South border of the Gotthard Massif) are being made to obtain insight into the metamorphic history of these rocks.

This paper deals with preliminary work such as selection and origin of the rock specimens, microscopic description of the samples, preparation of the material for analysis as well as the techniques of chemical analysis and density measurement. New chemical analyses together with density measurements for 15 hornblendes are given and their structural formulae calculated.

An interpretation of the results will be presented in a second part along with spectrochemical, X-ray, thermoluminescence and infrared measurements.

Inhaltsübersicht

1. Ziel der Untersuchung	128
2. Auswahl und Fundorte der Hornblendegesteine	129
3. Charakterisierung des Gesteins und Art der darin auftretenden Hornblende	131
4. Die Präparation der Hornblendeproben	139
5. Prüfung auf Reinheit	141
6. Methode der Analyse	142
7. Genauigkeit der Analyse	147
8. Technik der Dichtebestimmung	148
9. Analysen und Strukturformeln der Hornblende	150
Anhang: Ältere Hornblendeanalysen	150
Literatur	155

1. Ziel der Untersuchung

Gefügekundliche Untersuchungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass im zentralen Gotthardmassiv der Hauptteil der Mineralien alpin rekristallisiert ist und dass der Einfluss der alpinen Metamorphose oder ihrer Nachphasen in diesem Gebiet umfassender ist, als man vielfach angenommen hat. Die Untersuchungen von KVALE (1957) und HAFNER (1958) deuten auf die Möglichkeit eines jungen, tertiären Alters des bis jetzt als herzynisch datierten Rotondogranits hin. WENK (1955) hat in der lepontinischen Gneisregion einen umfassenden spätalpinen Wärmedom nachgewiesen und besonders das Gebiet mit der steilachsigen Schlingentektonik zwischen Peccia und Airolo als ausgeprägte Wärmebeule (mit postkinematischer Kristallisation von Staurolith, Biotit und Plagioklas in den metamorphen mesozoischen Sedimenten von Val Bedretto und Val Piora) bezeichnet. Zur Zeit sind eine Reihe von absoluten Altersbestimmungen im zentralen Gotthardmassiv im Gange, durch welche vor allem über den Zeitpunkt und die Art der Granitintrusion Aufschluss erhofft werden darf.

Mit der hier in Angriff genommenen Arbeit wird der Versuch unternommen, durch systematische, chemische und physikalische Untersuchungen an einem einzigen Mineral — der gesteinsbildenden Hornblende — Einblick in die Temperatur- und Metamorphosegeschichte der südlichen Paragneiszone des Gotthardmassivs, vor allem der Tremolaserie, zu erhalten. Im weiteren soll durch Vergleich mit den Hornblenden aus Gesteinen der näheren und weiteren Umgebung ein Beitrag geleistet werden zur Abklärung des Temperaturgradienten der alpinen Metamorphose.

Der hier vorliegende erste Teil der Untersuchungen befasst sich vor allem mit den vorbereitenden Arbeiten wie Auswahl und Fundorte der Gesteinsproben, mikroskopische Beschreibung der Handstücke, Präparation des Analysenmaterials sowie Technik der Analyse und Dichtebestimmung. Es werden die Resultate von 15 neuen chemischen Hornblendeanalysen und Dichtebestimmungen aufgeführt und die Strukturformeln berechnet.

In einem zweiten Teil sollen die Ergebnisse der spektralanalytischen Spurenanalyse, der röntgenographischen Untersuchungen, der Messungen der Thermolumineszenz und der Ultrarot-Absorptionsspektren dargestellt werden. Eine zusammenfassende vergleichende Interpretation dieser Untersuchungen soll erst am Schluss gegeben werden, wenn alle Resultate vorliegen.

2. Auswahl und Fundorte der Hornblendegesteine

Die Gesteinsproben, aus welchen die untersuchten Hornblenden stammen, wurden im Streichen der Tremolaserie und besonders in einem Profil senkrecht dazu geschlagen. Dazu kommen zu Vergleichszwecken weitere Proben aus den ultrametamorphen Gesteinen der Guspiszone (·486) und des Amphibolitzuges südlich P. Corandoni (·382), aus den gotthardmassivischen sog. Quartenschiefern von Frodaler (Ni 490), aus den penninischen Bündnerschiefern der Bedrettomulde (·427) und ferner aus einem Amphibolitzug der nördlichen Lucomagnodecke (·447a). Die Fundorte sind im Kärtchen der Fig. 1 eingezeichnet, das auf Grund bekannter Karten und noch nicht publizierter eigener Aufnahmen zusammengestellt wurde.

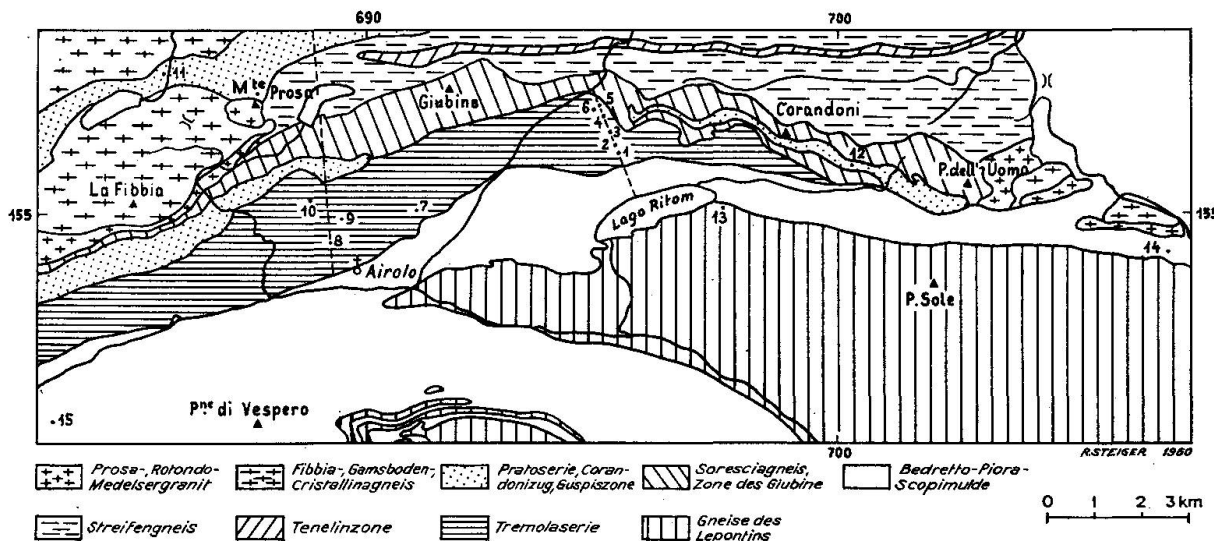


Fig. 1. Südöstliches Gotthardmassiv zwischen St. Gotthard- und Lukmanierpass. Masstab 1:200 000. 1—15 Fundorte der untersuchten Hornblendeproben.

Die Gesteinsproben umfassten im allgemeinen 2—3 besonders hornblendereiche 0,5-kg-Bruchstücke eines Gesteinsbrockens, der aus dem anstehenden Fels herausgebrochen worden war. Das durchgehende Profil in der Tremolaserie (r 152—r 198) stammt aus dem Garegnastollen und wurde der an der ETH deponierten Gesteinssammlung der SBB (Kraftwerk Ritom) entnommen. Die Handstücke zu dieser Sammlung wurden anlässlich einer gemeinsamen Begehung mit Herrn Dr. R. U. Winterhalter geschlagen.

Die genauen Koordinaten oder die Stollenmetrierung der Fundorte sind in Tab. 1 angegeben, wo auch die Gesteinszone aufgeführt ist. Auf

eine genauere petrographisch-geologische Beschreibung dieser Zonen wird an dieser Stelle verzichtet und auf die demnächst erscheinende Dissertation des Verfassers hingewiesen.

Tabelle 1. *Fundorte der Hornblendegesteine*

Horn- blende	aus Hand- stück	Fundort (vgl. LK 1 : 50 000)	Stollenmeter Koordinaten Höhenquote	Gesteinszone
1	r152	Garegnastollen (Ritom)	1073.0 m ab Ritom	Tremolaserie
2	r168	Garegnastollen (Ritom)	1238.0 m ab Ritom	Tremolaserie
3	r175	Garegnastollen (Ritom)	1533.0 m ab Ritom	Tremolaserie
4	r189	Garegnastollen (Ritom)	1908.0 m ab Ritom	Tremolaserie
5	r198	Garegnastollen (Ritom)	2190.0 m ab Ritom	Tremolaserie (evtl. auch ultra- metamorph)
6	·344	Grasso di Froda	694.775/157.270 2080 m	Tremolaserie (evtl. auch ultra- metamorph)
7	·19	Riale di Nelva	691.040/155.020 1625 m	Tremolaserie
8	·390	Stuei	689.210/154.325 1420 m	Tremolaserie
9	·352	Sasso rosso	689.410/154.820 1760 m	Tremolaserie
10	Lu 100 F4N	Lucendrostollen	4748 m ab Nord- eingang 688.795/155.260	Tremolaserie
11	·486	C ^{na} di Rodont	685.720/158.070 2190 m	Guspiszone (ultrametamorph)
12	·382	Schenadù	700.290/156.030 2340 m	Corandonizug (ultrametamorph)
13	·447a	Dros	697.560/155.120 1960 m	Kristallin der Lucomagnodecke
14	Ni 490	Frodalera	706.925/154.150 1760 m	gotthardmassiv. „Quartenschiefer“ (Pioramulde)
15	·427	Alpe di Folera	683.350/150.425 1860 m	penninische Bünd- nerschiefer (Bedrettomulde)

3. Charakterisierung des Gesteins und Art der darin auftretenden Hornblende

Die hornblendeführenden Gesteine der Tremolaserie weisen eine grosse Vielfalt an Gesteinstypen auf sowohl in bezug auf Mineralbestand als auch auf die Struktur und Textur. Die wichtigsten Typen sind: Hornblendegarbenschiefer, Hornblendeschiefer und -gneise, Amphibolite. Auch Glimmerschiefer und -gneise, Quarzite und Karbonatgesteine führen häufig reichlich Hornblende. Die Gesteine sind zum Teil stromatitisch, mit scharf nach Mineralbestand definierten Lagen, können aber wenige Meter daneben absolut unscharfe Grenzen zeigen. Mächtige Horizonte weisen wiederum monoschematischen Charakter auf. Hornblendereiche Zonen durchziehen das Gestein auch wie diffuse Schwärme, ohne sich um Horizonte und Schieferung zu kümmern.

Die Hornblende selber tritt in mannigfaltiger Gestalt, Implikation und räumlicher Anordnung auf. Am bekanntesten sind wohl die Hornblendegarben der Garbenschiefer, Bündel feiner langstengeliger Hornblendekristalle, welche das Gestein in allen Richtungen — nicht selten auch schräg zur Schieferungsfläche — durchwachsen haben. Die Kristalle der Hornblendegarben sind siebartig von den anderen Gemengteilen durchsetzt und recht häufig in Biotitisierung oder Chloritisierung begriffen. Auch haben sie sich meistens nicht in die allgemeine Lineation des Gesteins (Definition siehe WENK (1955, p. 311) eingeordnet.

Im Gegensatz dazu stehen die Hornblenden der Amphibolite. Hier bauen kleine, gut idiomorphe Kristalle — frei von allen Einschlüssen — das nematoblastische Grundgewebe des Gesteins auf. Alle Kristalle sind streng nach der allgemeinen Lineation orientiert und zeigen keinerlei Zersetzungserscheinungen.

Bei den grobkörnigen und porphyroblastischen Hornblendegesteinen treten hingegen alle Übergänge zwischen diesen eben beschriebenen extremen Typen auf. Die Hornblenden sind als grobe oder feinere Stengel kristallisiert, weisen zum Teil Siebstruktur auf und sind auch häufig in Zersetzung begriffen. Die Kristalle liegen in Lagen parallel der Schieferung angeordnet, sind innerhalb derselben mehr oder weniger parallel zur Lineation des umgebenden Gesteins gewachsen oder sie zeigen keine bevorzugte Orientierung. Grobe, dicksäulige Hornblenden durchschlagen häufig die Texturfläche.

In Tabelle 2 wird eine kurze Charakteristik der näher untersuchten Gesteine gegeben und die Art der darin vorkommenden Hornblende beschrieben. Der Mineralbestand des Gesteins wurde auf Grund mikroskopischer Untersuchung und Vergleichs mit dem Handstück abgeschätzt,

Tabelle 2. Beschreibung des Gesteins und Art der Hornblende

Hornblende	Handstück	Struktur und Textur des Gesteins	Charakter der Hornblende	Mikroskopische Merkmale des Gesteins Mineralbestand in Volumenprozent	Bezeichnung des Gesteins
1	r 152	porphyroblastisch gut geschiefert kleine Quarzlinsen Glimmer deutlich geregelt	grobe Stengel, 2-4 cm lang $\varnothing$ 0,5-0,8 cm häufig Schieferung schräg durchstossend	30% <i>Hornblende</i> : grosse Porphyroblasten, von übrigen Gemengteilen siebartig durchlöchert 20% <i>Biotit</i> : grosse Schuppen, durchsetzt mit andern Gemengteilen, ausgefranst, z. T. chloritisiert 15% <i>Plagioklas</i> : Oligoklas, xenoblastische Zwischenmasse, gelegentlich auch als Einschluss in Hbl. 15% <i>Quarz</i> : überall feinkörnig, in Linsen grober kristallisiert 10% <i>Karbonat</i> : feinkörnig, oft in Lagen 5% <i>Nebengemengteile</i> : Granat, Epidot, Klinozoisit, Magnetit	karbonatführender Biotit-Hornblendeplagioklasgneis
2	r 168	porphyroblastisch wirr geschiefert konkordante kleine Quarzlinsen	mittlere Stengel 1-2 cm lang $\varnothing$ 3-5 mm meist in der Schieferungsebene	40% <i>Hornblende</i> : grössere und kleinere Porphyroblasten, z. T. siebartig durchwachsen, häufig biotitisiert 20% <i>Plagioklas</i> : Oligoklas, teilweise in grösseren Kristallen, oft mit Albitlamellen, Hauptbestandteil des Grundgewebes 20% <i>Quarz</i> : eckige, isolierte grössere Körner; feinkörnige Ausbildung im Grundgewebe 10% <i>Chlorit</i> : z. T. Umwandlungsprodukt des Biotit, längliche Schuppen, oft in Aggregaten 5% <i>Biotit</i> : einzelne, langgezogene Fetzen, chloritisiert 5% <i>Nebengemengteile</i> : Karbonat, Zoisit, Epidot, Apatit, Magnetit	chloritführender Hornblendeplagioklasgneis

3	r 175	porphyro- blastisch massig bis leicht ge- schiefert	mittlere Stengel 1-2 cm lang Ø 1-4 mm wirr im Raum	25% Quarz: kleine Körner, bilden mit Plagioklas zusammen das Grundgewebe 20% Hornblende: Porphyroblasten, von andern Gemengteilen durchsetzt, häufig biotitisiert und chloritisiert 20% Biotit: grosse, ausgefranzte Schuppen 15% Plagioklas: Andesin, kleine xenoblastische Füllsel, stark zonar; wenn verzwilligt besser idiomorph 10% Granat: grössere Idioblasten, häufig von andern Gemengteilen durchsetzt 10% Nebengemengteile: Serizit, Epidot, Staurolith, Karbonat, Pyrit, Magnetit	granatfüh- render <i>Biotithorn- blendepla- gioklasgneis</i>
4	r 189	porphyro- blastisch schiefrig bis lagig	Hornblende- garben 5-15 cm lang Ø in der Mitte des Garbenbün- dels 0,5 bis 1,0 cm in Lagen angeordnet und einge- regelt	50% Quarz: kleine Körner bilden zusammen mit Plagioklas das Grundgewebe. In Linsen gr. Neubildungen 20% Plagioklas: Andesin, stark zonar, öfters mit Zwillingen lamellen, xenoblastisch 10% Hornblende: siebartig von Quarz durchdrungene Porphyroblasten, meist chloritisiert 10% Biotit: in Lagen eingeregelt, gelegentlich Querglimmer, teilweise chloritisiert 5% Serizit: feinste Schuppen durchziehen das Gestein in Lagen 5% Karbonat: zum Teil in grossen Aggregaten Akzessorisch: Zoisit, Magnetit, Epidot	biotit- und hornblende- führender <i>Plagioklas- gneis</i>
5	r 198	homöo- blastisch fein- schiefrig	feinste Stengelchen 1-2 mm lang Ø 0,5 mm in Lagen schön geregelt	60% Hornblende: feine Stengel bilden das nematoblastische Grundgewebe 25% Quarz: buchtige, kleine Körner zwischen den Hornblendestengeln 15% Plagioklas: Oligoklas, als Füllsel und als vereinzelte Körner, teilweise mit Karlsbaderzwillingen Akzessorisch: Epidot, Zoisit, Pyrit, Magnetit	<i>Amphibolit</i>

Hornblende	Handstück	Struktur und Textur des Gesteins	Charakter der Hornblende	Mikroskopische Merkmale des Gesteins Mineralbestand in Volumenprozent	Bezeichnung des Gesteins
6	.344	porphyroblastisch verworren schiefrig	grobe Hornblende 4–6 cm lang Ø in der Mitte 0,5–1,0 cm wirr im Raum	80% <i>Hornblende</i> : grosse Porphyroblasten, siebartig von andern Gemengteilen durchsetzt, zum Teil chloritisiert 10% <i>Quarz</i> : kleine Körner, angesammelt in den Zwischenräumen zwischen den Hornblendeporphyroblasten 5% <i>Plagioklas</i> : Andesin, zonar, kleine, meist saubere Körner, häufig Zwillingbildung 5% <i>Chlorit</i> : nesterweise in der Hornblende, rad. strahlige <i>Akzessorisch</i> : Biotit, Karbonat, Apatit, Erz	<i>Hornblendeschiefer</i>
7	.19	porphyroblastisch verworren schiefrig Glimmer deutlich geregelt	grobe Säulen 1–3 cm lang Ø 0,5–1,0 cm gern schräg zur Schieferung stehend	45% <i>Hornblende</i> : grosse Porphyroblasten, wirr im Raum, siebartig von Quarz durchsetzt, biotitisiert und chloritisiert 15% <i>Plagioklas</i> : Andesin, in kl. Xenoblasten, stark zonar 10% <i>Chlorit</i> : kleine und grosse Schuppen, meist syn-genetisch mit Biotit und Hornblende, zum Teil Umwandlungsprodukt derselben 10% <i>Quarz</i> : kleine Körner, mit Plagioklas das Grundgewebe bildend, Neubildungen in Linsen 10% <i>Karbonat</i> : kleine Kristalle, überall im Grundgewebe 5% <i>Biotit</i> : kleine Schuppen, in Lagen oder Nestern 5% <i>Magnetit</i> : zahlreiche, grössere Porphyroblasten <i>Akzessorisch</i> : Serizit, Zoisit, Apatit, Epidot	karbonat- und chlorit-führender <i>Hornblendeplagioklasgneis</i>
8	.390	porphyroblastisch	mittlere Stengel	65% <i>Hornblende</i> : grosse Porphyroblasten mit relativ wenig Einschlüssen, randlich unter Erzausscheidung in eisenfreier Varietät kristallisiert	chloritführender

8	• 390	verworren schiefrig Glimmer schön ge- regelt	0,5–2,0 cm lang Ø 2–5 mm wirr im Raum	20% Quarz: bildet sehr feinkörniges Grundgewebe, zu- sammen mit feinschuppigem Chlorit 10% Chlorit: feine und grobe Schuppen, meist Umwand- lungsprodukt des Biotit 5% Plagioklas: Albit-Oligoklas, spärliche Körner im Grundgewebe, meist verzwilligt Akzessorisch: Biotit, Magnetit, Apatit	Hornblende- schiefer
9	• 352	porphyro- blastisch lagig (Hornblende- Chloritlagen und Quarz- Feldspat- lagen)	grobe Sten- gel, 3–6 cm lang, Ø 0,7 bis 1,2 cm in Lagen (Längsachse // Schiefe- rung) ange- ordnet sonst nicht orientiert	55% Hornblende: grosse Porphyroblasten, gelegentlich mit Einschlüssen von Epidot und Quarz 20% Chlorit: Gewirr von kleinen Chloritschuppen bildet das Grundgewebe 20% Quarz: Mosaik von kleinen Körnern, in Lagen zwi- schen Hornblende-Chloritbändern konzentriert 5% Plagioklas: Oligoklas, spärlich, als xenoblastisches Füllsel zwischen den Quarzkörnern, stark zonar Akzessorisch: Epidot, Magnetit	Chlorit- Hornblende- schiefer
10	Lu 100 F4N	homöo- blastisch feinlagig mit karbona- tischen Lagen und Linsen	kleine Sten- gel, 0,3 bis 0,8 cm lang Ø 0,3 bis 0,5 mm Kristalle in Lagen, deutlich parallel Lineation orientiert	70% Hornblende: langstenglige Idioblasten mit relativ wenig Einschlüssen, vor allem Magnetit; selten chloritisiert 15% Quarz: feinkörnig, bildet Grundgewebe zwischen den Hornblendelagen 5% Karbonat: in vereinzelt Lagen, angerostet (limo- nitführend?) 5% Plagioklas: Oligoklas, spärlich, xenoblastisches Füllsel, stark zonar, unverzwilligt 5% Epidot + Magnetit: zahlreiche kleine Körner, über- all fein verteilt Akzessorisch: Apatit, Klinozoisit	Hornblende- schiefer

Hornblende	Handstück	Struktur und Textur des Gesteins	Charakter der Hornblende	Mikroskopische Merkmale des Gesteins Mineralbestand in Volumenprozent	Bezeichnung des Gesteins
11	• 486	homöoblastisch feinlagig	feinste kurze Stengel 1-2 mm lang Ø 0,3 bis 0,5 mm Kristalle parallel zur allgemeinen Lineation	40% <i>Hornblende</i> : kleine Porphyroblasten, lagig angeordnet, häufig mit pigmentreichem Kern, relativ arm an Einschlüssen 25% <i>Biotit</i> : kleine Schuppen, deutlich orientiert, selten Querglimmer 15% <i>Quarz</i> : feine Körner bilden zusammen mit Plagioklas das Grundgewebe 15% <i>Plagioklas</i> : Oligoklas-Andesin, stark zonare Xenoblasten, gelegentlich auch grössere Kristalle, selten verzwillingt 5% <i>Epidot</i> : feine Körner, überall verbreitet <i>Akzessorisch</i> : Apatit, Rutil, Erz	Biotit- <i>Amphibolit</i>
12	• 382	homöoblastisch feinschiefrig	feine Stengel 2-3 mm lang Ø 0,4 bis 0,7 mm Kristalle parallel eingeregelt	80% <i>Hornblende</i> : kleine Blasten, eng ineinander verwachsen, relativ wenige Einschlüsse (das Erz sitzt meist an den Kristallgrenzen) 10% <i>Erz</i> : grössere Magnetitkristalle, titanhaltig 5% <i>Quarz</i> : spärliche, kleine Körner in den Zwickeln zwischen den Hornblenden 5% <i>Plagioklas</i> : Albit-Oligoklas, als Xenoblasten, zusammen mit dem Quarz, unverzwillingt <i>Akzessorisch</i> : Zirkon, Apatit, Epidot	magnetit- führender <i>Hornblende-schiefer</i>
13	• 447a	porphyroblastisch	mittlere Stengel	35% <i>Hornblende</i> : grosse Xenoblasten mit zahlreichen Einschlüssen, vor allem Erz; Kristalle in Lagen	biotitführender

13	.447a	feinschiefrig	1–3 cm lang Ø 3–6 mm Kristalle in Lagen; innerhalb Schieferung nur schlecht orientiert	angereichert, in Chloritisierung und Biotitisierung begriffen 25% <i>Quarz</i> : relativ grobe Körner füllen die Lagen zwischen den Hornblenden aus 20% <i>Granat</i> : grössere Xenoblasten (Ø 3–7 mm), während des Wachstums gedreht, S-förmige Anordnung der zahlreichen Einschlüsse 10% <i>Biotit</i> : grosse zerfetzte Schuppen mit Einschlüssen von Erz und Quarz, zum Teil chloritisiert 5% <i>Plagioklas</i> : Albit-Oligoklas, in Lagen auftretend, meist xenoblastisch, häufig verzwillingt 5% <i>Erz</i> : Pyrit und Magnetit <i>Akzessorisch</i> : Karbonat, Apatit, Epidot, Zoisit	Granat- Hornblende- schiefer
14	Ni 490	porphyroblastisch undeutlich schiefrig	grobe, teilweise lange Stengel 2–8 cm lang Ø 0,4 bis 1,5 cm wirr im Raum	50% <i>Plagioklas</i> : Albit-Oligoklas, grosse xenoblastische Individuen, fingerförmig ineinander verwachsen, häufig verzwillingt (Periklingesetz) 20% <i>Hornblende</i> : grosse Porphyroblasten, siebartig von Quarz, Epidot, Zoisit und Erz durchsetzt, z. T. stark chloritisiert 10% <i>Quarz</i> : kleine Körner, überall 5% <i>Granat</i> : grössere Idioblasten, siebartig von andern Gemengteilen durchsetzt 5% <i>Biotit</i> : vereinzelte Fetzen, in Chloritisierung begriffen 5% <i>Disthen</i> : grössere Porphyroblasten, ebenfalls siebartig durchwachsen 5% <i>Nebengemengteile</i> : Staurolith, Epidot, Zoisit, Karbonat, Chlorit, Serizit	disthen- und granat- führende Hornblende- <i>Plagioklas- gneis</i>

Hornblende	Handstück	Struktur und Textur des Gesteins	Charakter der Hornblende	Mikroskopische Merkmale des Gesteins Mineralbestand in Volumenprozent	Bezeichnung des Gesteins
15	•427	porphyroblastisch phyllitisch gefältelt	Hornblendegarn 5–10 cm lang Ø 0,3 bis 0,8 cm	40% <i>Serizit</i>: feinschuppig, sich der Fältelung anschmiegend, bildet Hauptbestandteil des lepidoblastischen Grundgewebes 20% <i>Hornblende</i>: grosse Porphyroblasten, relativ wenig Einschlüsse, hingegen schlierenartig von feinstem Pigment durchzogen 15% <i>Biotit</i>: feinstschuppig, bildet partienweise dichtes Gewebe; sonst als kleine Schuppen im <i>Serizit</i>-gewebe 15% <i>Plagioklas</i>: Oligoklas-Andesin, xenoblastisch, stark zonar, passt sich ebenfalls der gefältelten Textur an 10% <i>Quarz</i>: in vereinzelt Körnern im lepidoblastischen Grundgewebe. Im Druckschatten hinter Porphyroblasten angehäuft; daselbst grobkristallin <i>Akzessorisch</i>: Epidot, Erz Das ganze Gestein ist von einem sehr feinen graphitischen Pigment durchsetzt	(Chänopoditphyllit) <i>Biotithornblende</i> <i>phyllit</i>

da eine genaue Modalanalyse im Dünnschliff wegen der grossen Porphyroblasten zwecklos erschien.

4. Die Präparation der Hornblendeproben

Das hornblendeführende Handstück wurde im Stahlmörser pulverisiert und auf Korngrösse zwischen 0,18 und 0,11 mm gesiebt. Die Fraktion feiner als 0,11 mm wurde weggeworfen, weil feines Gesteinspulver bei der anschliessenden magnetischen Trennung stört. Darauf wurde das Pulver durch mehrmaliges Dekantieren mit Wasser vom anhaftenden Gesteinsstaub befreit und mit analysenreinem Azeton ausgewaschen und getrocknet.

Das nun vorliegende Gesteinspulver — im besten Fall 50% reine Hornblende enthaltend — wurde in der Folge durch Kombination von magnetischer Separation, Trennung mittels schwerer Flüssigkeiten, Zentrifugieren und durch Aussuchen unter der Binokularlupe gereinigt. Die zur Analyse verwendete Substanz wies schliesslich eine Reinheit von 96—98% auf.

Zur Abtrennung der Hauptmasse der hellen Gemengteile wurde das getrocknete Gesteinspulver vorerst bei ziemlich grosser Fliessgeschwindigkeit mehrmals durch den Magnetscheider (Frantz Isodynamic Magnetic Separator) geschleust, wobei folgende Einstellung verwendet wurde: Seitliche Neigung 20°, Vorwärtsneigung 30°, Stromstärke 0,62 Amp.

Zwischen den einzelnen Durchgängen wurde der Magnet jeweils abgeschaltet. Mit einem harten Pinsel wurden die Stahlspäne (von Mörser und Hammer) und Magnetitkörner, welche am Magnet hängen geblieben waren und die Gleitschiene verstopften, entfernt. Anschliessend wurden die stark magnetithaltigen Mineralkörner abgetrennt. Einstellung des Magneten: seitliche Neigung 15°, Vorwärtsneigung 22°, Stromstärke 0,32 Amp.

Nach dieser Prozedur enthielten die Präparate noch ungefähr 5% reinen Quarz und Feldspat, dazu Granat, Epidot, Biotit und einen Gross- teil von Hornblendekörnern, welche mit den vorher erwähnten Mineralien eng verwachsen waren. Die weitere Trennung erfolgte mit Hilfe von schweren Flüssigkeiten. Die Hornblende weist eine Dichte um 3,2 auf. Deshalb gelangten folgende Flüssigkeiten oder Gemische derselben zur Anwendung:

1. Acethylentetrabromid $D = 2,97$.

2. Methylenjodid $D = 3,33$.

(Mercks Präparate zur Trennung von Mineralgemischen.)

Nach dem üblichen Verfahren wurde das Pulver in einem Scheide-trichter mit Acethylentetrabromid versetzt und nach kurzer Zeit in ein Faltenfilter abgelassen, mit Azeton mehrmals ausgewaschen und getrocknet. Auf diese Weise konnte die Hornblende von der Hauptmasse des reinen Quarzes und Feldspates und — besonders mit etwas schwereren Gemischen — auch vom Biotit getrennt werden. Für die Abtrennung des Granats und Epidots wurde reines Methylenjodid verwendet.

Auf Grund der verschiedenen Löslichkeiten des Azetons und der schweren Flüssigkeiten in Wasser kann das kostspielige Methylenjodid und das Acethylentetrabromid zurückgewonnen werden.

Das mit den Flüssigkeiten gereinigte Pulver erwies sich in den meisten Fällen gegen 85% rein. Es wurde in der Folge einem längeren Reinigungsprozess im Magnetscheider unterworfen, wobei folgende Einstellungen vorgenommen wurden:

	seitl. Neigung (in Grad)	Vorwärts- neigung (in Grad)	Stromstärke (in Amp.)
1.	20	25	0,62
2.	15	22	0,32
3.	15	25	0,50
4.	15	22	0,32
5.	25	25	0,6—0,7
6.	15	22	0,32
7.	30	35	0,7—0,8
8.	15	22	0,32

Das Präparat wurde also in ständigem Wechsel sowohl auf der magnetischen als auch nichtmagnetischen Seite des Magnetscheiders aufgefangen. Die oben angegebenen Stromstärken mussten natürlich je nach Chemismus der Hornblende leicht abgeändert werden. Eine ständige Kontrolle der durchlaufenden Substanz unter dem Binokular war unumgänglich.

Hornblendekonzentrate aus Amphiboliten waren nach dieser Prozedur meist schon über 95% rein und konnten für das Aussuchen unter dem Binokular bereitgestellt werden. Das Material aus andern Gesteinen wies aber immer noch eine grosse Zahl von hauptsächlich mit Quarz verwachsenen Körnern auf. Besonders hartnäckig verhielten sich auch magnetit-führende Quarzkörner, die sich weder in den magnetischen Eigenschaften noch in der Dichte von der Hornblende unterschieden.

Verwachsene Hornblendekörner wurden in der Folge durch mehrfaches Zentrifugieren (je 40 Minuten bei 4000 U/min.) mit einem Gemisch von

Acethylentetrabromid und Methylenjodid, welches nur wenig leichter war als die betreffende Hornblende, abgetrennt. Zum Schluss erfolgte nochmals eine Reinigung mit dem Magnetscheider, welche vor allem die Fasern der Filterpapiere entfernen sollte.

Die für die Analyse benötigten 2—3 g Substanz wurden unter der Zeiss-Binokularlupe einer sorgfältigen Auslese unterzogen. Reine Körner von andern Mineralien wurden selten angetroffen, hingegen mussten je nach Art der Hornblende noch zahlreiche Körner mit Verwachsungen entfernt werden. Pro Stunde konnten auf diese Art 0,1—0,3 g gereinigt werden. In zwei Fällen, wo die Hornblende auch in dieser Korngrösse noch zahlreiche kleine Einschlüsse von Magnetit enthielt, wurde die Substanz nach dem Aussuchen erneut zerkleinert und nochmals durch den Magnetscheider geschickt.

Für die Separation und Reinigung einer Hornblendeprobe auf 96–98% Reinheit musste mit 5—7 Tagen Arbeit gerechnet werden.

5. Prüfung auf Reinheit

Vor dem Pulverisieren wurde jedes Körnerpräparat auf seine Reinheit geprüft. Zu diesem Zwecke wurden die Körner in einer regelmässigen, dünnen Schicht auf eine helle Unterlage ausgestreut. Mit der Binokularlupe (25-fache Vergrösserung) wurde mehrmals eine Fläche von 1 cm² ausgezählt (300—600 Körner), die von *aussen sichtbaren Verunreinigungen* bestimmt und abgeschätzt. Sie schwankten zwischen 0,7 und 1,8 Volumprozent und bestanden zur Hauptsache aus Quarz; gelegentlich trat auch etwas Magnetit auf.

Von jedem Körnerpräparat wurde ferner ein Dünnschliff angefertigt und die Körner unter dem Mikroskop auf *Einschlüsse* untersucht. Der Schliff wurde mit Hilfe eines Kreuzschlittens ausgezählt und die Verunreinigungen geschätzt. Als Einschlüsse wurden wiederum vor allem Quarz und Magnetit beobachtet, welche 0,9—2,5 Volumprozent ausmachten. Die Resultate der beiden Prüfungen wurden zusammengezählt und sind in Tabelle 4, nach Mineralien angeordnet, aufgeführt. Das zur Analyse verwendete Hornblendepulver war demnach 96—99 Volumprozent rein. Eine Ausnahme macht Hornblende 15, welche zusätzlich noch Graphit führt. Wegen des geringen spezifischen Gewichtes dieser Verunreinigung wird die gewichtsprozentische Mineral-Analyse aber nur unwesentlich verfälscht. Qualitative Röntgenpulveraufnahmen (Guinierde-Wolff-Kamera) ergaben die für Hornblende charakteristischen Reflexe.

Die Hornblende 15 zeigte Aufspaltung gewisser Linien, die wahrscheinlich auf ein Gemisch zweier Hornblenden mit etwas verschiedenen Gitterkonstanten hinweisen. Bei den übrigen Proben scheint die Hornblende im Bereiche des Handstücks einheitliche Zusammensetzung aufzuweisen.

6. Methode der Analyse

Die Mineralproben wurden nach einem Verfahren analysiert, welches klassische und neue Methoden miteinander kombiniert. Dieses kombinierte Verfahren wurde auf Grund der Analysenvorschriften von HILLEBRAND et al. (1953), SHAPIRO and BRANNOCK (1956) und RILEY (1958) von Herrn Dr. M. Weibel für den Gebrauch an unserm Institut zusammengestellt und vielfach erprobt. Eine zusammenfassende kurze Darstellung desselben wurde durch WEIBEL (1960) gegeben.

Die angewandten Methoden seien im folgenden etwas ausführlicher erläutert:

SiO_2

Die bei 105°C getrocknete 0,5-g-Probe wurde mit 3,0 g wasserfreier Soda aufgeschlossen und anschliessend in Wasser gelöst. Durch Eindampfen mit Salzsäure in einer Platinschale wurde die Kieselsäure unlöslich gemacht, mit Wasser aufgenommen und dann abfiltriert. Das Filtrat wurde ein zweites Mal mit Salzsäure eingedampft und nochmals filtriert. Der kleine Rest von SiO_2 , der auf diese Art nicht erfasst wird, sondern in Lösung bleibt, überschreitet nach den spektralanalytischen Untersuchungen WEIBELS (1958) den Betrag von 1 mg pro 0,5 g Einwaage (also ca. 0,2% SiO_2) nicht. Er fällt nachher nur teilweise mit dem NH_3 -Niederschlag aus. Nach dem Veraschen und Glühen zu konstantem Gewicht erfolgte die erste Wägung (SiO_2 + Verunreinigungen), dann wurde die Kieselsäure mit Flussäure abgeraucht, der Rückstand zur Gewichtskonstanz geglüht und nochmals gewogen (Verunreinigungen Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2). Die Differenz der beiden Wägungen ergibt den Kieselsäuregehalt. Der Rückstand wurde mit einer Messerspitze Soda aufgeschlossen, in Salzsäure gelöst und zum Filtrat gegeben.

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (total) + TiO_2

Aus diesem Filtrat erfolgte die Fällung der Sesquioxyde mit Ammoniak. Der Niederschlag wurde mit 2% Ammonchloridlösung gut ausgewaschen, aus dem Filter ins Becherglas zurückgespült und die Fällung wiederholt.

Anschliessend wurde mit *demselben* Filter filtriert. Der Niederschlag wurde vor dem Gebläse zu konstantem Gewicht geglüht und darauf die Summe der Sesquioxyde und von TiO_2 gewogen. Nach der Wägung wurde der Platintiegel mit wenig Kaliumpyrosulfat gereinigt und gewogen. Der Gehalt an Sesquioxyden wurde mit dem neuen Tiegelgewicht berechnet. Da das Gesamteisen kolorimetrisch bestimmt wird, erübrigt sich eine Trennung der Sesquioxyde.

CaO

Das Filtrat der Sesquioxydfällung wurde zur Abtrennung des Calciums mit Ammonoxalat versetzt, der entstehende Niederschlag abfiltriert, mehrmals mit 0,1% Ammonoxatlösung ausgewaschen, wieder mit Salzsäure aufgelöst und nochmals ausgefällt. Der Niederschlag wurde über dem Gebläse zur Gewichtskonstanz geglüht.

MgO

Aus dem Filtrat der Calciumfällung wurde mit Diammoniumhydrogenphosphat das Magnesium ausgefällt und über Nacht stehen gelassen. Nach dem Filtrieren wurde der Niederschlag mehrmals mit stark verdünntem Ammoniak gewaschen, anschliessend in verdünnter Salzsäure gelöst und in einen 100-ml-Messkolben gebracht. Das Magnesium wurde nun komplexometrisch bestimmt (vgl. JANDER, 1956). Diese Art der Bestimmung lohnt sich im allgemeinen erst, wenn mindestens fünf Analysenlösungen bereitstehen. Der Messkolben wurde mit Wasser bis zur Marke aufgefüllt. Ein Viertel dieser Lösung wurde darauf abpipetiert, mit Wasser auf ca. 100 ml verdünnt und mit NaOH auf Methylrot neutralisiert. Dann wurden 2 ml Puffer (7,0 g NH_4Cl + 61,5 ml NH_3 (25%) mit Wasser auf 100 ml verdünnt) beigelegt und die Lösung auf ca. 70°C erhitzt. Kurz vor dem Titrieren wurden 3—4 Tropfen Erio T (1% Lösung in Alkohol) als Indikator zugegeben und dann mit 0,01 n Komplexon III (AeDTE) langsam bis zum Farbumschlag von blaurot nach blaugrün titriert. Wenig vor dem Umschlagspunkt, wenn sich der feinflockige Niederschlag in Auflösung befand, wurde nochmals etwas Indikator zugegeben. Der Umschlagspunkt war erreicht beim Verschwinden der letzten Nuance von rot. 1 ml 0,01 n Komplexon III entspricht 0,4032 mg MgO.

FeO

Der Oxydationsgrad des Eisens wurde auf dem üblichen Weg durch Titration mit KMnO_4 bestimmt. Es wurden 0,5 g grob pulverisierter

Substanz eingewogen und in einer kleinen Platinschale mit Flussäure über dem dampfenden Wasserbad aufgeschlossen. Um den Luftzutritt zu verhindern wurde ein Polyäthylentrichter über die Platinschale gestülpt. Der Aufschluss war nach weniger als 10 Minuten beendet. Die Platinschale wurde nun samt Inhalt in konzentrierter, schwefelsäurehaltiger Borsäure, die bereits ein bestimmtes Quantum KMnO_4 enthielt, aufgefangen. Anschliessend wurde schnell fertig titriert.

H_2O^+

Der Bestimmung des über 110°C entweichenden Wassers wurde besondere Beachtung geschenkt, da bekannt ist, dass gewisse Hornblenden das Wasser erst bei hohen Temperaturen restlos abgeben (vgl. JAKOB, 1937). Trotzdem wurde an der Penfield-Methode festgehalten. Es wurden zahlreiche Vorversuche durchgeführt, um die Art und Menge des zu verwendenden Flussmittels, die Glasqualität des Penfield-Rohres, die günstige Substanzmenge und den Grad und die Dauer des Glühens abzuklären. Versuche ohne Flussmittel ergaben nur etwa 75% des Sollwertes, auch bei längerem Glühen vor dem Gebläse. Mit Natriumwolframat als Schmelzmittel ergaben sich ebenfalls zu tiefe Werte (85% des Sollwertes). Die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass erst das Bleioxyd aggressiv genug war, um bei den mit einem Gebläse erreichbaren Temperaturen das Kristallgitter der Hornblende zu zerstören. Eine Versuchsreihe bei gleichen Bedingungen zeigte folgende Resultate:

	ohne Flussmittel	mit Na-Wolframat	mit Bleioxyd
H_2O^+ -Gehalt (Gew.-%) von Hornblende 6	1,56	1,90	2,17

Das Bleioxyd ist aber so aggressiv, dass es gewöhnliche Penfield-Rohre sofort zum Schmelzen bringt. Erst dickwandige Rohre aus Jenaer-Supremaxglas erwiesen sich als widerstandsfähig.

Glühversuche mit anschliessender Prüfung der erstarrten Schmelze unter dem Mikroskop ergaben, dass die mit Bleioxyd gemischte Substanz unter ständigem Drehen gut 20 Minuten vor dem Bunsenbrenner und 10 Minuten vor dem Gebläse geglüht werden muss, bis alle Hornblendepartikel aufgelöst sind.

Eine von P. Manella an unserem Institut gebaute einfache Anlage erlaubt die Mechanisierung der Wasserbestimmung. Diese Anlage sei im folgenden kurz beschrieben: das Penfield-Rohr wird vor und hinter der mittleren Kugel in U-förmig gebogene Drähte eingehängt. Über den vor-

deren Teil des Rohres wird eine gelochte Gummischeibe gestülpt. Diese Gummischeibe ruht auf einem Gummizapfen, der auf der Achse eines langsamdrehenden Synchronmotors steckt. Durch die Drehbewegung des Zapfens wird das Penfield-Rohr langsam um seine Achse gedreht, wobei ihm die U-förmig gebogenen Drähte die Führung geben. Die mittlere Kugel wird durch fliessendes Wasser ständig gekühlt; das abfliessende Wasser wird durch einen Trichter abgeleitet. Eine gelochte Asbestwand zwischen mittlerer und äusserer Kugel schützt die glühende äussere Kugel vor Wasserspritzern und schirmt das Gebläse ab.

Das Bleioxyd muss vor der Bestimmung zuerst wasserfrei gemacht werden. Zu diesem Zweck wurde das mit PbO abgefüllte Penfield-Rohr mit dem Bunsenbrenner bis zum Farbumschlag erhitzt und der entstehende Wasserdampf ausgetrieben. Darauf wurde das Rohr mittels Gummischlauch an ein Y-Rohr mit zwei Glashahnen angeschlossen und mit der Wasserstrahlpumpe evakuiert. Dann wurde das PbO nochmals mehrfach bis zum Farbumschlag erhitzt (wenn man bis zum Schmelzpunkt des Bleioxyds erhitzt, zerspringt das Glas beim Abkühlen) und unter Vakuum abgekühlt. Durch den andern Hahn des Y-Rohres wurde nachher über CaCl_2 getrocknete Luft zugeführt. Dann wurde das Penfield-Rohr abgehängt und sofort ein kleines Schlauchstück mit Kapillare aufgestülpt.

Die Wasserbestimmung wurde schliesslich folgendermassen durchgeführt: Zuerst wurden 0,8 g Bleioxyd ins Penfield-Rohr eingefüllt und nach der oben beschriebenen Methode wasserfrei gemacht. Anschliessend wurden 0,25 g bei 105°C getrocknete Substanz eingeführt, durch Klopfen und Drehen gut mit dem Bleioxyd vermischt, die Gummischeibe auf das Rohr aufgestülpt und der Schlauch mit dem Kapillarende angesetzt. Das Rohr wurde in die oben beschriebene Anlage eingehängt und bei laufendem Kühlwasser 20 Minuten vor dem vollen Bunsenbrenner und 10 Minuten vor dem Gebläse unter ständigem Drehen geglüht. Dann wurde die hintere Kugel abgeschmolzen und das Rohr nach dem Erkalten gewogen. Anschliessend wurde das Rohr bei 200°C im Trockenschrank getrocknet, zum Erkalten in den Exsikkator gestellt und nochmals gewogen. Die Differenz ergab den Gehalt an H_2O^+ .

Fe_2O_3 (total), MnO , TiO_2

Gesamteisen, Titan und Mangan wurden kolorimetrisch bestimmt. Dazu wurden 0,5 g Substanz mit Perchlor- und Flussäure über Nacht aufs Wasserbad gestellt, dann eingedampft und mehrmals mit Perchlor-

säure bis fast zur Trockne abgeraucht. Nach Aufnahme mit Wasser wurde diese Stammlösung in einen 100-ml-Messkolben geleert und aufgefüllt.

Fe₂O₃ (total)

0,4 ml der Stammlösung wurden mit 5 ml Farbmischung versetzt und auf 50 ml verdünnt. Die Farbmischung bestand (nach RILEY, 1958) aus 4 ml Hydroxylaminhydrochlorid-Lösung 25%, 50 ml Na-Azetat-Lösung 6,8%, 20 ml α -, α -Dipyridyl-Lösung 0,2% in 0,2 n HCl und war auf 100 ml verdünnt.

Die Kolorimetrierung wurde mit dem neuen Zeiss-Elko-II-Elektrophotometer bei 5300 Å (Filter S 53 E) durchgeführt unter Verwendung einer H-Glasküvette von 2 cm Schichtdicke. Alle Messungen erfolgten mit der gleichen Küvette.

Als Eichlösungen dienten eine Lösung von Ferro-Ammoniumsulfat (Mohrsches Salz), welche einem Gehalt von 20% Fe₂O₃ entsprach und eine Lösung, die mit dem Standard-Diabas W-1 hergestellt wurde.

MnO

20 ml der Stammlösung wurden (nach SHAPIRO and BRANNOCK, 1956) mit 20 ml NaJO₄-Mischung (25% H₂SO₄ (95—97%), 10% H₃PO₄ (85%), 1,5% NaJO₄) versetzt und nach fünfminütigem Sieden in kaltes Wasser gestellt. Die Kolorimetrierung erfolgte mit dem Coleman-Model 8-Photo-Electric-Colorimeter bei 5250 Å.

Eichlösungen wurden mit KMnO₄ hergestellt.

TiO₂

Zu 20 ml Stammlösung wurden (nach RILEY, 1958) 5 ml H₂O₂-Mischung (10% H₂SO₄ (95—97%), 20% H₃PO₄ (85%), 20% H₂O₂ (30%)) beigelegt und anschliessend bei 4000 Å mit dem Coleman-Kolorimeter gemessen.

Zur Eichung diente eine 0,5 g Einwaage von W-1.

Na₂O, K₂O

Die Alkalien wurden flammenphotometrisch aus der gleichen Lösung wie Eisen, Mangan und Titan bestimmt. Dabei wurden sofort nach ihrer Herstellung 10 ml der Stammlösung auf 100 ml verdünnt und in eine Polyäthylenflasche abgefüllt, da bei längerem Stehenlassen in Glasgefässen merkliche Mengen Alkalien in Lösung gehen. 10 ml der verdünnten Lösung wurden durch Ionenaustauscher (Amberlite IRA-400

in seiner Zitratform) von den drei- und vierwertigen Metallionen befreit, in einem 50-ml-Messkolben aufgefangen und nach Pufferung mit 0,4% Ammoniumsulfat auf 50 ml aufgefüllt.

Für die Alkalibestimmung wurde das neue, hochempfindliche Zeiss-Flammenphotometer PF 5 benutzt. Zur Eichung dienten Lösungen von 0,5 g und 0,25 g W-1.

Zeitaufwand

Während des Trennungsganges wurden immer zwei Analysen parallel geführt. Der Analysengang bis und mit Fällung des Magnesiums beanspruchte, beim Arbeiten mit Platinschalen und guter Ausnützung der Zeit, drei ganze Tage. Bei einiger Routine könnten pro Tag je 10 H₂O-, 10 FeO- oder 10 MgO-Bestimmungen durchgeführt werden. Wenn die Lösungen hergestellt sind, benötigt man für je 10 MnO + TiO₂-, 10 Fe₂O₃- oder 10 Alkalibestimmungen nicht mehr als einen Tag.

Nach der oben beschriebenen Methode können also 10 mehr oder weniger gleichartige Gesteins- oder Mineralanalysen innert 3–4 Wochen ausgeführt werden.

7. Genauigkeit der Analyse

Zur Überprüfung der Analysengenauigkeit wurde zweimal eine Analyse des Standard-Diabas W-1 parallel mit einer Hornblendeanalyse geführt (vgl. FAIRBAIRN, 1953, p. 152). In Tabelle 3 sind die Resultate dieser Testanalysen von W-1, der übrigens fast die gleiche Zusammensetzung wie die Hornblende aufweist, aufgeführt und mit den neueren Mittelwerten nach RILEY (1958) verglichen (vgl. auch ENGEL and ENGEL, 1958, p. 1378).

Ein Vergleich der mittleren Fehler s in der Kolonne IV zeigt gute Reproduzierbarkeit (precision) aller Komponenten ausser Al₂O₃ und MgO, welche eine Streuung von 0,7% bzw. 2,5% der vorhandenen Menge aufweisen (vgl. Kolonne V). Kolonne VII gibt die Abweichungen (accuracy) der beiden Testanalysen vom wahrscheinlichsten Wert, wie er von RILEY (1958) angegeben wird. Der Silizium- und Magnesiumgehalt der Testanalysen ist dabei etwas tief (SiO₂ 0,4% und MgO 2,0–3,5% der vorhandenen Menge). Die Aluminium- und evtl. die Calciumwerte sind dagegen etwas zu hoch (Al₂O₃ 1,0% und CaO 1,5% der vorhandenen Menge).

Sonst treten keine nennenswerten systematischen Fehler auf. Die beiden Testanalysen zeigen, dass es keinen Sinn hat, bei den Hornblendeanalysen mehr als eine Stelle nach dem Komma aufzuführen.

Tabelle 3. Testanalysen von W-1

	I	II	III	IV	V	VI	VII
	W-1 Ana- lyse a *	W-1 Ana- lyse b *	Mittel- wert $\bar{x}$ *	s (pre- cision) *	C *	Mittelwert W-1 Riley (1958) $\bar{x}$ (R)	Abweichung vom Mittelwert Riley (accuracy) $\bar{x}$ (R) - $\bar{x}$
	Gew. %	Gew. %	Gew. %	Gew. %		Gew. %	Gew. %
SiO ₂	52,50	52,51	52,51	0,01	0,02	52,7	+ 0,19
Al ₂ O ₃	15,17	15,32	15,25	0,10	0,7	15,1	- 0,15
Fe ₂ O ₃	1,60	1,60	1,60	0,00	0,00	1,56	- 0,04
FeO	8,62	8,56	8,59	0,04	0,5	8,65	+ 0,06
MnO	0,17	0,17	0,17	0,00	0,00	0,17	0,00
MgO	6,60	6,38	6,49	0,16	2,5	6,7 (6,6)**	+ 0,21 (0,11)**
CaO	10,98	10,92	10,95	0,04	0,4	10,8	- 0,15
Na ₂ O	2,20	2,14	2,17	0,04	1,8	2,2	+ 0,03
K ₂ O	0,67	0,65	0,66	0,01	1,5	0,67	+ 0,01
H ₂ O ⁺	0,56	0,58	0,57	0,01	1,8	0,60	+ 0,03
TiO ₂	1,04	1,06	1,05	0,01	1,0	1,05	0,00
Σ	100,11	99,89	100,01			100,20	+ 0,19

 $\bar{x}$ = arithmetisches Mittel
$$s = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}}$$
 = mittlerer Fehler einer Einzelmessung
(standard deviation)

$$C = \frac{s}{\bar{x}} \% = \text{relativer mittlerer Fehler}$$
 (relative deviation)

 d = Differenz zwischen einer Einzelmessung und dem arithmetischen Mittel
 n = Anzahl der Messungen

* Analytiker: R. STEIGER

** Nach einer mündlichen Mitteilung von Herrn Dr. M. Weibel ist der MgO-Wert von RILEY wahrscheinlich etwas zu hoch (vgl. auch FAIRBAIRN, 1953). Er würde besser mit 6,6 % MgO angegeben.

8. Technik der Dichtebestimmung

Das spezifische Gewicht der Hornblenden wurde nach der pyknometrischen Methode bestimmt. Eine ausführliche Anleitung zu dieser Arbeitsmethode findet sich in BONSTEDT-KUPLETSKAJA (1954). Es wurde ein Glaspyknometer von 5 ml Inhalt mit eingeschliffenem Thermometer und seitlichem Kapillarsteigrohr verwendet. Die Dichtebestimmung erfolgte an Hornblendepulver von 0,1—0,2 mm Korngrösse, wie es nach der Separation und anschliessenden Reinigung vorlag. Es wurde mit

Wasser gearbeitet und pro Versuch 0,8—1,5 g Mineralpulver eingewogen. Zur Entfernung der Luft bei der Volumenbestimmung wurde wie folgt vorgegangen: das Pyknometer wurde mit dem trockenen Mineral in einen Vakuumexsikkator gestellt, der auf einem Infrarot-Heizbad montiert und mit einer Füllvorrichtung zur Einführung des Wassers unter Vakuumbedingungen ausgerüstet war. Dann wurde die Luft mit einer Wasserstrahlpumpe abgesogen. Nach halbstündigem Stehenlassen bei maximaler Verdünnung wurde das Vakuum auf 30 mm Hg herabgesetzt, durch einen kleinen Scheidetrichter tropfenweise luftfreies Wasser zugegeben bis das Mineralpulver bedeckt war, die Infrarot-Heizlampe eingeschaltet um das Gefrieren des Wassers zu verhindern und nun die Luft wieder vorsichtig abgesogen bis zum Sieden des Wassers. Da das Material trotz aller Vorsicht infolge des engen Pyknometers häufig verspritzte, wurde das Mineral grundsätzlich erst gewogen, nachdem das Gewicht von Pyknometer mit Material und Wasser bestimmt worden war.

Die Berechnung der Dichte wurde durchgeführt mit Korrekturen bezüglich der Wägung in Luft bei einer Temperatur über 4°C (nach Formel und Rechnungsgang in BONSTEDT-KUPLETSKAJA, 1954, p. 19, Tab. 2). Die in Tabelle 4 aufgeführten Dichten D_4^t/V sind bei der Bestimmungstemperatur t gemessen worden, beziehen sich auf die Dichte des Wassers bei 4°C und sind auf das Vakuum umgerechnet.

Alle Bestimmungen wurden zweimal durchgeführt. Sie differieren in der dritten Stelle nach dem Komma um 2—4 Einheiten. In der Tabelle 4 ist das arithmetische Mittel dieser zwei Messungen (auf die zweite Dezimale abgerundet) angegeben. Zur Überprüfung der Bestimmungsmethode wurde auch die Dichte von Quarzpulver gemessen, das auf die gleiche Korngrösse wie die Hornblendesubstanz gesiebt worden war. Zwei unabhängige Bestimmungen ergaben je $D_4^{19}/V = 2,647$. Nach AHLERS (1924) beträgt die Dichte des Quarzes $D_4^{18}/V = 2,6523 \pm 0,0003$ (abgerundet und auf Vakuum umgerechnet).

Verunreinigungen wie Magnetit können die Dichte der untersuchten Hornblenden deutlich beeinflussen, was zum Teil aber durch Einschlüsse von Quarz usw. kompensiert wird. Die Dichte einer Hornblende, die zum Beispiel 1,0 Volumprozent Magnetit und 2,0% Quarz führt, wird um ca. 0,01 g/cm³ zu hoch bestimmt. Aus diesem Grunde genügt es, die Dichte der Hornblende auf die zweite Dezimale anzugeben. Auch ohne Berücksichtigung der Verunreinigungen liegt die Fehlergrenze unter den vorherrschenden Bedingungen (0,8—1,5 g Einwaage, Dichte des Minerals um 3,2, Dichte der Flüssigkeit 1,0) bei $\pm 0,010$ g/cm³.

9. Analysen und Strukturformeln der Hornblende

In Tabelle 4 sind die Resultate der chemischen Analyse¹⁾ und der Dichtebestimmung aufgeführt, ferner auch die Reinheit der untersuchten Mineralproben. Die Hornblenden zeigen eine recht deutliche Variation in der Zusammensetzung. Eine Diskussion und Interpretation derselben wird im zweiten Teil zusammen mit den Resultaten der physikalischen Untersuchungen gegeben.

Tabelle 5 gibt die Strukturformeln der Hornblenden. Die chemischen Analysen wurden nach WARREN's (1930) Strukturformel



auf 24 (O, OH, F) berechnet. Die Komponenten wurden nach steigendem Radius der Metallionen angeordnet.

Die vorliegende Arbeit steht im Zusammenhang mit den Untersuchungen zu meiner Dissertation, die ich unter Leitung von Herrn Professor Dr. C. Burri durchführe. Herrn Professor Burri möchte ich für sein Entgegenkommen, Interesse und die kritische Durchsicht des Manuskripts herzlich danken. Besonderen Dank gebührt auch den Herren Dr. Max Weibel und Dr. Marc Grünenfelder für zahlreiche Ratschläge und wertvolle Mithilfe.

Anhang: Ältere Hornblendeanalysen

Analysen von Hornblenden aus Gesteinen der Tremolaserie wurden schon von L. HEZNER (1908, p. 167), J. JAKOB (1937, p. 226) und M. WEIBEL (in S. HAFNER 1958, p. 345) veröffentlicht. Die Ergebnisse dieser Analysen sind zum Vergleich in Tabelle 6 zusammengestellt und auf die Strukturformel berechnet worden. Die beiden älteren Analysen zeigen einen etwas fraglichen Wassergehalt und sind wohl auch infolge ungenügender Reinheit nicht direkt mit den neuen Analysen vergleichbar. M. WEIBEL führte seine Analyse (nach einer mündlichen Mitteilung von S. HAFNER) an einem sehr sauberen, im Dünnschliff kontrollierten Einkristall aus.

¹⁾ F₂ ist nach M. WEIBEL (in HAFNER 1958, p. 345) und älteren Autoren (vgl. Tab. 6 auf Seite 154) nur in Spuren vorhanden. Quantitative Angaben erfolgen zusammen mit den Spurenelementen.

Tabelle 4. *Hornblendeanalysen, Dichte, Reinheit*

Analytiker: R. STEIGER

Hornblende	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
aus Handstück r 152	r 168	r 175	r 189	r 198	r 198	.344	.19	.390	.352	Lu100	.486	.382	.447a	Ni 490	.427
Gew.-%										F4N					
SiO ₂	40,5	42,5	42,3	42,1	43,1	43,9	41,8	42,2	42,0	41,9	43,8	42,9	42,4	43,0	43,0
Al ₂ O ₃	17,6	16,0	15,7	16,3	14,6	16,5	17,3	16,1	16,7	15,7	14,9	12,6	15,1	18,1	17,0
Fe ₂ O ₃	4,5	5,2	5,2	5,6	5,5	2,7	3,7	5,0	4,3	4,6	3,9	5,0	5,8	3,5	2,5
FeO	13,9	11,6	14,4	12,8	13,1	10,6	14,0	13,7	13,5	15,3	12,0	14,5	11,6	11,8	14,0
MnO	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,2	0,4	0,1	0,1
MgO	7,3	9,4	7,8	8,3	8,1	10,7	7,9	7,8	8,3	6,6	9,1	8,5	9,2	8,6	7,8
CaO	10,4	10,3	9,2	9,9	10,6	10,5	10,2	9,5	10,2	10,6	11,0	10,6	10,9	10,5	10,2
Na ₂ O	1,3	1,9	1,7	2,1	1,9	1,6	1,6	2,3	1,8	1,6	1,4	1,9	1,2	1,1	1,2
K ₂ O	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,5
H ₂ O ⁺	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,0	2,1	2,3	2,4
TiO ₂	0,8	0,5	0,4	0,3	0,5	0,6	0,4	0,5	0,4	0,7	0,7	1,1	0,7	0,4	0,5
Σ*	99,4	100,2	99,6	100,2	99,9	99,8	99,7	99,8	100,1	99,7	99,6	99,9	99,8	99,8	99,2**
Dichte D ₄ ¹⁹ /V															
g/cm ³	3,23	3,21	3,25	3,23	3,23	3,18	3,23	3,24	3,24	3,24	3,25	3,21	3,26	3,17	3,21
Reinheit in															
Vol.-%	96,9	97,1	96,7	98,0	98,3	96,9	96,3	97,2	98,7	96,9	98,1	97,5	97,3	96,1	97,8
Verunrei-	1,0	2,2	2,9	1,8	1,5	2,0	3,6	2,4	1,0	2,0	1,8	2,2	1,9	3,8	1,4
nigungen {	Mt	1,1	0,1	0,3	—	0,1	0,8	0,2	—	0,7	—	0,3	0,7	0,1	0,4
in Vol.-% {	Rest	1,0	0,6	0,1	0,2	0,1	—	0,2	0,3	0,4	0,1	—	0,1	—	0,4
	(Cc,Bi)(Chl,Ep)	(Chl)	(Gra)	(Chl)	(Ep)	(Zr,Bi)	(Ep)	(Bi,Li)	(Bi,Li)	(Ep)	(Bi)	(Ce)	(Ce)	(Bi,Li)	(Bi,Li)

* F₂ vgl. Fussnote p. 150

** Stark graphitführend.

Tabelle 5. *Strukturformeln der Hornblenden*

Hornblende	1		2		3		4	
aus Handstück	r 152		r 168		r 175		r 189	
(Z) Si Al	6,02 1,98	8,00	6,21 1,79	8,00	6,28 1,72	8,00	6,20 1,80	8,00
(Y) Al Ti Fe ⁺⁺⁺	1,11 0,09 1,70 0,50		0,96 0,06 1,60 0,58		1,03 0,05 1,67 0,59		1,03 0,04 1,69 0,62	
(X) Mg Fe ⁺⁺ Mn	1,61 1,72 3,38 0,05	5,08	2,04 1,41 3,49 0,04	5,09	1,72 1,78 3,54 0,04	5,21	1,82 1,57 3,44 0,05	5,13
(W) Na Ca K	0,38 1,65 0,08	2,11	0,54 1,61 0,06	2,21	0,48 1,46 0,08	2,02	0,60 1,56 0,06	2,22
(OH) OH	2,28	2,28	2,14	2,14	2,18	2,18	2,06	2,06
FeO/MgO (Mol. prop.)	1,07		0,69		1,04		0,86	
Hornblende	5		6		7		8	
aus Handstück	r 198		· 344		· 19		· 390	
(Z) Si Al	6,39 1,61	8,00	6,34 1,66	8,00	6,17 1,83	8,00	6,24 1,76	8,00
(Y) Al Ti Fe ⁺⁺⁺	0,93 0,06 1,60 0,61		1,15 0,07 1,51 0,29		1,19 0,05 1,65 0,41		1,05 0,06 1,66 0,55	
(X) Mg Fe ⁺⁺ Mn	1,79 1,62 3,44 0,03	5,04	2,30 1,28 3,61 0,03	5,12	1,74 1,73 3,51 0,04	5,16	1,71 1,70 3,44 0,03	5,10
(W) Na Ca K	0,56 1,68 0,06	2,30	0,46 1,62 0,06	2,14	0,46 1,61 0,06	2,13	0,66 1,50 0,06	2,22
(OH) OH	1,98	1,98	2,12	2,12	2,16	2,16	2,16	2,16
FeO/MgO (Mol. prop.)	0,91		0,56		1,01		0,99	

Strukturtypus: $(\text{OH})_2 \text{W}_{2-3} (\text{XY})_5 \text{Z}_8 \text{O}_{22}$

Hornblende	9	10	11	12
aus Handstück	·352	Lu 100 F 4 N	·486	·382
(Z) Si Al	6,18 1,82 8,00	6,26 1,74 8,00	6,43 1,57 8,00	6,41 1,59 8,00
(Y) Al Ti Fe ⁺⁺⁺	1,08 0,05 1,60 0,47 5,13	1,02 0,08 1,62 0,52 5,03	1,00 0,08 1,50 0,42 5,00	0,64 0,13 1,32 0,55 5,05
(X) Mg Fe ⁺⁺ Mn	1,82 1,66 3,53 0,05	1,47 1,91 3,41 0,03	1,99 1,47 3,50 0,04	1,89 1,81 3,73 0,03
(W) Na Ca K	0,52 1,61 2,19 0,06	0,46 1,69 2,23 0,08	0,40 1,73 2,21 0,08	0,56 1,70 2,36 0,10
(OH) OH	2,16 2,16	2,10 2,10	2,06 2,06	2,00 2,00
FeO/MgO (Mol. prop.)	0,91	1,30	0,74	0,96
Hornblende	13	14	15	
aus Handstück	·447a	Ni 490	·427	
(Z) Si Al	6,25 1,75 8,00	6,24 1,76 8,00	6,32 1,68 8,00	
(Y) Al Ti Fe ⁺⁺⁺	0,87 0,08 1,59 0,64 5,08	1,34 0,05 1,77 0,38 5,06	1,27 0,06 1,61 0,28 5,04	
(X) Mg Fe ⁺⁺ Mn	2,02 1,42 3,49 0,05	1,85 1,43 3,29 0,01	1,70 1,72 3,43 0,01	
(W) Na Ca K	0,34 1,72 2,14 0,08	0,32 1,63 2,01 0,06	0,34 1,61 2,03 0,08	
(OH) OH	2,08 2,08	2,22 2,22	2,34 2,34	
FeO/MgO Mol. prop.)	0,70	0,77	1,01	

Anhang: Tabelle 6. Ältere Hornblendeanalysen

Hornblende	207*	208*	Punkt 1551		207*	208*	Punkt 1551
Analytiker	L. HEZNER	J. JAKOB	M. WEIBEL		L. HEZNER	J. JAKOB	M. WEIBEL
	in Gewichtsprozenten				Strukturformel		
SiO ₂	42,73	45,12	44,2	(Z) Si	6,15	6,36	6,44
Al ₂ O ₃	22,73	11,93	14,6	Al	1,85	1,64	1,56
Fe ₂ O ₃	3,17	3,59	2,0	Al	2,00	0,34	0,94
FeO	7,62	8,91	12,7	(Y) Ti	0,15	0,18	0,05
MnO	—	0,15	0,3	Fe ⁺⁺⁺	0,35	0,39	0,23
MgO	8,59	12,40	10,4	Mg	1,84	2,61	2,26
CaO	9,64	10,23	10,6	(X) Fe ⁺⁺	0,92	1,05	1,55
Na ₂ O	2,18	1,84	1,7	Mn	—	0,02	0,04
K ₂ O	0,98	0,33	0,3	Na	0,60	0,50	0,48
H ₂ O ⁺	0,97	3,94	2,4	(W) Ca	1,49	1,55	1,65
TiO ₂	1,37	1,68	0,44	K	0,18	0,06	0,06
F ₂	Sp.	—	0,05	(OH) F	0,94	3,70	2,32
Summe	99,98	100,12	99,7		Sp.	—	0,01
+ H ₂ O ⁻	0,06						
	100,04						

*) Die Nummern beziehen sich auf F. DE QUERVAIN und C. FRIEDLÄNDER (1942).

Literatur

- AHLERS, L. (1924): Über die Dichte von Quarz, Orthoklas, Albit und Anorthit. Z. f. Krist. 59, p. 293—334.
- BONSTEDT-KUPLETSKAJA, E. M. (1954). Die Bestimmung des spezifischen Gewichts von Mineralien. 110 p. Jena, VEB Gustav Fischer Verlag.
- ENGEL, A. E. J. and ENGEL, C. G. (1958): Progressive metamorphism and granitization of the major paragneiss, northwest Adirondack Mountains, New York. Part I. Total rock. Geol. Soc. America Bull. 69, p. 1369—1414.
- ENGEL, C. G. (1959): Igneous rocks and constituent hornblendes of the Henry Mountains, Utah. Geol. Soc. America Bull. 70, p. 951—980.
- FAIRBAIRN, H. W. et al. (1951) A cooperative investigation of precision and accuracy in chemical, spectrochemical and modal analysis of silicate rocks. U.S. Geol. Surv. Bull. 980, 71 p.
- (1953) Precision and accuracy of chemical analyses of silicate rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 4, p. 143—156.
- GRÖGLER, N. und STEIGER, R. (1961): Thermolumineszenz-Erscheinungen an Hornblenden der Tremolaserie. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 41/1, p. 11.
- HAFNER, ST. (1958): Petrographie des südwestlichen Gotthardmassivs (zwischen St. Gotthardpass und Nufenenpass). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 38, p. 255—362 und Diss. ETH Zürich.
- HEZNER, LAURA (1908): Petrographische Untersuchung der kristallinen Schiefer auf der Südseite des St. Gotthard (Tremolaserie) N. Jb. f. Mineral. etc., B.-B. 27, p. 157—218.
- HILLEBRAND et al. (1953): Applied Inorganic Analysis, second edition. 1034 p. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- JANDER, G. und JAHR, K. F. (1956): Massanalyse, 7. Aufl. Sammlung Götschen, Bd. 221/221a, p. 217—218.
- JAKOB, J. (1937): Chemische und röntgenographische Untersuchungen an Amphibolen. III. Mitteilung: Über die Qualität des Analysenmankos. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 17, 1937, p. 220—229.
- KVALE, A. (1957): Gefügestudien im Gotthardmassiv und den angrenzenden Gebieten. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 37, p. 398—434.
- DE QUERVAIN, F. und FRIEDLÄNDER, C. (1942): 1. Nachtrag zu Chemismus schweizerischer Gesteine. Beitr. z. Geol. d. Schweiz, geotechn. Ser. 20.
- RILEY, J. P. (1958): The rapid analysis of silicate rocks and minerals. Anal. Chim. Act. 19, p. 413—428.
- SHAPIRO, L. and BRANNOCK, W. W. (1956): Rapid analysis of silicate rocks. U.S. Geol. Survey Bull. 1036-C. 56 p.
- STEIGER, R. (1957): Die südliche Paragneiszone des Gotthardmassivs im Gebiet der Val Canaria. Unveröffentlichte Diplomarbeit ETH, Zürich.
- Dissertation ETH, Zürich. In Vorbereitung.
- WARREN, B. E. (1930): The crystal structure and chemical composition of the monoclinic amphiboles. Z. f. Krist. 72, p. 493—517.
- WEIBEL, M. (1958): Chemische Untersuchungen an Albiten aus den Schweizer Alpen. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 38, p. 61—75.

- WEIBEL, M. (1960): Neue Methoden der chemischen Gesteinsanalyse. Bericht über die 34. Hauptversammlung der Schweiz. Min. Petr. Ges. in Lausanne. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 40, p. 6—7.
- WENK, ED. (1955): Eine Strukturkarte der Tessiner Alpen. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 35, p. 311—319.
- (1956): Alpines und ostgrönländisch-kaledonisches Kristallin, ein tektonisch-petrogenetischer Vergleich. Verh. Natf. Ges. Basel 67, Nr. 2, p. 75—102.

Institut für Kristallographie und Petrographie an der ETH, Zürich.

Manuskript eingegangen: 8. November 1960.