

# Zur Kenntnis des Sappirkommens von Alpe Brasciadega in Val Codera (Italien, Prov. Sondrio).

Von

**H. P. Cornelius** und **E. Dittler** (Wien).

Illit 4 Textfiguren.

1950 →

← 1945

	Seite
I. Das Vorkommen . . . . .	28
II. Beschreibung der Gesteilw . . . . .	30
a) Der normale Typus des Sapphiringcstcins . . . . .	30
h) Der zweite Typus des Sapphiringesteins . . . . .	38
c) Glimmerschiefer . . . . .	41
III. Kristallographisch-optische Charakteristik des Sapphirins . . . . .	42
IV. 1. Chemische Untersuchung des Sapphiringesteins . . . . .	44
2. Chemische Untersuchung der Mineralien Sapphirin und Pyrop . . . . .	49
A. Der Sapphirin . . . . .	49
B. Der Pyrop . . . . .	53
Y. Vergleiche der Paragenesen aller bisher bekannten Sapphirin- vorkommen . . . . .	56
VI. Über die Genesis des Sapphiringesteins . . . . .	59

Der Sapphirin von Alpe Brasciadega in Val Codera (südlich von Chiavenna in den Westausläufern der Disgraziagruppe s. l., nicht weit von der italienisch-bündnerischen Grenze) wurde 1914 entdeckt und zwei Jahre später kurz beschrieben<sup>1</sup>. Die Umstände verhinderten damals eine eingehendere Erforschung des Vorkommens. Erst vor einigen Jahren kam der eine der Verf. dazu, dasselbe "wieder aufzusuchen und neues Material zu sammeln, das für weitere Untersuchungen dienen konnte. So ist es jetzt

<sup>1</sup> H. P. CORNELIUS, Ein alpines Vorkommen von Sapphirin. CBL. f. lin. 1916. p. 266.

möglich, jene früheren, in mancher Hinsicht unvollständig geliebten Mitteilungen darüber wesentlich zu ergänzen und zu erweitern, in einzelnen Punkten auch zu berichtigen<sup>1</sup>.

Die Arbeitsteilung zwischen den Verff. erfolgte in der Weise, daß die Beschreibung des Vorkommens, die makro- und mikroskopischen Bestimmungen von H. P. CORNELIUS, die chemischen Untersuchungen und die sich daraus ergebenden Folgerungen - einschließlich der mikrochemischen Bestimmungen - von E. DITTLER ausgeführt wurden; am Schlußabschnitt sind beide Verff. beteiligt.

Bei einigen optischen Bestimmungen leistete Herr Dr. A. MARCHET wertvolle Hilfe, wofür demselben an dieser Stelle bestens gedankt sei.

## I. Das Vorkommen.

Der Fundpunkt<sup>2</sup> des sapphirinführenden Gesteins befindet sich auf der südöstlichen Talseite von Val Codera, etwa vier Gehstunden von der Eisenbahnstation Novate Mezzola, eine Viertelstunde taleinwärts von den Hütten der Alpe Brasciadega. Verläßt man den Steig knapp, bevor er den aus Valle Spessato kommenden Bach überschreitet und steigt südlich durch den Wald empor, so erreicht man eine Schutthalde, die unter der vom P. 2124 (Nordausläufer des Pizzo Brasciadega) nördlich abfallenden Felswand liegt. Auf dieser Schutthalde, und zwar unter einer aus dem höchsten Teil der Wand herabziehenden Lawinenbahn, knapp östlich eines aus dem untersten Wandgürtel heraustretenden (von Brasciadega aus gut sichtbaren) Felszackens, liegen die Blöcke des Sapphiringesteins, durch ihre dunkle Farbe und die großen blutroten Granaten leicht kenntlich unter den Trümmern heller, granitisch injizierter Gneise, welche die Schutthalde zum weitaus überwiegenden Teile zusammensetzen. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß es, ohne einen der sehr zähen großen Blöcke zu sprengen, nicht leicht sein dürfte, heute noch gutes

---

<sup>1</sup> Interessenten seien darauf hingewiesen, daß Handstücke des Sapphiringesteins durch die Firma F. KRANTZ in Bonn, solange Vorrat reicht auch von H. P. CORNELIUS (Wien 8, Lederergasse 23/44) bezogen werden können.

<sup>2</sup> Alle Ortsangaben beziehen sich auf das Überdruckblatt Splügenpaß 1: 50 000 des Topographischen Atlas der Schweiz, welches auch von dem italienischen Gebiet die klarste - wenngleich immer noch in vielen Einzelheiten nicht richtige - Darstellung enthält.

:Material zu gewinnen - es sei denn, daß seit meinem letzten Besuch (1926) neue Bruchstücke aus der Wand herabgefallen sind <sup>1</sup>.

Leider beschränkt sich die Kenntnis des Vorkommens immer noch auf diese herabgefallenen Blöcke, die indes das erstere weitgehend zu rekonstruieren gestatten. Ein Versuch, das Anstehende zu erreichen, scheiterte in etwa 250 m Höhe über der Talsohle an den Geländeschwierigkeiten; da dort Fragmente des Sapphiringesteins immer noch nicht bloß in der Lawinenrinne selbst, sondern auch auf deren westlicher Begrenzungsrippe zu finden sind, ist anzunehmen, daß jene noch beträchtlich höher aus der weiter aufwärts furchtbar jähren Wand herabkommen. Der Feldstecher läßt in dieser zwar mehrere dunkle Flecken erkennen, ohne daß jedoch ein Anhaltspunkt bestünde, um zu entscheiden, ob einer und welcher von ihnen dem Sapphiringestein entspricht.

Die große Mehrzahl der Blöcke des Sapphiringesteins gehört dem Typus an, dessen verbreitetste Abänderung der Beschreibung von 1916 a. a. O. zugrunde liegt. Er soll hier kurz der normale genannt sein. Derselbe ist aufs engste verknüpft mit Pegmatit, mindestens in Gestalt der bereits a. a. O. erwähnten Adern von Orthoklas; aber es gibt Blöcke, an denen man dieselben deutlich ausstrahlen sieht von größeren, unregelmäßig umgrenzten Pegmatitmassen, mit Quarz und schwarzen, äußerst dünnen Glimmerblättern. Außerdem fand sich aber als Seltenheit - in einem einzigen Block - auch ein abnormaler Typus, sehr biotitreich, von feinerem Korn und ohne Pegmatit (genauere Beschreibung folgt unten p. 38). Man darf also wohl annehmen, daß dieser zweite Typus eine äußere dünne Hülle um den an unmittelbare Pegmatitnähe geknüpften normalen bildet; seine Beschaffenheit steht, wie wir

---

<sup>1</sup> Zur Vermeidung von Unannehmlichkeiten ist es jedem Besucher der Fundstelle dringend anzuraten, sich auf der Kaserne der Finanzwache auf Alpe Brasciadega zu melden und bezüglich seiner Reisezwecke beruhigende Erklärungen abzugeben. Jeden Versuch, der Schweizer Grenze nahezukommen unterlasse man, solange die heutigen Zustände im italienischen Grenzgebiet andauern. - Übernachtungsmöglichkeit (Heulager) findet man in einer der zahlreichen Hütten von Alpe Brasciadega, auch ein Weniges von Lebensmitteln (Milch) ist dort erhältlich; doch tut man gut, sich seinen Proviant in der Hauptsache selbst mitzubringen.

Zu warnen ist vor dem Besuch der Sapphirinfundstelle bei nassem Wetter oder bei Schneeschmelze, da alsdann mitunter mächtige Steinlawinen aus der Felswand herabstürzen!

sehen werden, mit einer solchen Annahme im Einklang. Endlich liegen auf der Halde auch Blöcke von dunklen, biotitreichen Gesteinen ohne Sapphirin, die möglicherweise aber doch mit dem Sapphiringestein in nähere Verbindung zu bringen sind: es ist nicht unwahrscheinlich, daß letzteres in noch weiterer Entfernung vom Pegmatit in solche Biotitgesteine übergeht, die also vielleicht sein (in anderer Weise umgewandeltes) Äquivalent darstellen.

Jedenfalls ist es sicher, daß das Vorkommen des Sapphirin: unmittelbar in keiner Beziehung steht zu der von dem benachbarten Disgrazia-(Bergeller-)Granit ausgehenden Kontaktmetamorphose, die sich hier, auf dessen Westseite, in Gestalt von Einschmelzung und Injektion einer mehrere Kilometer breiten Zone zeigt<sup>1</sup>. Es ist vielmehr ein Pegmatit aus dem Gefolge der Granitintrusion, an welchen das Auftreten des Sapphirins geknüpft erscheint. Diese Pegmatite durchsetzen zu Tausenden die Randzonen und die Umgebung des Granitmassivs; mit scharfen Grenzen durchschneiden sie die Migmatite und bekunden damit deutlich ihr den Aufschmelzungsvorgängen gegenüber jüngeres Alter. Ich habe auf verschiedenen Streifzügen durch die Berge von Val Codera immer wieder gesucht, ob nicht doch der eine oder andere dieser zahlreichen Pegmatite von Sapphirin begleitet wäre; speziell die Stellen, wo sie Biotitschieferzonen durchqueren, schienen in dieser Hinsicht aussichtsvoll. Allein bis jetzt war alles vergeblich, wenn auch keineswegs schon jede weitere Hoffnung aufzugeben ist. Vorläufig jedenfalls steht das Vorkommen von Alpe Brasciadega noch einzig da.

## II. Beschreibung der Gesteine.

### a) Der normale Typus des Sapphiringesteins.

Er umfaßt im ganzen fein- bis mittelkörnige Gesteine, aus denen nur die großen (bis 2 cm Durchmesser) gerundeten Granaten, schön himbeer- bis blutrot, einsprenglingsartig hervortreten. In der Zwischenmasse erkennt das unbewaffnete Auge schwarzen

<sup>1</sup> Vgl. H. P. CORNELIUS, Geolog. Beobachtungen in den italienischen Teilen des Albigna-Disgraziamassivs. Geol. Rundschau. 6. 1915. p. 166. - R. STAUB, Geolog. Beobachtungen am Bergeller Massiv. Vierteljahrsh. naturf. Ges. Zürich. 63. 1918. p. 5.

bis schwarzbraunen Biotit, dunkelolivbraunen<sup>1</sup> Hypersthen in dicken Stengeln oder isometrischen Körnern mit eigentümlich wachsartigem Glanz (sehr schwer sichtbar, wo zwischen dem Biotit versteckt!); Cordierit, teilweise sehr auffällig durch schön violette Färbung, teilweise farblos und wie Quarz aussehend, und endlich den Sapphirin, von dessen Eigenschaften später (p. 42) näher die Rede sein soll. Dazu kommen stets noch die gelblichweißen, glasigen Orthoklase, teils anscheinend isolierte, mitunter recht große Kristalle, teils deutlich das Gestein durchziehende Adern bildend, aber stets ohne jede Andeutung von Kristallform.

Die Verteilung dieser Mineralien ist ziemlich ungleichmäßig. Meist ist der Biotit recht reichlich vertreten; die Gesamtfarbe des Gesteins ist dann ziemlich dunkelgrau und eine schwache Paralleltextur manchmal angedeutet. Verstärkt kann die letztere werden durch tiefschwarze dünne Lagen von weit vorherrschendem Biotit; in ihnen bildet der Cordierit gelegentlich bis über 1 cm lange, rechteckig umgrenzte, einsprenglingsartige Kristalle. Normalerweise sind indessen auch die biotitreichen Varietäten richtungslos entwickelt; und durchwegs gilt das von den selteneren, manchmal violett, stets aber licht gefärbten Gesteinspartien, in welchen der Biotit zurücktritt. In diesen wird der Cordierit zum tonangebenden Gemengteil; daneben ist hier stets die Durchtränkung mit Orthoklas besonders reichlich.

Im Dünnschliff zeigt der dunkelbraune Biotit außer gelegentlichen Sagenitausscheidungen nichts Bemerkenswertes; ebensowenig der vollkommen isotrope, in sehr dicken Schliffen noch blaßrötliche Granat. Der rhombische Pyroxen ist auf Grund seiner optischen Orientierung:  $a = b$ ,  $b = a$ ,  $c = c$  und des negativen Charakters bei großem Achsenwinkel als Hypersthen zu bezeichnen; der Pleochroismus  $a$  rosa,  $b$  blaßgelb,  $c$  blaßgrünlich, ist auffallend stark. Die Spaltbarkeit nach (100) ist z. T. deutlicher als die prismatische. - Der Cordierit zeigt bemerkenswertere gelegentlich Zwillingslamellen, öfters in mehrfacher Wiederholung (Vorsicht wegen Verwechslung mit Plagioklas, die mir a. a. O. z. T. unterlaufen ist!). Die auffallend großen, in einer biotitreichen Lage eingeschlossenen Cordierite zeigen ein merk-

<sup>1</sup> „Schwarzgrün“ (1916 a. a. O.) ist irrtümlich.

würdig fleckenweises Auftreten feinlamellierter Partien inmitten von ganz einheitlichen, wobei die einzelnen Lamellen meist rasch wieder aussetzen. Dieselben Cordierite zeigen, ebenfalls fleckenweise verteilt, Interpositionen sehr feiner opaker Blättchen von sechsseitigem Umriß, mit höchst lebhaftem, rein weißem Glanz auf den Tafelflächen; man möchte in ihnen am ehesten Ilmenit erblicken. Charakteristisch aber für allen Cordierit unseres Gesteins ist das häufige Auftreten der bekannten gelben, z. T. sehr intensiv orangegelben pleochroitischen Höfe, und überall ist eine sehr feine schwarze Punktierung (unbekannter Natur) für die Durchschnitte des Minerals bezeichnend. Neu kennen lehrt das Mikroskop das Auftreten von Sillimanit in öfters recht großen Prismen mit Querabsonderung und sehr deutlicher pinakoidaler Spaltbarkeit, welcher die Achsenebene parallel liegt; ziemlich kleiner positiver Achsenwinkel auf Basisschnitten. Wegen des Sapphirins vgl. später p. 42. - Akzessorisch ist Zirkon nicht selten, welcher die pleochroitischen Höfe<sup>1</sup> bedingt; doch zeigt die wechselvolle Intensität derselben - gelegentlich sind sie um ein Körnchen sehr deutlich, um ein benachbartes kaum oder gar nicht wahrnehmbar - daß nicht alle die stark licht- und doppelbrechenden, in günstigen Fällen deutlich tetragonal umgrenzten Mikrolithe, die man gemeinhin als „Zirkon“ bezeichnet, der gleichen Mineralspezies angehören können - wenn sich auch Näheres über ihre Natur nicht ermitteln läßt. - Vereinzelt findet sich Ilmenit (vgl. oben); ganz spärlich Magnetit; endlich, in allen mir vorliegenden Schliffen durch ein einziges Exemplar vertreten, Korund, kenntlich an der hohen Lichtbrechung bei ziemlich schwacher negativer Doppelbrechung und zweifelsohne freier Einachsigkeit. Es ist ein ziemlich großes rundliches Korn, das feine langgestreckt-rundliche Einschlüsse einer noch stärker licht- und auch sehr stark doppelbrechenden Substanz enthält; dieselben sind dem gelblichen Farbenton nach mit großer Wahrscheinlichkeit als Rutil anzusehen. - Dazu treten nun aber noch weitere Mineralien, welche als Fremdlinge im Gestein betrachtet werden müssen: vor allem der Orthoklas in z. T. großen, aber auch im Dünnschliff stets gänzlich formlosen Indivi-

---

<sup>1</sup> Während diese im Cordierit zumeist sehr intensiv sind, erscheinen sie allgemein im Biotit ganz auffallend schwach.

duen. In seiner Gesellschaft tritt nicht selten auch Plagioklas auf, in kleinen isometrischen Körnern in jenen eingewachsen, teils randlich, teils als Einschlüsse. Fast stets sind sie gegen den Orthoklas umsäumt von schmalen Myrmekitkränzen - leider in so feiner Ausbildung, daß deren Quarzspindeln für eine Vergleichung mit dem Plagioklas bezüglich der Lichtbrechung nicht zu brauchen sind. Auch sonst kommen Myrmekitsäume an den Rändern des Orthoklases (gegen Cordierit) gelegentlich in ganz gleicher Ausbildungsweise vor. Quarz findet sich (von dem Myrmekit abgesehen) sehr selten mit dem Orthoklas vergesellt, in unregelmäßigen Körnern, die sich von dem Cordierit schon im parallelen Licht unterscheiden lassen durch den Mangel der pleochroitischen Höfe und der obenerwähnten feinen Punktehmig; an die Stelle der letzteren treten reihenförmig angeordnete Einschlüsse.  $\therefore$  Diese letzterwähnten drei Minerale gehören nicht dem Sapphiringestein selbst an, sondern dem dasselbe durchdringenden Pegmatit. Um dessen Bild vollständig zu machen, sei gleich erwähnt, daß der Orthoklas in seltenen Fällen haarfeine Gebilde in großer Menge umschließt, die wohl nur als Sillimanit gedeutet werden können.

Bezüglich der Strukturverhältnisse des Gesteins hat das nunmehr wesentlich reichere Untersuchungsmaterial manches ergeben, wodurch das a. a. O. Mitgeteilte mehr oder minder modifiziert wird. Wie dort erwähnt, zerfällt das Gestein in mehrere verschiedene Mineralkombinationen, die räumlich getrennt nebeneinander bestehen, jedoch in inniger gegenseitiger Verflechtung; meist sind sie alle in einem Schliff vereinigt. Wenn man absieht von dem bereits erwähnten Pegmatit, der (bezw. dessen Orthoklas) das ganze Gestein durchtränkt, so sind es die folgenden:

1. Biotit + Cordierit + Hypersthen; daraus wird durch das Hinzutreten der großen Granatporphyroblasten

2. Biotit + Cordierit + Hypersthen + Granat<sup>1</sup>; oder durch das Hinzutreten von Sapphirin

3. Biotit + Cordierit + Hypersthen + Sapphirin  $\pm$  Granat. Diese Kombination leitet über zu

4. Sapphirin + Sillimanit + Cordierit  $\pm$  Biotit.

---

<sup>1</sup>Der a. a. O. in dieser Kombination erwähnte Plagioklas ist zu streichen; er wurde irrtümlich an Stelle von Cordierit bestimmt.

Zu den ersten beiden Kombinationen ist wenig zu bemerken. (1) zeigt ziemlich normale Kontaktstruktur, mit häufiger gegenseitiger Verzahnung und Umschließung der Komponenten, von denen der Hypersthen meist weitaus am größten entwickelt ist. Doch wird er in dieser Hinsicht noch weitaus überboten durch die Granatporphyroblasten von (2). Diese sind teils massiv und ziemlich arm an Einschlüssen, welche sich in nichts von den Mineralen des umgebenden Gesteins unterscheiden. In anderen Fällen aber bestehen die Porphyroblasten nur aus einer dünnen Kruste von Granat, welche annähernd kugelförmig um Teile der Gesteinsmasse herumgewachsen ist (das sieht man am besten schon makroskopisch); gelegentlich herrscht auch unregelmäßiger Um- und Durchwachsung.

Aus diesen Kombinationen entwickelt sich nun (3) durch das zunächst sporadische Hinzutreten von Sapphirin in mehr oder minder gut ausgebildeten, stellenweise aber auch stark korrodieren Kristallen. Dieselben liegen zumeist in Cordierit eingebettet - besonders auffällig dann, wenn es sich etwa um Einschlüsse in Hypersthen handelt, die durch einen schmalen Cordieritsaum von diesem Hüllmineral getrennt bleiben. Auch der umgekehrte Fall, Hyperstheneinschlüsse mit Cordierithof in Sapphirin, kommt (sehr selten) vor. Indessen ist doch jene Regel nicht allgemeingültig; man kann den Sapphirin auch in unmittelbarer Berührung mit Granat, Hypersthen und Biotit beobachten. Mit dem letzteren kommen - jedoch ganz selten - scheinbare Parallelverwachsungen zustande, indem sich (010) des Sapphirins auf (001) des Biotits legt. Das hat ganz ebenso N. V. Ussnaw von Fiskernaes beschrieben<sup>1</sup>. Indessen dürfte es sich hier kaum um echte, in der Kristallstruktur begründete Parallelverwachsungen handeln; haben wir doch keinen Grund, anzunehmen, daß in dieser Beziehung die beiden Minerale verwandt sind.

Ein spezieller Fall dieser Kombination (3) liegt nun vor in jenen makroskopisch licht gefärbten Gesteinspartien, in welchen der Biotit zurücktritt - stellenweise fast bis zum Verschwinden - und dafür Cordierit und Sapphirin überhandnehmen, ohne daß Hypersthen und Granat deswegen fehlten. Hier erreichen die Sapphirintafeln ihre bedeutendsten Dimensionen. Zugleich erreicht

<sup>1</sup> N. V. Ussnaw, Untersuchungen der Mineralien von Fiskernaes: 1. Grönland. Zs. f. Krist. 1. f. 1889.

hier, wie schon erwähnt, auch die Durchträngung mit Pegmatitfeldspaten ihr Maximum. Mit freiem Auge sieht man auch in sie den Sapphirin eingewachsen, manchmal eine ganze Reihe von Individuen nebeneinander; die Lupe zeigt freilich an den Grenzen immer wieder schmale Cordieritzwickel eingeschaltet. Und im Dünnschliff sieht man in der Regel den Sapphirin nicht in direkter Berührung mit Orthoklas, sondern durch einen manchmal ganz schmalen, oft auch wieder recht breiten Cordieritgürtel von ihm geschieden (Fig. 1); doch gibt es immerhin auch Ausnahmen, in denen wirklich Berührung beider Mineralien stattfindet.

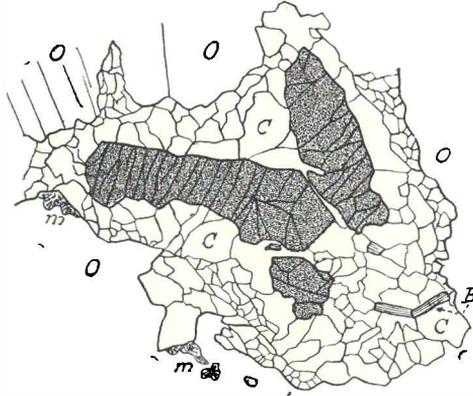


Fig. 1. Sapphirin (grau) mit Hof von Corcürüt (C). B = Biotit, O = Orthoklas; m = Myrmekit. Etwas srhrrnatisiert. Vngrößrrnung ca. 40: 1.

Die Kombination (4) endlich ist die merkwürdigste von allen. Sie zeigt, wie schon a. a. 0. beschrieben, Felder aus großem Sillimanitstengeln, meist ohne bestimmte Ordnung, gemischt mit etwas Sapphirin, Spuren von Biotit und formlosem Untergrund von Cordierit, umgürtet von Haufwerken kleiner Sapphirintafeln und nach außen durch einen nur selten unterbrochnen Cordierithof gegen die Gebiete anderer Mineralkombination (11) abgegrenzt (Fig. 2). Die kleinen Sapphirintafeln werden stellenweise - wohl infolge von Sammelkristallisation - durch einzelne größere und besser entwickelte Kristalle ersetzt, und solche können auch wohl ins Innere des Sillimanitfeldes rücken; doch wurde a. a. 0. wohl zu weit gegangen, wenn daraus ein besonderer Typus des Vorkommens gemacht wurde; nach den jetzt vorliegenden Erfahrungen behalten

sie in den weitaus meisten Fällen eine Lage am Rande des Sillimanits. Einzelne Individuen des letzteren treten auch gelegentlich aus den geschlossenen Feldern nach außen.

In der oft unglaublichen Zerfetzung des Außensaums dieser Bildungen - sie ist zeichnerisch überhaupt kaum wiederzugeben - offenbart sich die Mitwirkung pneumatolytischer Agenzien bei ihrer Entstehung<sup>1</sup>. Einen weiteren Hinweis hierfür bildet das Auftreten oft nur haarfeiner Orthoklasadern, ausgehend von den größeren Pegmatitschlieren; in der Nachbarschaft dieser Sillimanit-

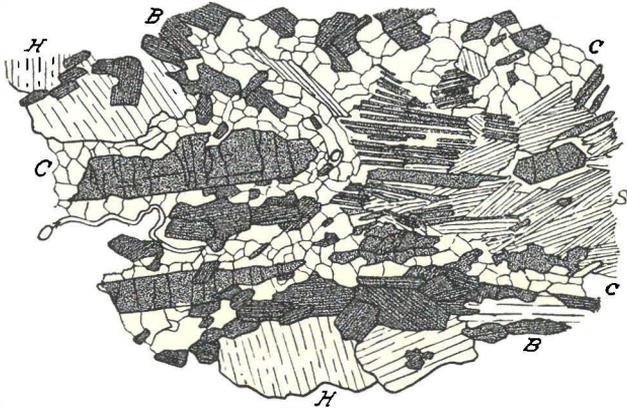


Fig. 2. Sapphirin (grau), teils in größeren Kristallen, teils in feinen Täfelchen um ein Feld von Sillimanit (S) gewachsen. B = Biotit, C = Cordierit, H = Hypersthen, O = Orthoklas. Etwas schematisiert. Vergrößerung ca. 30 : 1.

Sapphirinfelder trifft man sie bei einiger Aufmerksamkeit fast immer.

In seltenen Fällen kann dieser Kombination der Sapphirin verloren gehen. Im übrigen wird dadurch an ihren Strukturverhältnissen nichts geändert: die Sillimanitfelder und mehr oder minder wohlentwickelten Einzelkristalle bleiben genau so durch

<sup>1</sup> Herr Dr. L. WALDMANN kennt, wie er mir freundlichst mitteilt, derartige Sillimanitaggregate (aber ohne Sapphirin!), die nachweislich aus Disthen hervorgegangen sind, aus dem moldanubischen Kristallin. Indessen ist in unserem Falle kein Anzeichen bekannt, das eine derartige Bildungsweise vermuten ließe: die Glimmerschiefer auf der Westseite des Disgraziamaassivs führen zwar häufig auch sonst Sillimanit, niemals aber, soweit bisher bekannt, Disthen.

Cordierithöfe von ihrer Umgröbung getrennt, wie dort, wo Sapphirin in der eben beschriebenen Weise beigemenget ist.

An Umwandelungserscheinungen sind zunächst zu erwähnen die bereits a. a. O. vermerkten Reaktionshöfe um den Granat: Derselbe ist fast stets umgeben von einem Kranz wurmförmiger Gebilde mit Andeutungen desselben Pleochroismus - allerdings nur in günstigen Fällen und, wegen der geringen Dicke, sehr verblaßt sichtbar - wie ihn der in den Schliften vorhandene Hypersthen zeigt; sie sind wohl als solcher zu betrachten. Ihr Untergrund besteht aus Cordierit. Wir haben es also wohl mit einer Umsetzung des Granats in diese beiden Mineralien zu tun, nach einer später (p. 63) näher zu besprechenden Gleichung.

Eine weitere Umwandlung hat in einem Teil der Schliffe den Hypersthen betroffen: derselbe erscheint zunächst umkränzt, dann immer mehr verdrängt von sehr feinfaserigen Massen einer blaßgrünen, mäßig licht- und ziemlich stark doppelbrechenden Substanz. Gelegentlich ist dieselbe zu Sammelkristallisation gekommen und bildet dann Büschel etwas größerer Stengel, deren charakteristische Querschnitte zusammen mit der geraden Auslöschung die Bestimmung als rhombisches Glied der Amphibolreihe erlauben. Wir werden demselben bei der Besprechung des zweiten Gesteinstypus wieder begegnen. Bemerkenswert ist, daß diese Umwandlung jünger ist, als die zuvor erwähnte des Granats; denn wo dieser in ihren Bereich tritt, da sieht man auch seine Hypersthenkränze aufs deutlichste in die grünlichen Fasern übergegangen. Parallel mit dieser Umwandlung des Hypersthens geht eine solche des Orthoklases der Pegmatitadern: er wird zumeist vollständig (nur selten erlauben unveränderte Reste das Ausgangsmaterial der Pseudomorphosen zu bestimmen) verdrängt durch feinfaserige oder -blättrige, in ihrer Anordnung z. T. an Eisblumen erinnernde Aggregate von farblosen Substanzen mit nicht starker Licht- und Doppelbrechung (wenig  $> 0,01$ ); die Lichtbrechung variiert, scheint aber im allgemeinen unter der des Cordierits zu bleiben. In einem Falle ließ sich deutlich unterscheiden ein äußerer Faserkranz mit schwächerer Lichtbrechung und negativer Hauptzone, und ein innerer mit positiver Hauptzone und etwas stärkerer Lichtbrechung (ca. 1,55 wie Kaolin). Die Auslöschung der einzelnen Fasern in beiden Kränzen ist zumeist schief. Zur Prüfung auf allenfalls vorhandene Zrolithe wurde die fragliche

Hülle vorsichtig von Canadabalsam befreit, mit verdünnter Salzsäure in der Wärme angeätzt und auf die für Zeolithe charakteristische Gallertbildung untersucht; eine solche wurde nicht beobachtet. Indem man nun weiter nach vollständiger Entfernung der Säure mit einer verdünnten Lösung eines basischen Farbstoffes (Mfalachitgrün, Fuchsin) digeriert, beobachtet man Anfärbung des angeätzten Kristallaggregates. Es dürfte sich demnach nicht um Zeolithe, sondern um ein kaolin- bzw. nakritähnliches Silikat handeln, wofür auch die Löslichkeit in heißer Schwefelsäure spricht; es läge dann ein hydrothermales Umwandlungsprodukt des Orthoklases vor.

Jedenfalls ist sicher, daß auch diese Umwandlung nichts mit Verwitterungsvorgängen zu tun hat: Dagegen spricht nicht nur die erwähnte Verknüpfung mit der Amphibolisierung des Hypersthens - man beobachtet die eine Umwandlung nie, ohne daß sich die andere in der Nachbarschaft zeigt - sondern fast noch mehr die völlige Unversehrtheit des gegen Verwitterungseinflüsse so empfindlichen Cordierits sowie des Biotits.

Man wird also in den erwähnten Erscheinungen: der Ersetzung des Hypersthens durch rhombischen Amphibol, des Orthoklases durch Kaolin etc. das Ergebnis einer hydrothermalen Phase erblicken dürfen, welche gewisse Teile unseres Sapphiringesteins nachträglich betroffen hat. (Näheres siehe später, p. 64.)

### **b) Der zweite Typus des Sapphiringesteins**

ist nach seinem makroskopischen Aussehen mehr als ein Biotitgestein zu bezeichnen: schwarzer, feinblättriger Biotit waltet durchaus vor; dazwischen sind graulichgrüne z. T. feinfaserige Partien, blaugrauer Sapphirin, hier aber weniger auffällig und höchstens 1-2 mm im Durchmesser, weißer Cordierit und einzelne rote Granaten - auch sie jedoch seltener und kleiner als im normalen Typus - zu erkennen. Die pegmatitische Durchädung fehlt hier, wie schon erwähnt. Paralleltexur ist deutlich ausgeprägt. - Ein Handstück zeigt den raschen Übergang dieses Typus in den normalen; wahrscheinlich bildet er um diesen nur eine Hülle von wenigen Zentimetern Mächtigkeit.

Im Dünnschliff zeigt sich der Biotit mehr grünlichbraun als im normalen Typus. Die graugrünen Partien entpuppen sich als Amphibolminerale, und zwar im ührrwiegenden Teil des

Schliffes einem r h o m b i s c h e n Gliede zugehörig; optische Orientierung  $a = a$ ,  $b = b$ ,  $c = c$ ;  $b = c$  blaßgraugrün,  $a$  blaßgelblich (in einem sehr dicken Schliff ist  $c$  blaugrau,  $b$  ?,  $a$  grün-gelb). In manchen Teilen des Schliffes aber findet sich statt dessen ein monoklines Amphibolmineral, mit deutlicher, wenn auch nur einige Grade betragender Auslöschungsschiefe  $c : c$  und etwas stärkerer Färbung:  $c$  schmutzig blaugrau,  $b$  schmutzig grün,  $a$  blaßgelblich. Die Doppelbrechung beider ist recht stark. Sie bilden in

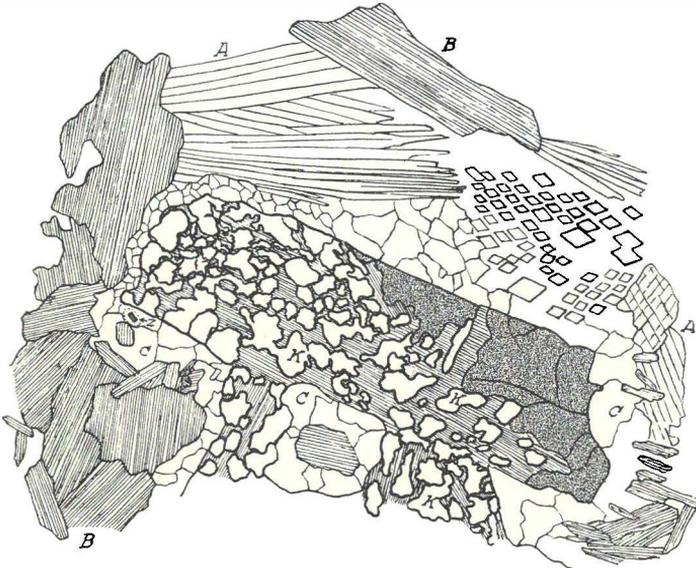


Fig. 3. Sapphirkristall, bis auf geringe Anteile (grau) in Biotit + Korund (K) umgewandelt; umgeben vom Cordierithof (C). A = Amphibol, B = Biotit; Z = Zirkon mit porphyritischem Hof. Etwas schrägschnittsricht. Vergrößerung • ca. 40 : 1.

den Hauptsachen schwach divergentstrahlige Büschel dünner Prismen, die im Querschnitt eine große Anzahl nahe-zu gleich orientierter kleiner Rhomben zeigen. Daneben finden sich aber auch einzelne größere, ganz formlose Individuen innerhalb der Biotitaggregate; sie fallen durch viel schwächere, ganz blaßgrünliche Färbung auf. Cordierit und Pyrop wie im normalen Typus; Sillimanit fehlt - außer in der Übergangszone zu dem normalen Typus. Sehr interessant aber ist das Vorkommen des Sapphirins. Er bildet kleine tafelförmige

förmige Kristalle, genau wie im normalen Typus. Dieselben sind jedoch nur z. T. intakt, vielmehr sehr häufig unter vollkommener Erhaltung der äußeren Form - vgl. Fig. 3 - umgewandelt; dabei ist öfters in einer Ecke des Kristalls die Sapphirinsubstanz als Relikt geblieben, das jeden Zweifel bezüglich der Deutung dieser Pseudomorphosen ausschließt. Sie bestehen aus einem dunkelgrünen Biotit (stärker grün als der sonst in dem Gestein verbreitete), innig durchwachsen mit einem farblosen, sehr stark lichtbrechenden Mineral, mit recht schwacher negativer Doppelbrechung; soviel sich erkennen läßt, ist es einachsige. Jegliche charakteristische Struktur oder äußere Form scheint den unregelmäßig rundlich begrenzten, oft zerlappten, kleinen Individuen zunächst zu fehlen; erst bei sehr starker Vergrößerung erkennt man mitunter spitz-rhomboedrische, vielfach zerfressene Gestalten in großer Zahl miteinander parallel verwachsen. Die angegebenen Eigenschaften lassen auf Korund schließen; und gestützt wird diese Diagnose durch die großen Schwierigkeiten, die das Gestein beim Schleifen machte.

- Die Akzessorien sind wie im normalen Typus: Zirkon ziemlich häufig, Magnetit sehr spärlich; auch ein vereinzeltes Nadelchen von Apatit wurde beobachtet. - In einem Schliff ist zu beobachten, daß an Stelle des Sapphirins bereits primär Korund entstanden ist - auf ganz beschränktem Raum; er bildet kleine, unregelmäßig umgrenzte Körner mit den gleichen Eigenschaften wie eben angegeben, inmitten von Cordierithöfen. In der Nachbarschaft dieser Stelle ist ein Pyrop nicht wie oben beschrieben auf dem Wege über Hypersthen, sondern unmittelbar in den (rhombischen) Amphibol umgewandelt, der ihn in Paketen aus parallelgestellten Nadeln umkränzt.

In struktureller Hinsicht zerfällt das Gestein in zwei Teile: einmal die mehr oder minder parallelblättrigen Biotit-aggregate mit eingestreuten Amphibolen, die den überwiegenden Teil des ersteren bilden. Zweitens die Sapphirinkristalle mit Höfen von granoblastischem Cordierit, die letzteren durchschossen von den garbenförmigen Gedrit- bzw. Hornblendebüscheln; sie bilden Inseln in dem vorherrschenden Biotitaggregat. Als drittes kommen dann noch die cinsprenglingsartigen Pyropen hinzu, wie im normalen Typus. Randlich zeigt ein Schliff noch den Übergang zum normalen Typus, indem sich die p. 36 beschriebenen Sapphirin-umranderten Sillimanitanhäufungen einstellen.

### c) Der Glimmerschiefer,

der zusammen mit den Blöcken des Sapphiringesteins auf der Halde liegt, sei anhangsweise noch kurz beschrieben, da er recht wahrscheinlich in genetischer Beziehung zu jenen steht. Makroskopisch zeigt er neben dem vorherrschenden schwarzen Biotit silberweißen Muscovit und lichtgrüne, chloritische Flecken; schieferige Textur ist gut ausgeprägt.

Im Dünnschliff sieht man den Biotit, auffallend hell braun gefärbt, dicke Lagen des Gesteins für sich allein bilden, in nicht sehr vollkommenen, parallelblättrigen Aggregaten. Sehr untergeordnet, nur streifenweise sind ihm Feldspäte beigemischt (ungefähr Oligoklas,  $y' = w$ ), in rundlichen, z. T. zwillingslamellierten Körnern; z. T. mit sehr kleinen tröpfchenförmigen Quarzeinschlüssen durchsetzt. Viel bedeutungsvoller aber sind helle, oft recht ausgedehnte Höfe innerhalb der Biotitmassen, bestehend aus wirrblättrigen Aggregaten von meist kleinschuppigem Moscovit und etwas größeren, oft büschelig angeordneten Blättern von einem sehr blaßgrün gefärbten Klinochlor. Inmitten dieser Höfe aber liegen schwammweise sehr kleine, unregelmäßig rundliche und gelappte Körner eines farblosen, stark lichtbrechenden Minerals mit schwacher negativer Doppelbrechung; sie sind, soviel man sehen kann, einachsige. Diese Merkmale passen wiederum am besten auf Korund; doch liegen mir in diesem Falle keine Angaben vor, daß er beim Schleifen Schwierigkeiten verursacht hätte (vielleicht nicht wegen der Kleinheit der Körner?). - Zum Nachweis des Korund wurden etwa 7 g Gesteinspulver mit der stöchiometrisch berechneten Menge Flußsäure unter Zusatz von Schwefelsäure mehrere Male in der Platinschale abgeraucht und nach der vollständigen Entfernung der Kieselsäure der verbliebene Rückstand (Korund und unlösliche Fluoride) mit Wasser geschlämmt. Der auf diese Weise angereicherte Korund ließ sich u. d. M. an seiner hohen Lichtbrechung ( $w = 1,76 > \text{Jodmethylen}$ ) identifizieren. Ein reichlich vorhandener Nebengemengteil ist Rutil in schön dunkelgelben Nadeln. Auch Sillimanit wurde lokal in geringer Menge beobachtet.

Man kann sich vorstellen, daß in diesem Glimmerschiefer ein Glied vorliegt aus einer Reihe, die vom normalen über den zweiten

Typus des Sapphiringesteins zu einem gewöhnlichen Biotitschiefer führt. Ganz unbeeinflusst von den Vorgängen, die zur Entstehung des Sapphirins führten, wäre unser Gestein alsdann auch noch nicht: in ihm wäre als entsprechendes Produkt der Korund zu betrachten; daß dieser ausnahmsweise, wie oben erwähnt, vikariierend für Sapphirin eintreten kann, ist eine starke Stütze dieser Annahme.

Wie man sich die Genese dieses wie des Sapphiringesteins vorstellen kann, soll in einem späteren Abschnitt erörtert werden (p. 59 f.).

### III. Kristallographisch-Optische Charakteristik des Sapphirins.

Der Sapphirin tritt in dem beschriebenen Gestein des normalen Typus in zwei Ausbildungsformen auf, die bereits oben (p. 34 u. f.) kurz erwähnt wurden. Einmal in derben Putzen (den p. 35 besprochenen Anhäufungen kleiner Täfelchen entsprechend) von licht himmelblauer bis graublauer Farbe, je nach dem Grade der Verunreinigung durch andere Mineralien. Zweitens aber in deutlichen, tafelförmigen, nach 010 entwickelten Kristallen von etwa 4 mm größter Länge und 1 mm Dicke (im Maximum). Ihre Farbe ist dunkelblau bis schwarzblau; nur wo die Kristalle angeschlagen sind, erscheinen sie himmelblau bis licht graublau, entsprechend der Farbe des Pulvers. Starker Glasglanz besonders auf (010).

Diese Fläche ist leider die einzige gut ausgebildete. An herausgeschlagenen Kristallfragmenten sind zwar öfters (im Dünnschliff nur selten) als randliche Begrenzung schmale Prismenflächen zu beobachten, doch erlaubten dieselben keine Messung.

Widerspruchsvoll sind die Beobachtungen über die Kohäsionsverhältnisse des Sapphirins, ebenso wie die bisherigen Angaben darüber in der Literatur. Während die Mehrzahl der Autoren das Fehlen von Spaltbarkeit hervorhebt, hat C. S. MRNDLEMISS<sup>1</sup> eine solche //c, in Schnitten die b und c zeigen, beobachtet und abgebildet (a. a. O., Fig. 2, Taf. IV). Unser Material läßt im Dünnschliff zumeist nichts davon erkennen, nur unregelmäßige Risse quer durch die Kristalle; isolierte Fragmente von solchen

---

<sup>1</sup> C. S. MRNDLEMISS, Note on a Sapphirine-bearing Rock from Yizagapatam-District. Rec. Geol. Surv. India. 31. 1904. p. 38.

zeigen unregelmäßig muschligen Bruch. Aber einzelne Schnitte findet man in fast jedem Schliff, welche ganz deutlich einige scharfe - wenn auch meist bald absetzende - Spaltrisse // (010) zeigen. Ebenso ist auf dieser Fläche unter der Lupe öfters eine Stufung festzustellen, welche wohl nur auf ein Abblättern nach Spaltrissen zurückgeführt werden kann (Beobachtung von Dr. **VIARCHET**). Es muß also das Vorhandensein einer, freilich wenig vollkommene Spaltbarkeit nach (010) anerkannt werden.

Im Gegensatz zu dem von anderen Fundorten Bekannten sind Zwillingsbildungen ziemlich verbreitet, sowohl in Gestalt einfacher Verwachsungen als auch von eingelagerten Lamellen; zu einer mehrfachen Wiederholung solcher kommt es jedoch nicht.

Die Zwillingsgrenze verläuft in vielen Fällen parallel zur Achsenebene, d. h. zu (010); diese Fläche ist mithin Verwachsungsebene. Andere Individuen zeigen jedoch die Zwillingsgrenze schief zur Achsenebene, ohne daß leider eine genauere Orientierung möglich gewesen wäre. Es läßt sich mithin vorläufig nur sagen, daß die Zwillingsbildungen verschiedenen Gesetzen folgen.

Leider blieben Versuche, die Brechungsindizes des Sapphirins mit dem Refraktometer zu bestimmen, ergebnislos, da es nicht gelang, hinreichend große Individuen aufzufinden und zu isolieren. So blieb nur übrig, einen mittleren Wert der Lichtbrechung mit Hilfe der Einbettungsmethode (in mit Benzol verdünntem Methyljodid) zu bestimmen. Derselbe ergab sich zu 1,711 (in weißem Licht), was sehr gut mit den vom grönländischen Sapphirin bekannten Werten übereinstimmt.

Die Farbe ist auch noch in dünnen Schliffen schön blau, mit auffälligem Pleochroismus:  $c > 6$  himmelblau,  $> a$  unrein gelblichweiß.

Die Doppelbrechung ist schwach, jedenfalls unter 0,01. Schnitte  $J_a$  zeigen häufig intensiv blaue, anomale Interferenzfarben; im übrigen bewegen sich diese im Bereich des Grau bis (in dickeren Schliffen) Gelb der 1. Ordnung.

Bezüglich der optischen Orientierung kann leider nur wiederholt werden, daß die Achsenebene in (010) liegt. Eine Feststellung der Auslöschungsschiefe auf dieser Fläche scheidet daran, daß im Dünnschliff keine Richtung erkennbar ist, auf die man jene hezigen könnte.

Der Achsenwinkel wurde nach dem BECKE'schen Zeichentischverfahren gemessen. Schwierigkeiten bereiteten dabei einmal die geringe Schärfe der Achsenbilder, andererseits der Austritt entweder der Achse oder der Mittellinie nahe am Rande des Gesichtsfeldes in allen verfügbaren Schnitten. Immerhin führten die Messungen an drei verschiedenen Individuen nahezu auf den gleichen Wert:  $2V = 51^\circ$ . Sehr große Genauigkeit darf diese Zahl der erwähnten Umstände halber nicht beanspruchen; im Hinblick auf den zweitgenannten Umstand ist sie wahrscheinlich zu klein.

Sehr deutlich ist die Dispersion  $e < u$ ; die erwähnte anomale Farbe in Schnitten nahe  $J_a$  dürfte wesentlich auf sie zurückzuführen sein.

#### IV. 1. Chemische Untersuchung des Sapphiringesteins.

Analysen von Sapphiringesteinen sind nur wenige bekannt. Es seien im folgenden zwei vollständige chemische Analysen des Gesteines (normaler Typus) vom Val Cordera mitgeteilt; eine ältere, recht unvollständige Analyse eines sapphirinführenden Gesteines aus dem Vizagapata m-Distrikt, Präsidentschaft Madras, Ostindien, findet sich unter I angegeben.

Es wäre durchaus fehlerhaft, von einem so grobkörnig porphyrischen Gestein, wie es unser Sapphiringestein ist, ein kleines Bruchstück zur chemischen Untersuchung zu bringen, da die chemische Analyse dann nur auf die zwischen den bis 15 mm großen Granateinsprenglingen gelegenen Zwischenpartien beschränkt bliebe; andererseits war es notwendig, die zu untersuchenden Gesteinsbruchstücke von den hauptsächlich aus Kalifeldspat bestehenden Äderchen, welche unverhältnismäßig viel Kieselsäure und Alkalien in der Analyse gebracht hätten, zu befreien. Um daher möglichste Homogenität des Analysenmaterials zu erzielen, wurde eine frische Gesteinsprobe von ca. 1 kg Gewicht, frei von den oben erwähnten Beimengungen, auf zunächst 1 mm Korngröße gebracht, nach den Regeln der Probenahme<sup>1</sup> quartiert, bis eine Durchschnittsprobe von 200 g erhalten war, diese auf 0,1 mm Korngröße

<sup>1</sup> A. LEDEDOUR, Leitfaden der Eisnhüttenindustrie. 1. 1922.

weitergemahlen und in zwei gleich große Portionen geteilt; jeder dieser Teile wurde analysenfein pulverisiert und analysiert.

Die Ergebnisse der Analysen finden sich unter IIa und IIb angegeben.

Die chemischen Analysen wurden nach den bewährten Methoden W. F. HILLEBRAND's<sup>1</sup> ausgeführt, mit einigen Abänderungen, die hier kurz mitgeteilt werden mögen:

Der Aufschluß der Sesquioxyde erfolgte nach dem von J. JAKOB<sup>2</sup> empfohlenen Verfahren mit einem Borax-Sodagemisch im Verhältnisse 1 : 3; dieses Gemisch eignet sich tatsächlich ausgezeichnet, um die sich leicht kolloidal ausscheidende Titansäure glatt in Lösung zu bringen; es ist abei- unnötig und sogar schädlich, mehr als die 10fache Menge (auf die ausgewogenen Sesquioxyde bezogen) Aufschlußmittel zu verwenden. Ferner zeigte es sich, daß bei größeren Mengen Mangan (über 1%) stets ein Teil (als  $Mn_3O_4$ ) sich im Sesquioxydniederschlag befindet; der Rest ist dem Calciumoxalat- und Magnesiumpyrophosphatniederschlag als  $Mn_3O_4$  bzw.  $Mn_2P_2O_7$  beigemischt; in letzteren beiden kann das Mangan sehr rasch kolorimetrisch bestimmt werden; im Sesquioxid-Niederschlag<sup>3</sup> wird man das Mangan nach dem Aufschlusse mit Soda-Borax und Lösen in Schwefelsäure (1 : 2) am besten in einer aliquoten Menge der auf 250 bzw. 500  $cm^3$  aufgefüllten Lösung ( $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ , Spuren  $Mn_3O_4$ ) zweckmäßig ebenfalls kolorimetrisch feststellen können.

Hat man das Mangan auf diese Art ermittelt (was übrigens wenig Arbeit macht), so kann die Gesamtsumme Mn O immer noch kontrolliert werden in der für die Ermittlung der Zirkonsäure bestimmten Probe (S, Mn, Ba, eventuell  $ZrO_2$ ), falls eine genaue Ermittlung dieses Oxydes besonders wünschenswert erscheint.

---

<sup>1</sup> W. F. HILLEBRAND, The Analysis of Silicate and Carbonate rocks, Washington, 1919.

• J. JAKOB, Zs. f. Krist. **64**, 438. 1927.

<sup>2</sup> Mit den Sesquioxyden kann das Mangan, wenn seine Menge die in Eruptivgesteinen übliche nicht übersteigt, quantitativ ausgefällt werden, wenn man die salzsaure Lösung mit Ammoniak versetzt und hierauf Bromwasser zufügt, wobei man nach E. V. HOLT und H. F. HARWOOD (Min. Mag. **21**, **118**, 318-323. 1927) immer gleichzeitig etwas Ammoniak zugibt, um die entstehende Säure zu binden. Im Niederschlag wird das Fe, Al und Mn in der üblichen Weise getrennt.

Die Titansäure ermittelte man vor der Eisentitration und nicht wie dies sonst üblich ist, nach dieser Bestimmung. Es ist nämlich immer Gefahr vorhanden, daß bei der Reduktion des Eisens Titansäure ausfällt und der Bestimmung verloren geht, besonders dann, wenn diese Reduktion mit Schwefelwasserstoff vorgenommen wird.

Die Bestimmung der Alkalin erfolgte nach J. LAWRENCE SMITH, die Bestimmung des Wassers nach dem Verfahren Wollbrosn-PENFIELD. Das Eisenoxydul wurde nach den Angaben J. JAKOB<sup>1</sup> ermittelt mit dem Unterschiede, daß an Stelle des üblichen Tondreieckes ein durchsiebter Kupferring, der eine raschere Verdrängung der Luft gestattet, benutzt wurde.

Bei der Analyse des Granats wurde auch auf Ni, Co und seltene Erden, sowie Cr und Vd geprüft. Hierbei leisteten uns die analytischen Angaben J. UHLIG<sup>2</sup> ausgezeichnete Dienste.

Zur Wasserbestimmung im Sapphirin wurde nach Trennung des Minerals von Biotit, Cordierit und Feldspat 0,5 g reine Substanz gebracht und dieselbe im PENFIELD-Rohr vorgenommen; das Experiment bestätigte das in der Analyse angegebene und durch Glühverlust erhaltene Resultat, wenn man die dem gefundenen Eisenoxydul äquivalente Menge Sauerstoff berechnete und dem ermittelten Glühverlust hinzuaddierte:  $1,60 \frac{3}{4} \text{H}_2\text{O}$  nach PENFIELD gegenüber  $1,12 \frac{3}{4} \text{H}_2\text{O}$  durch Glühverlust. Das Verhältnis: Summe der Oxyde (Mg, Fe, Ca, Mn) O:H<sub>2</sub>O war im Sapphirin wie 5:1.

Das spezifische Gewicht des Gesteins wurde von Assistent Dr. E. HARBICH mittels der hydrostatischen Waage bestimmt. Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Minerals Sapphirin erfolgte mit dem Pyknometer bei 16° C. Die Dichte des Gesteines war 3,019, die Dichte des Sapphirin nach der möglichst vollständigen Reinigung des Minerals 3,31. Für Sapphirin von Fiskernäs, Grönland, ist die Dichte nach N. V. USSENG<sup>3</sup> 3,486.

<sup>1</sup> J. JAKOB, J. C. p. 445.

<sup>2</sup> J. UHLIG, Verhandl. d. naturhist. Vereines d. preuß. Rheinl. II. WeYfal. 67. Jahrg. 307. 1910.

<sup>3</sup> N. V. Usse-w, Z. f. Köt. lo. 596. 1889.

	Vizagapatam<listrikt		Val Co		Mittel aus II a u. II b nach Ab- zug des H <sub>2</sub> O auf 100 ber.	Mol- Quot. 10 000
	I <sup>1</sup>	10 000	II a	II b		
f	3,27	—	3,01!)	3,01!)	—	—
Si O <sub>2</sub>	35,90	5954	39,81	40,07	39,93	G 22
Ti O <sub>2</sub>	—	—	0,81	0,93	0,87	109
Zr O <sub>2</sub>	—	—	0,10	0,09	0,09	7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,91	3220	26,02	25,82	25,91	2535
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	5,29	5,51	5,40	338
Fe O	9,1G	1275	5,07	4,89	4,98	6,93
MnO	0,40	5G	0,12	0,10	0,11	15
Ca O	—	—	1,21	1,31	1,30	232
MgO	21,40	5307	17,31	17,17	17,24	4276
KaO	—	—	2,15	2,35	2,25	239
Na <sub>2</sub> O	—	—	1,11	1,01	1,06	171
H <sub>2</sub> O +	} 0,60	333	0,80	0,78	0,79	438
H <sub>2</sub> O -			0,10	0,10	—	—
Pa O <sub>5</sub>			0,03	0,03	0,03	2
s	—	—	0,04	0,04	0,04	5
Summe	100,37		100,7	100,20	100,00	

Die aus den Analysen berechneten NIGGLI'schen Molekularwerte lauten:

Nr.	si	al	fm	c	alk	k	mg	Jc/fm	ti	
I	6,04	32,66	67,34	-	-	-	0,80	-	-	Sapphiringestein Vizagapatamdistrikt, Madras, Ostindien
II	75	28,7	64,0	2,6	4,6	0,58	0,75	0,04	1,2	/sapphiringestein Val Codera, Chiavenna, Italien. h = 4,97; p = 0,2; z = 0,7; si' = 118; φ = - 4 3.

<sup>1</sup> H. ROSENBUSCH, Elemente der Gesteinslehre. 747. 1923: analysiert T. L. WALKER und W. H. COLLINS, Records Geol. Surv. India. 36. 1-18. 1907; ref. Zs. f. Krist. 48. 681. 1911.

• In Fe O auch Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mitbestimmt.

<sup>3</sup> Analysiert E. DITTLER

t Mangan und Calcium finden sich fast zur Gänze in den makroskopischen Granatporphyroblasten.

Die F. BECKE'schen Zahlen berechnet für das Gestein der Analyse II sind:

$$\begin{aligned} &= 33,3 \\ &= 7,2 \\ // &= 31,3 \end{aligned}$$

Die negative Quarzzahl müßte Feldspatvertreter verlangen oder ein außerordentlich biotitreiches Gestein; beides ist nicht der Fall, denn hierzu sind zu wenig Alkalien vorhanden. Der im Gestein, wenn auch in nur geringer Menge sich findende Quarz steht nicht im Einklange mit der Basizität des Gesteines, wie auch die Lage der F. BECKE'schen Zahlen  $\Sigma$ ,  $\Sigma'$  und  $V'$  im Konzentrations-Tetraeder beweist.

Die Si-U-L-Werte nach F. BECKE sind:

für das Gestein vom V i z a g a p a t a-m-Distrikt: Si 31,4,  
U 67,8, L (?) 1,

für das Gestein von Val Coder a: Si 36,4, U 57,9, L 5,7.

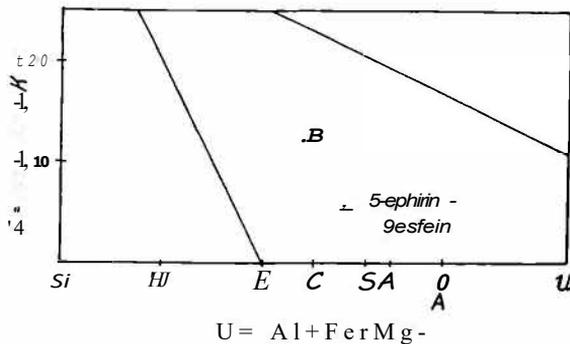


Fig. 4: Si-U-L-Dreieck

E = Enstatit, C = Cordierit, S = Serpentin, A = Almandin,  
0, A = Olivin, Andalusit, B = Biotit.

Mit dem oben beschriebenen Mineralbestand in gutem Einklang stehen die Zahlen für al und fm

Daß es sich um ein durchaus a b n o r m a l e s Gestein handelt, geht ganz besonders aus der Lage des Projektionspunktes im Si-U-L-Dreieck<sup>2</sup> hervor, wo die betreffenden Punkte sämtlich in

<sup>1</sup> In dieser Analyse ist die Bestimmung des Calciums sowie der Alkalien nicht mit angegeben. Die Berechnung der Si-U-L-Zahlen für das Gestein von Val Coder a hat in freundlichster Weise Herr Dozent A. KöHLER überprüft.

<sup>2</sup> F. BECKE, Denkschr. d. Kais. Akad. d. Wissensch. 75. 1. 194. 1913. Eine Berechnung des Mineralbestandes des Gesteins aus den Molekularquotienten wurde in Hinsicht der stark wechselnden und z. T. unbekanntenen

das Sedimentfeld zu liegen kommen, und zwar in die Nähe der für derartige Kontaktgesteine charakteristischen Mineralparagenese Biotit, Bronzit, Cordierit, Almandin und Andalusit (bzw. Sillimanit); hierfür ist auch das Auftreten des seltenen, instabilen Verhältnissen entsprechenden Mineralen Sapphirin charakteristisch.

Eine interessante Analogie mit dem Chemismus unseres Gesteins besitzen die von C. E. TILLEY beschriebenen Kontaktgesteine von Comrie des Hochlandes von Perthshire <sup>1</sup>

Die NIGGLI'schen Zahlen eines besonders fin-reichen Gesteines von Glen Lendnock (Comrie) lauten nach C. E. TILLEY: si 85; al 27, fin 56,5, c 9,5, alk 7; k 0,43, mg 0,52, c/fm 0,17 <sup>2</sup>.

Auch in der dort beschriebenen Mineralparagenese (Hypersthen, Cordierit, Spinell neben Biotit und Plagioklas), die mit den für Cordierit-, Sillimanit- und Spinell-Korundhornfels, sowie Cordierit-, granatgneisen charakteristischen katogenen Mineralassoziationen <sup>3</sup> keineswegs vereinbar ist, kommt die Ähnlichkeit mit unserem Gestein auffällig zum Ausdruck.

## IV. 2. Chemische Untersuchung der Mineralien Sapphirin und Pyrop.

### A. Der Sapphirin.

Die Gewinnung genügend reinen Sapphirin-Materials aus den Handstücken war nicht leicht. Die Trennung von den anhaftenden Beimengungen, insbesondere Cordierit und Orthoklas, konnte z. T. mit einem heißen Gemisch von Schwefelsäure-Flussäure durchgeführt werden, in welchen Säuren das blaue Sapphirinpulver nahezu unangegriffen zurückbleibt, während sich alle anderen Mineralien rasch auflösen <sup>4</sup>. Die gesammelten

Zusammensetzung der Mineralkomponenten nicht ausgeführt. Aus der Lage des Analysenortes des Gesteins im Si-U-L-Dreieck ergibt sich eine durchaus befriedigende Übereinstimmung des Mineralbestandes mit dem Gesteinschemismus.

<sup>1</sup> Quart. Journ. Geol. Soc. 80. 22 ff. 1924.

<sup>2</sup> Zit. bei P. NIGGLI, Die Gesteinsmetamorphose p. 392. 1924.

<sup>3</sup> Siehe hierzu das Dreistoffsystem MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>, von G. A. RANKIN, Am. Journ. of sci. 45. 301. 1918.

<sup>4</sup> Hier könnte auch Spinell zurückbleiben, der wie der Sapphirin schwer aufschmelzbar ist; Spinell fehlt dem analysierten Gestein aber vollkommen.

Kriställchen - etwa 0,5 g für die Borbestimmung und 0,5 g für die Hauptanalyse - wurden auf Korngröße 0,1 mm gebracht und mittels schwerer Lösung (Baryumquecksilberjodidlösung, o 3,59) weiter gereinigt. Sapphirin mit der Dichte 3,31 bleibt nach Verdünnen dieser Lösung mit einer zweiten, weniger konzentrierten darin schweben und kann im H. LASPEYRE'schen Apparat von den verunreinigenden Beimengungen befreit werden; nur Granat und Bronzit haben annähernd die gleiche Dichte wie Sapphirin; die Trennung von diPsen erfolgt aber leicht mitrils der Pinzette schon unter dem Binokularmikroskop.

Das schließlich erhaltene azurblaue Mineralpulver erwies sich bei der Untersuchung unter dem Binokularmikroskop als reiner Sapphirin. Es wurden zwei Parallelanalysen angefertigt (0,3045 und 0,4079 g Material), daraus das Mittel berechnet und nach Abzug des hygroskopischen Wassers die gefundenen Zahlen gleich 100 gesetzt:

## Sapphirin-Analysen

	A.	R	Mittel aus A II II	Nach Abzug des hygro- skop. H <sub>2</sub> O anf 100 ber.	100.-Quot.
Si O . . . . .	15,22	15,16	15,19	15,21	2,554
Ti O . . . . .	0,21	0,21	0,25	0,25	
Als O <sub>3</sub> . . . . .	61,54	61,84	61,69	61,76	6,043
Fe O . . . . .	4,30 <sup>1</sup>	4,32	4,31	4,32	0,00,
Mn ü . . . . .	0,14	0,10	0,12	0,12	0,017
Ca O . . . . .	0,47	0,51	0,49	0,49	0,087
Mg ü . . . . .	16,33	16,13	16,23	16,25	4,025
H <sub>2</sub> O + . . . . .	1,60 <sup>2</sup>	1,60	1,60	1,60	0,888
H <sub>2</sub> O - . . . . .	0,20	0,18	0,19	—	0,888
Summe . . . . .	100,01	100,13	100,07	100,00	

Im Gegensatz zu der Analyse von A LACROIX<sup>3</sup> enthält unser Sapphirin weniger Magnesia und beträchtlich mehr Eisen-

<sup>1</sup> Alles Eisen als Fe O berechnet; es usetzt offenbar die Magnesia.

• Angesichts der geringen, verfügbaren Menge in der Analyse zunächst als Glühverlust bestimmt (1,12 %); Kontrolle im Penfieldrohr ergab 1,60 %; über die Borbestimmung siehe weiter unten; das Mineral wird beim Glühen schwach grau, um beim Abkühlen wieder den azurblauen Farbenton anzunehmen.

<sup>1</sup> A. LACROIX fand für Sapphirin von Itrongahy (Madagaskar): Si O, 14,90, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 62,55, Fe O 1,78, Ca O -, Mg O 21,20. C H 155. 672. Hll2.

oxydul, während die Werte für die Kieselsäure und Tonerde fast ident sind: 62,55 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und 14,90 %  $\text{SiO}_2$  bei A. LACROIX gegen 61,76 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und 15,21 %  $\text{SiO}_2$  in unserer Analyse.

A. LACROIX stellte folgende Formel auf:



Die Analyse von N. V. Ussrna führt für das Vorkommen von Fiskernäs (Grönland) zu der Formel  $5 \text{MgO} \cdot 6 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$  bzw.  $\text{Mg}_{10} \text{Al}_{24} \text{Si}_4 \text{O}_{57}$ ; die übrigen für Sapphirin angegebenen Formeln schwanken in ihrer Zusammensetzung von  $9 \text{MgO} \cdot 10 (\text{Al, Fe, B})_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{SiO}_2$  bis zu  $10 \text{MgO} \cdot 12 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{SiO}_2$ . Gewisse Sapphirine enthalten Bor.

Geringe Mengen Bor wurden z. B. von A. LACROIX und DE GRAMONT<sup>2</sup> im Sapphirin von Itrongahy auf Madagaskar (0,75%) festgestellt und auch der Sapphirin von Fiskernäs (Grönland) soll geringe Mengen Bor enthalten.

Die Borbestimmung an unserem Mineral, ausgeführt nach der Methode von ROSENBLADT-GOOCH<sup>3</sup>, wurde im wässrigen Auszug einer Sodaschmelze von je ca. 0,5 g des Minerals vorgenommen. Die Lösung wurde auf ein kleines Volumen eingedampft, mit Salzsäure eben angesäuert, hierauf ein Tropfen Natronlauge und hernach einige Tropfen Essigsäure hinzugefügt und ohne Rücksicht auf die sich ausscheidende Kieselsäure direkt in die Gooch'sche Retorte gebracht; der allenfalls sich bildende Borsäuremethylester  $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$  wurde über Kalk aufgefangen, bei Gegenwart von Wasser zu  $\text{B}(\text{OH})_3$  umgesetzt und als Calciumborat gewogen.

In beiden Versuchen wurde eine geringe Gewichtszunahme festgestellt; in einem dritten Versuche wurde diese Zahl zu 0,0037 g gefunden. Das geglühte und gewogene „Calciumborat“ wurde wieder in den Methyl-Ester verwandelt und in der Wasserstofflampe auf Bor geprüft; die Empfindlichkeit dieser Probe liegt noch unter 0,01 mg Borsäure. Während der Sapphirin von

<sup>1</sup> Z. f. Krist. 605. 1889.

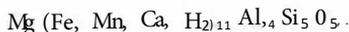
• C. DOELTER, Min. Chemie II. 2. 628. 1917 und H. ROSENBUSCH-O. MÜGGE, Mikroskopische Physiographie. 1. 2. 442. 1926.

<sup>3</sup> Zeitschr. analyt. Chemie. 26. 18 und 364. 1887 und F. P. TREADWELL, Analytische Chemie. 363. 1923; siehe auch die ausführlichen Bemerkungen hierüber in W. F. HILLEBRAND, The Analysis of Silicate and Carbonate rocks. Washington. 234. 1919.

Fiskernäs (Grönland) eine deutliche Reaktion gab - bei spektroskopischer Beobachtung des in  $H_2SO_4$  gelösten Calciumborates zeigte sich ein helles, diffuses Bandenspektrum im Grün - blieb die Reaktion bei unserem Sapphirin auch nach mehrmaligem Versuche völlig aus<sup>1</sup>. Zur weiteren Kontrolle sandten wir ein durch Schmelzen mit Soda aufgeschlossenes Sapphirinpräparat (etwa 0,5 g) an Herrn Dr. F. LöwE (Carl Zeiß-Werke, Jena), welcher das Präparat mit Hilfe des Quarzspektrographen<sup>2</sup> auf Bor und Phosphor prüfte, aber weder beim Verdampfen zwischen Kohlelektroden in trockener Form, in wässriger und saurer Lösung, noch zwischen Goldelektroden eines dieser Elemente fand<sup>3</sup> Bor war also in unserem Mineral in analytisch bestimmbaren Mengen nicht vorhanden, und da auch Fluor fehlte, so könnte der Glühverlust unter Berücksichtigung der Oxydation des Fe O ohne weiteres als Wasser in Rechnung gestellt werden.

Das Mineral enthält also weder Borsäure noch Phosphorsäure<sup>4</sup>, aber Wasser, das erst bei hoher Temperatur ausgetrieben werden kann.

Setzt man für die stöchiometrische Berechnung der Formel die Summe der Molekularzahlen  $Si O_2 + Ti O_2 = 5$ , so ergeben sich für die übrigen Molquotienten, wenn man unter  $RO : Mg O, Fe O, Mn O, Ca O$  und  $H_2 O^+$  zusammenfaßt, die Werte:



Die chemische Zusammensetzung unseres Minerals ist demnach nahezu ident mit der von A. LACROIX<sup>5</sup> aufgestellten Sapphirin-formel:  $11 RO . 12 Al_2 O_3 . 5 Si O_2$  Für die obige Formel be-

<sup>1</sup> Die oben festgestellte Gewichtszunahme kann daher nur auf die Hygroskopizität des geglühten Ca O bzw. auf Aufnahme von Kohlensäure durch Calciumoxyd zurückgeführt werden; bei Anwendung von Natriumwolframat an Stelle von Ca O erfolgte diese Gewichtszunahme nicht. (Siehe hierzu F. A. Gooch, Chem. News. 55. 7. 1887.)

<sup>2</sup> F. LöwE, Optische Messungen in „Technische Fortschrittsberichte“. Dresden 1925.

<sup>3</sup> Wir erlauben uns bei dieser Gelegenheit den C. Zeiß-Werken unseren besten Dank für die Freundlichkeit, mit welcher sie die Untersuchung übernahmen, auszudrücken.

• Siehe hierzu C. HINZE, Min. II. 435. 1897.

<sup>5</sup> C. R. 155. 672. 1912; Min. France. 5. 74. 1913.

rechnet und den Molprozenten aus der Analyse gegenübergestellt sind die Zahlen folgende:

	Mol.-% der Analyse	Berechnet für 11 R 0.12 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> • 5 Si O <sub>2</sub>
Si O <sub>2</sub> . . . . .	17,86	17,86 = 5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	42,86	42,86 = (5 x 2,4)
Fe O . . . . .		—
Mn ü . . . . .		
Ca O . . . . .		39,29 = (5 x 2,2)
MgO . . . . .		
H, O . . . . .		
Summe . . . . .	100,00	100,01

Die Übereinstimmung mit den aus der Analyse gefundenen Werten ist also für die gewählte Formel eine vollkommene.

## B. Der Granat.

Das Gestein enthält als Porphyroblasten zahlreiche weinrote, gerundete Granaten bis zu mehreren Zentimetern Durchmesser.

Wie die chemische Untersuchung zeigte, handelt es sich um einen Pyrop mit hohem Eisenoxydul-, aber ohne den für dieses Mineral meist charakteristischen Chromoxydgehalt.

Das Grossular- und Spessartin-Molekül ist nur in untergeordneter Menge vorhanden.

Etwas Tonerde ist durch Eisenoxyd vertreten (Andraditmolekül).

Für die Analyse wurde das Mineral aus dem Gestein herauspräpariert, auf etwa 1 mm Korngröße gebracht und unter dem Binokularmikroskop so weit als möglich von anhaftendem Biotit befreit.

Da dieses Mineral nahezu immer als Einschluß im Granat (häufig mikropoikilitisch verwachsen) gefunden wurde, so wurde das auf etwa 0,1 mm gebrachte Granatpulver im H. LASPEYRES'schen Scheidetrichter mittels Jodmethylen (D 3.33 bei 16° C)<sup>1</sup> zunächst von diesen Einschlüssen getrennt. Da die Dichte unseres Minerals an einschlußfreien Körnchen im Pyknometer zu 3,84<sup>2</sup> ermittelt

<sup>1</sup> Durch fraktionierte Destillation im Vakuum auf die maximale Dichte gebracht.

<sup>2</sup> Die eisenreicheren Pyrope besitzen eine Dichte von 3,6-3,7 aufwärts, Glimmreinschlüsse drücken die Dichte herunter.

wurde, so bot die Trennung von dem Glimmer keine besondere Schwierigkeit.

Das gereinigte Mineral wurde nochmals unter dem Binokular geprüft und nun genügend analysenrein befunden.

Der zu einem feinen Pulver zerriebene Granat schmilzt auf dem Platinbleche nicht und sintert vor dem Lötrohr nur langsam zusammen. Hierbei oxydiert sich nahezu alles Eisenoxydul zu Eisenoxyd.

Die Lichtbrechung des Granats erwies sich noch etwas größer als Jodmethylen (1,74). Nach der Methode von E. S. LARSEN<sup>1</sup> in geschmolzenem Piperin-, Jodgemisch (25 % J) Prgab sich n zu 1,758.

Die Analysen ergaben:

	I.	II.	llfol.-Quot.	
Si O <sub>2</sub> . . . . .	39,04	39,09	0,983	} 6,49 0
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,12	0,12	0,012	
Ala O <sub>3</sub> . . . . .	19,90	19,93	1,950	} 2,266
Fra O <sub>3</sub> . . . . .	5,03	5,04	0,316	
FeO . . . . .	19,13	19,16	1,667	} 6,731
MnO . . . . .	0,17	0,17	0,024	
MgO . . . . .	13,97	13,99	3,470	} 6,731
Ca O . . . . .	2,17	2,17	0,387	
H <sub>2</sub> O - 110° . . . . .	0,25	—	—	
H <sub>2</sub> O + 110° . . . . .	0,33	0,33	0,183	
Summe . . . . .	100,11	100,00		

Aus dem Molekularverhältnis errechnet sich

$$R O : R_2 O_3 : R O_3 = 2,86 : 1 : 2,97,$$

welches der Granatformel nahezu entspricht<sup>3</sup>

<sup>1</sup> E. S. LARSEN, The microscopic determinations of the nonopaque minerals. Washington 1921.

<sup>2</sup> I. lufttrocken, II. nach Abzug des H<sub>2</sub>O - 110° auf 100 berechnet. Der Hauptaufschluß wurde mit einer Gewichtsmenge von 0,4675 g ausgeführt. Auf Chrom, Zirkonerde und seltene Erden wurde in einer besonderen Einwage von 0,8 g gesucht und dieser Anteil mit Soda-Salpeter aufgeschlossen. Das Eisenoxydul wurde in 0,7561 g Einwage durch Aufschluß mittels Schwefelsäure - Flußsäure bestimmt. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und seltene Erden wurden nicht festgestellt.

<sup>3</sup> Ein kleines Manko an Si O<sub>2</sub> und R O ist vermutlich auf die etwas zu hohe Zahl für die Sesquioxyde (teilweise Oxydation von Fe O zu Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) zurückzuführen.

Unter Vernachlässigung der geringen Menge Konstitutionswasser ergibt sich somit folgende Zusammensetzung unserer Granaten in Molprozenten:

Pyrop . . . . .	52,99 %
Almandin . . . . .	40,73
Grossular . . . . .	5,91 <sup>1</sup>
Spessartin . . . . .	0,37
Summe. . . . .	<u>100,00</u>

Der Granat wäre sonach unter die Gruppe der Pyrope einzureihen <sup>2</sup>. Der Granat des Sapphiringesteines ist außerordentlich manganarm; diese Armut an Spessartin entspräche durchaus der von H. E. BoEKE und W. EITEL aufgestellten Annahme einer Mischungslücke zwischen Magnesiumton- (Pyrop) und Mangantongranat (Spessartin) <sup>3</sup>. Dagegen zeigt sich auch hier wieder die lückenlose Mischbarkeit zwischen Pyrop und Almandin.

W. E. FoRD <sup>4</sup> hat bekanntlich unter Benützung des Ergebnisses der H. E. BoEKE'schen Statistik, wonach gewisse Mischungen in der Natur fehlen, aus der Brechung und Dichte einiger Mischungen die chemische Zusammensetzung der Granate zu bestimmen versucht; wenn durch qualitative Proben die Hauptkomponenten festgelegt sind, dann ließe sich nach den Angaben W. E. FoRD's aus  $n$  und  $d$  die chemische Zusammensetzung des Minerals ermitteln. C. H. STOCKWELL <sup>5</sup> hat diese Methode mit Hilfe der Röntgenstrahlenanalyse ergänzt und H. v. PmuPSnoRN <sup>6</sup> hat neuerdings in einer sehr schönen Arbeit die Beziehungen zwischen Lichtbrechung, Dichte und chemischer Zusammensetzung der Granaten graphisch auch für Vierstoffsysteme exakt zur Darstellung gebracht.

H. v. PmuPSBORN gibt nun für eine Mischung, bestehend aus etwa 53 Mol.-% Pyrop, 41 Mol.-% Almandin und 6 Mol.-% Grossu-

<sup>1</sup> Mit Andradit.

<sup>2</sup> FR. HERITSCH, Studien über den Chemismus der Granaten; dies. Jb. Beil.-Bd. LV. 75. 192G.

<sup>3</sup> H. E. BoEKE, Z. f. Krist. 52. 175. 1913 und 53. 149. 1913. W. EITEL, Z. f. Krist. 56. 526. 1921.

• W. E. FoRD, Am. Journ. Sci. 40. 33. 1915.

<sup>5</sup> C. H. StockWELL, The Amer. Mineral. 12. 327. 1927. Bezüglich der Lichtbrechung siehe die kritischen Bemerkungen von O. MÜGGE in H. RosENBUSCH, Mikroskopische Physiographie. 1. 2. 44. 1927.

<sup>6</sup> H. v. PmLIPSDORN, XL. Hd. d. math.-phys. Kl. d. silrh. Akad. d. Wiss. 1928.

lar eine Dichte von 3,84 und eine Lichtbrechung von etwa 1,76 an; unter Berücksichtigung der oben erwähnten Glimmercinschlüsse, welche der Granat führt, stimmen also unsre Zahlen gut zu der H. v. Pml1PSBORN'schen Darstellung.

## V. Vergleichung der Paragenesen aller bisher bekannten Sapphirinvorkommen.

Sie finden sich in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt. Es ist dazu folgendes zu bemerken: Hauptgemengteile des betreffenden Vorkommens sind einfach, wenn besonders reichlich vorhanden doppelt unterstrichen, zurücktretende Gemengteile unterbrochen unterstrichen, spärlich vorhandene Akzessorien in Klammern. Wo keines dieser Zeichen angewandt ist, fehlen Angaben über die Mengenverhältnisse. Der Orthoklas, Plagioklas und Quarz des hier behandelten Vorkommens sind, als streng genommen nicht zum Gestein gehörig, weggelassen.

Wie man sieht, gleicht unser Vorkommen am meisten dem grönländischen<sup>1</sup>, insbesondere dem ersten Typus von Fiskernäs. Unterschiede bestehen freilich auch: im einen Fall Pyrop und Sillimanit, im anderen Anorthit und Kornerupin, auch tritt dort der Cordierit viel stärker zurück. Rhombische Pyroxene und Amphibole vikariieren im einen wie im anderen Falle; leider fehlt jeder Anhaltspunkt, um zu beurteilen, worauf dies bei Fiskernäs beruht. überhaupt scheint uns eine geologische Neuuntersuchung - womöglich Kartierung - des dortigen Vorkommens recht wünschenswert; denn die Angabe, daß das Sapphiringestein dortselbst kleine Lagermassen und Linsen in Gneis und Glimmerschiefer bilde, läßt Vermutungen über Verband und Genese des ersteren einen weiten Spielraum. Sicher scheint nur zu sein - schon das Gefüge des Gesteins weist darauf hin -, daß es sich auch bei Fiskernäs um ein metamorphes Vorkommen handelt, so daß auch in genetischer Hinsicht mindestens eine gewisse Analogie mit Val Codera besteht.

Schon wesentlich geringer sind die Ähnlichkeiten mit dem Vorkommen von Vizagapatam (Ostrand der indischen Halb-

<sup>1</sup> N. V. UssING, a. a. 0.



insel) 1, für welches das starke Hervortreten des Spinells charakteristisch ist. Immerhin bestehen noch Ähnlichkeiten in der Paragenese mit Hypersthen und z. T. Sillimanit; auch genetisch insofern, als es sich auch dort strenggenommen um ein metamorphes Vorkommen handelt - der Sapphirin ist gebunden an den Kontakt basischer Glieder der Charnokitserie mit sillimanitreichen Schiefen, wenn er auch - mindestens teilweise - aus dem Magma auskristallisiert ist, wohl infolge der Resorption des Nebengesteins.

Gänzlich abweichend liegen dagegen die Verhältnisse bei dem k a n a d i s c h e n Fundort St. Urbain<sup>2</sup> mit seiner absonderlichen Mineralvergesellschaftung. Dieselbe wird auf primär magmatische Ausscheidung in ultrabasischen Differentiationsprodukten eines Anorthosits zurückgeführt.

Ebenfalls abweichend ist die Paragenese von Itrongahy auf Madagaskar<sup>3</sup>; doch ist sie nur aus losen Stücken und mithin vielleicht nicht vollständig bekannt. Über die geologischen Verhältnisse dieses Fundorts läßt sich gar nichts aussagen.

Endlich sind noch zwei weitere, unvollständig bekannte Vorkommen zu erwähnen. Von dem einen (Cortland) wird nur mitgeteilt<sup>4</sup>, daß es sich um ein Cordierit-Sillimanit-Gestein metamorpher Natur handelt. Es besteht somit die Möglichkeit, daß dieses Vorkommen in ziemlich weitgehendem Maße dem unseren analog sein könnte; um so mehr ist es zu bedauern, daß uns nähere Angaben darüber nicht vorliegen.

Endlich ist noch durch L. L. FERMOR<sup>5</sup> aus dem Bhandara-Distrikt in Zentralindien ein Vorkommen bekanntgeworden von so absonderlicher Paragenese, daß ein darauf bezüglicher Zweifel nicht unterdrückt werden kann: ob nämlich der angegebene Quarz nicht etwa unrichtig bestimmt und in Wirklichkeit vielmehr Cor-

<sup>1</sup> C. S. MIDDLEMISS, a. a. 0. - T. C. WALKER and W. H. COLLINS, Petrolog. Study of some rocks from the Hill Tracts, Vizagapatam District, Madras Presidency. Rec. Geol. Surv. India. 36. 1907. (1908.) p. 1.

<sup>2</sup> WARREN, Ilmenite rocks of St. Urbain, Quebec. Am. Journ. of science. 4. Serie. 33. 1912. 263. - TH. L. WATSON, The Rutile Deposits of the Eastern United States; U. S. Geol. Surv. Bull. 680. 0. 1914. p. 400.

<sup>3</sup> A. LACROIX, Mineralogie de France. 5. p. 73.

• Nach Referat in Min. Mag. 20. 1924; die vollständige Arbeit in Amer. Mineralogist. 8. 1923 ist uns unzugänglich.

<sup>6</sup> L. LEIGH FERMOR, The Manganese-Ore Deposits of India. Memoirs Geol. Surv. India. 37. 1909. p. 757.

dierit ist? Den mitvorkommenden Enstatit bezeichnet der Autor selbst als nur vorläufig bestimmt (wie übrigens auch den Sapphirin). Der bedeutende Gehalt an Rutil und Ilmenit nähert das Vorkommen dem von St. Urbain; aber hier handelt es sich um ein metamorphes (aus Glimmerquarziten hervorgehendes) Gestein. Eine genauere Untersuchung desselben wäre sehr wünschenswert.

Wir sehen also jedenfalls, daß die Bedingungen der Sapphirinentstehung, so selten sie auch anscheinend auf Erden verwirklicht waren, geologisch nicht eindeutig bestimmt sind: es kann sowohl Auskristallisation aus Schmelzfluß als eine metamorphe Bildungsweise in Frage kommen.

Hinzuweisen ist hinsichtlich des geologischen Vorkommens noch auf einen Punkt, in welchem unser Fundort aus der Reihe der übrigen bekannten herausfällt. Diese befinden sich alle im alten Grundgebirge. Der Sapphirin von Val Codera ist dagegen ziemlich jugendlicher Entstehung - etwa oligocän bis frühmiocän, vielleicht noch etwas jünger, da ja über den Zeitraum nichts bekannt ist, innerhalb dessen die Pegmatitgänge der Bergeller Granitintrusion nachfolgten.

## VI. Ueber die Genesis des Sapphiringesteins.

Welches waren nun aber die Bildungsbedingungen des Sapphiringesteins von Val Codera?

Wenn wir es hier versuchen, dieser Frage näher zu treten, so müssen wir uns bewußt bleiben, daß wir uns auf teilweise hypothetischem Boden bewegen; denn in anstehendem Verbande sind ja die oben beschriebenen Gesteinstypen nicht bekannt.

Sicher feststehend sind zunächst drei Tatsachen: einmal die Verknüpfung des Sapphiringesteins mit Pegmatit; in den magmatischen Exhalationen, welchen der letztere seinen Ursprung verdankt, darf man jedenfalls auch das Agens erblicken, welches die Umwandlung des Sapphiringesteins bewirkt hat. Zweitens kann das Ausgangsmaterial, wenn wir in der Nachbarschaft des Fundorts Umschau halten, unmöglich unter den dort häufigen granitischen und granitdurchtränkten Gneisen gesucht werden - fehlt doch unserem Gestein jeder Hinweis auf eine Herkunft aus granitischem Material. Es sind vielmehr einzig die ab und zu auftretenden Einschaltungen biotitreicher sedimentogener Schiefer, die

als Ausgangsmaterial in Frage kommen; zumal ja der zweite Typus des Sapphiringesteins in seinen Biotitaggregaten ziemlich unveränderte Reste eines solchen Gesteins darzubieten scheint. Und drittens steht fest, daß das Eindringen der Pegmatite erst erfolgte nach der durch die Intrusion des Bergeller Granits bedingten, letzten tiefgreifenden Metamorphose des ganzen Gesteinskomplexes, in dem das Sapphiringestein steckt. Wir müssen also annehmen, daß dessen Ausgangsmaterial sich in dem Zustande befand, wie er einem Tiefenkontakthof entspricht, einem Zustand, wie wir ihn heute noch an den Biotitgrsteinen der Nachbarschaft verwirklicht sehen.

Was diese letzte Feststellung bedeutet, wird die folgende Überlegung zeigen. Wenn wir das Ergebnis der Analyse betrachten, so fällt zunächst der ungewöhnlich geringe Gehalt an  $\text{SiO}_2$ <sup>1</sup> auf. Unter den in Betracht kommenden unveränderten Sedimenten können wir einen so niedrigen Kieselsäuregehalt höchstens bei bauxithaltigen Tonen erwarten; freilich sind für einen solchen andere Posten der Analyse, insbesondere der sehr hohe  $\text{NgO}$ -Gehalt, ungewöhnlich. Legen wir uns nun aber die Frage vor, in welcher Form die gegenüber  $\text{SiO}_2$  überschüssige, freie Tonerde eines bauxitischen Tones nach Umwandlung in einem Tiefengesteimkontakthof vorliegen könnte, so kann die Antwort nur lauten: als Korund oder Spinell. Nun sind aber Korund und Spinell bekanntlich sehr resistenzfähige Mineralien - nicht nur den im Laboratorium verfügbaren, sondern auch den in der Natur wirk-samen Agenzien gegenüber; zumal bei hohen Temperaturen scheinm sie ungemein bestandfähig zu sein. Es ist also nicht zu erwarten, daß eines der beiden Mineralien in Sapphirin übergeführt werden könnte ohne vorherige vollständige Einschmelzung; und tatsächlich hat das inzwischen von einem von uns ausgeführte Experiment<sup>2</sup> ergeben, daß von  $1500^\circ$  aufwärts Sapphirin in Spinell übergeht, daß also bei diesen Temperaturen der letztere der stabilere ;t. Es folgt daraus, daß ein bauxitischer Ton als letztes Ausgangsmaterial für unser Gestein wohl ausscheidet.

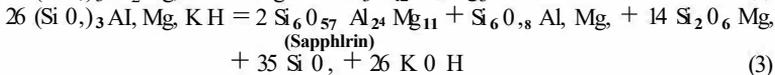
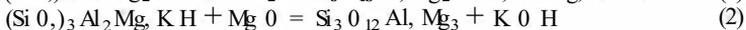
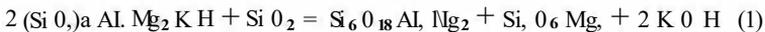
<sup>1</sup> Derselbe würde verhältnismäßig noch mehr herabgedrückt, wenn wir die Bestandteile des Gesteins zugeführten Pegmatitfelspate vollständig in Abzug bringen könnten.

Z. E. DITTLER, Ztschr. f. anorg. Chm. 174. 1928.

Die sedimentogenen Glimmerschiefer innerhalb der Kontaktzone von Val Codera bestehen nun - soweit die allerdings sehr beschränkte Anzahl von Schlifften ein Urteil gestattet - neben sehr reichlichem Biotit aus Muscovit, wechselnden aber meist zurücktretenden Mengen von Quarz und Feldspäten sowie gelegentlich Sillimanit. Wir wollen nun der Einfachheit halber ein Ausgangsmaterial zugrunde legen, das ganz aus Biotit bestand; es gibt derartige Materialien, wo er wenigstens lokal der tatsächlich einzige in nennenswerter Menge vorhandene Gemengteil ist. Von den anderen genannten Mineralien kommen Quarz, Feldspäte und Muscovit als Ausgangsmaterial neben dem Biotit ohnehin nicht in Frage, da sie gerade die Bestandteile in größerer Menge als jener enthalten, die in unserem Gestein eine viel bescheidenere Rolle spielen: Kieselsäure und Alkalien. Und was den Sillimanit betrifft, so könnte man ja versucht sein, denselben unmittelbar aus dem Ursprungsmaterial übernommen zu denken. Es soll nicht in Abrede gestellt werden, daß dies vielleicht teilweise der Fall sein kann. In der Hauptsache aber ist der Sillimanit des Saphiringesteins an Stellen intensivster Umbildung geknüpft, von der pegmatitischen Durchänderung abhängig und macht so sehr den Eindruck einer Neubildung, daß jene Annahme wohl schwerlich zu Recht besteht.

Wir haben nun folgende Vorgänge anzunehmen:

a) Aus dem Biotitaggregat entwickeln sich - von Ort zu Ort wechselnd - einerseits die Mineralkombination Hypersthen + Cordierit, zweitens Granat, endlich Cordierit + Saphirin + Hypersthen, entsprechend den etwas schematischen Gleichungen<sup>1</sup>:



Umsetzung (1) erfordert einen kleinen Zuschuß an Kieselsäure, (2) einen solchen an Mg O, den ersteren kann (3) leicht liefern, den zweiten. auch, falls man sich etwas weniger Pyroxen in (3) gebildet denkt. Das Charakteristische aber ist für alle drei Um-

<sup>1</sup> Der Einfachheit halber ist für den Biotit überall die angenäherte empirische Formel, wie sie die meisten Lehrbücher angeben, gesetzt. Selbstverständlich ist unter Al immer <sup>m</sup>Fe, unter Mg ebenso <sup>n</sup>Fe, auch etwas Ca und Mn mitzuverstehen.

setzungen, daß bei allen das gesamte Alkali des Biotits, bei (3) außerdem eine sehr große Menge  $\text{Si O}_2$  überschüssig wird. Beides ist im Gestein nicht wieder verwendet worden; wir müssen somit wohl annehmen, daß beides entfernt worden ist: daß es also vermutlich  $\text{H}_2\text{F}_2$ -reiche magmatische Exhalationen waren, welche die in Rede stehenden Umwandlungen bewirkten.

Daß dieselben in buntem Wechsel nebeneinander auftreten, ist sicher auf Massenwirkung zurückzuführen; vielleicht sind die einzelnen Reaktionen auch nicht ganz gleichzeitig erfolgt.

Eine beachtenswerte Stütze für die dargelegte Auffassung darf darin erblickt werden, daß, wie oben angeführt, (p. 34) innerhalb der Mineralkombination (3) tatsächlich eine Wechselbeziehung zwischen der Menge des Biotits einerseits, der des Sapphirins und Cordierits andererseits sich erkennen läßt: dieselben stehen zueinander ungefähr in reziprokem Verhältnis. Es ist also durchaus glaubhaft, daß Biotit für die Bildung jener Mineralien verbraucht worden ist; zumal die Vorherrschaft der letzteren mit Stellen besonders intensiver pegmatitischer Beeinflussung zusammenfällt.

b) Einem besonderen Vorgang ist die Entstehung der gegenüber dem übrigen Gestein scharf abgegrenzten Sillimanit-Sapphirin-Cordieritaggregate zuzuschreiben. Vermutlich war er jünger als die unter a) zusammengefaßten; es ist daher schwer eine Gleichung dafür aufzustellen, da er nicht mehr bloß Biotit betroffen haben wird. Machen wir gleichwohl diese Annahme, so erhalten wir

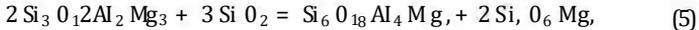
$$16 (\text{Si } 04). \text{Al}_2 \text{Mg}_2 \text{K H} = \text{Si}_5 \text{O}_{57} \text{Al}_4 \text{Mg}_{11} + \text{Si O}, \text{Al}_{11} + \text{Si}_5 \text{O}_{18} \text{Al}, \text{Mg}, \\ + 34 \text{Si O}_2 + 17 \text{Mg O} + 15 \text{K OH} \quad (4)$$

D. h. es muß neben dem gesamten Alkali und einer sehr großen Kieselsäuremenge, wie oben unter (3), hier auch eine ebenfalls sehr große Menge  $\text{Mg O}$  entfernt worden sein; denn keine Beobachtung deutet darauf hin, daß auch bei diesem Vorgang noch Pyroxen gebildet worden wäre. Derselbe bedeutet also einen noch tieferen Eingriff in den Gesteinsbestand als (3); seine Agenzien aber sind wohl ungefähr dieselben gewesen<sup>1</sup>. Hierauf aber schlossen sich die Kanäle, welche den Zutritt jener Exhalationen vermittelt hatten, mit Pegmatitsubstanz - die übrigens auch in dem außerordentlichen

<sup>1</sup> Möglich wäre allerdings auch die Annahme, daß hier  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zugeführt worden wäre. Ohne gleichzeitige Zufuhr von  $\text{Si O}_2$  - die sicher fehlt - dürfte dieser Vorgang aber nicht sehr viel Wahrscheinlichkeit für sich haben.

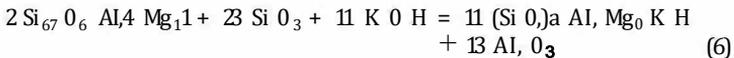
Zurücktreten des Quarzes eine stark abnormale Zusammensetzung verrät.

c) Vielleicht gleichzeitig schon mit Vorgang b) wurden die unter a) gebildeten und - durch Sammelkristallisation - zu bedeutender Größe gediehenen Granaten instabil und wandelten sich randlich um in Hypersthen + Cordierit:



Bemerkenswerterweise erfolgt diese Umwandlung unter Aufnahme von  $\text{SiO}_2$ ; die Annahme liegt nahe, daß diese den bei der Umsetzung nach Gleichung (4) freigewordenen Beträgen entstammt.

d) Während die Vorgänge unter a) und b) in bezug auf den Pegmatit sozusagen zentrifugal verliefen, kommt es nun zu weiteren Umwandlungen, die aber von dem Rande des von jenen betroffenen Raumes her zentripetal zu verlaufen scheinen. Am interessantesten ist, daß der Sapphirin sekundär sich in Korund + Biotit umsetzt:



Diese Reaktion erfolgt nun im geraden Gegensatz zu den unter (3) und (4) angedeuteten Vorgängen, welche zur Entstehung des Sapphirins führten, unter Aufnahme von  $\text{SiO}_2$  und  $\text{K}_2\text{O}$ . Sie ist geradezu eine Umkehrung der letzteren, wenn man sich so ausdrücken darf, die aber dadurch, daß sie nur den Sapphirin betrifft, bloß teilweise zum Ziele kommt, nämlich zur Wiederherstellung des Biotits. Die notwendigen Mengen von  $\text{SiO}_2$  und  $\text{K}_2\text{O}$  entstammten wohl den zuvor weggeführten Beträgen dieser Stoffe, von denen in der Umgebung noch Reste in irgend einer Form verfügbar waren; wohl nur kleine Reste, denn diese Umwandlung hat nur einen schmalen Saum des Sapphiringesteins, soviel sich erkennen läßt, an dessen äußerster Grenz! betroffen.

Vom Standpunkte des heterogenen Gleichgewichtes aus handelt es sich offenbar um ein System, dessen Reaktionskinetik schwer zu übersehen ist. Es liegen 5 Komponenten mit 5 Phasen vor: Biotit, Sapphirin, Cordierit, Hypersthen (3) bzw. Sillimanit (4) neben gesättigter Lösung (Alkalisilikat). Das System wäre daher im Sinne der V. M. GOWENLOD'schen Form<sup>1</sup> der Phasenregel divariant und die 4 Mineralien wären innerhalb eines gegebenen

<sup>1</sup> V. M. GOLDSCHEIDT, Die Kontaktmetamorphose im Kristianigebiet. Videns Skrifter. I. Math.-naturv. Kl. 1911.

Temperatur- und Druckintervalle paragenetisch existenzfähig. Je nach der Konzentration des Alkalisilikates kann die Reaktion nach rechts oder links verlaufen, wobei aus dem Sapphirin wieder Biotit rückgebildet würde (6). Im Zusammenhange damit ist das Fehlen einer fünften Mineralkomponente des Quarzes gewiß bemerkenswert.

Parallel zu der obigen Reaktion verlaufen zwei andere Vorgänge, die aber weiter gegen das Innere des Sapphiringesteins vordringen. Der eine ist die Umwandlung des Hypersthens in (vorzugsweise rhombischen) Amphibol; man darf sie im wesentlichen, wenn man von etwas Wasseraufnahme absieht, als innere Umlagerung betrachten. Der andere Vorgang ist die Umwandlung des Orthoklases aus dem Pegmatit in Aggregate von Tonerdehydrosilikaten, die, wie bereits erwähnt, konstant die Amphibolisierung des Hypersthens begleitet.

Ausnahmsweise sehen wir (p. 40), daß Korund an Stelle von Sapphirin und rhombischer Amphibol an Stelle von Hypersthen aus Granat unmittelbar entstanden sind - also gewissermaßen das Ergebnis von Vorgang d) auch auf anderem, direktem Wege erreicht worden ist. Quantitativ spielt das für unser Gestein zwar keine Rolle; wichtig aber ist diese Korundbildung als Bindeglied zu der Entstehung des gleichen Minerals in dem Korund führenden Glimmerschiefer, wo wir ihn in analoger Weise wie den Sapphirin entstanden denken: durch Entzug von  $\text{SiO}_2$  und Alkalien.

Wenn die vorstehenden Ausführungen richtig sind, ist also unser Sapphiringestein durch Entzug von Kieselsäure und Alkalien aus einem Biotitschiefer entstanden: es ist als ein „Subtraktionsgestein“ zu betrachten.

Geol. Bundesanstalt und min. Institut, Universität, Wien.