

Original-Mitteilungen an die Redaktion.

Über isotrop gewordene Kristalle.

Von O. Mügge in Göttingen.

Inhaltsübersicht.

- I. Historisches und Problemstellung p. 722—727.
 1. Die Eigenschaften isotropisierter Kristalle p. 722.
 2. Schwierigkeit ihrer Erklärung, Vergleich mit unterkühlten Gläsern p. 723, BRÖGGER's Auffassung p. 724.
 3. Die Radioaktivität als Ursache p. 725.
 - II. Das optische Verhalten des Gadolinit p. 727—735.
 1. Untersuchungsmaterial und Methode p. 727.
 2. Erhitzungsversuche p. 728.
 3. Zusammenfassung des optischen Verhaltens p. 732, seine Deutung p. 733, etwaige Krenzprobe p. 734.
 - III. α -Strahlen als Ursache der Isotropisierung p. 735—739.
 1. Mechanische Wirkungen der Kanal- und α -Strahlen p. 735.
 2. Keimwirkung p. 736.
 3. Dichte-Änderungen und Sprengwirkungen p. 736, Erhitzungsversuch unter großem Druck p. 739.
 - IV. Art des Zustandes isotropisierter Kristalle p. 753—757.
 1. Dispersion ungeordneter Teilchen in geordnetem System p. 753.
 2. Röntgen-Untersuchung p. 754.
 3. Vergleich mit unterkühlten Gläsern p. 756.
 - V. Paragenese und Bildungsverhältnisse isotropisierter Kristalle p. 757—765.
 1. Isotrop-Werden bei andern radioaktiven Mineralen p. 757, Zirkon p. 758, Eudialyt p. 759, Orthit p. 759, Homilit p. 760, Titanit p. 760, Apatit p. 760, Xenotim und Monazit p. 761, Fergusonit p. 761, Euxenitgruppe, Uranpecherz und Thorianit p. 762.
 2. Gleichzeitiger Gehalt an radioaktiven Stoffen und seltenen Erden p. 762, Erklärung? p. 763.
 3. Alter der isotropisierten Minerale und Bildungstemperatur p. 763, Kristallisations- und Zerfallsgeschwindigkeit p. 764, Beständigkeit radioaktiver Kristalle p. 764.
- Schluß. Druck und α -Strahlung p. 765.

Seit langer Zeit¹ kennt man unter den Mineralien, die durch einen Gehalt an seltenen Erden ausgezeichnet sind, eine große Anzahl, die trotz sehr regelmäßiger (und nicht regulärer) Kristallform optisch isotrop sind. Es gehören dahin Gadolinit, Orthit, Mosandrit, Fergusonit, Euxenit, Samarskit, Äschynit, Zirkon u. a. Von manchen dieser Minerale ist auch eine doppelbrechende Modifikation mit der ihrer Form entsprechenden optischen Anisotropie bekannt, aber auch bei diesen schwankt die Stärke der Doppelbrechung auffallend stark, ohne daß dies durch einen Wechsel der chemischen Zusammensetzung hinreichend begründet werden könnte. Ähnliches gilt von der Färbung. Alle diese Unterschiede können auch in demselben, geometrisch einheitlichen Kristall sich bemerklich machen. Anscheinend gehören auch reguläre Minerale hierher, z. B. Pyrochlor, allerdings könnte hier der Nachweis der Isotropisierung nur aus anderen Eigenschaften, z. B. der Spaltbarkeit usw. geführt werden. Diese sind nun bisher, z. T. wohl wegen der Kostbarkeit des Materials, nur wenig untersucht, auch scheinen die meisten auch im nicht-isotropen Zustand wenig gut zu spalten; immerhin ist es charakteristisch, daß alle die isotropen muschlig wie Harz oder Glas brechen.

Wie die Stärke der Doppelbrechung, schwankt auch die Dichte innerhalb weiter Grenzen und zwar ist sie für die isotropen Modifikationen fast bei allen kleiner als für die doppelbrechenden (Ausnahmen Fergusonit, Samarskit, Zirkon z. T.).

Die chemische Zusammensetzung ist, mindestens in vielen Fällen, für die isotropen und anisotropen Kristalle merklich dieselbe, so daß bei ihnen keine Veranlassung vorliegt, von ersteren etwa anzunehmen, sie seien chemisch zersetzt, zumal es auch dann auffallend bleiben würde, daß als Zersetzungsprodukte fast immer so einheitliche, vielfach ganz klare und zugleich isotrope Massen entstanden wären. Die chemische Widerstandsfähigkeit gegen Säuren etc. ist dagegen bei den meisten isotropen gegenüber den kristallinen merklich vermindert.

Das Rätselhafteste an diesen Kristallen war aber nicht ihre Fähigkeit solch vollkommene Paramorphosen von größter Homogenität und mit ganz glatten Flächen zu bilden, sondern ihre Fähigkeit, aus diesem Zustande durch Erhitzen wieder in den kristallinen Zustand, und zwar mit der ihrer Form entsprechenden physikalischen Orientierung, entsprechender Änderung der Dichte und der chemischen Angreifbarkeit zurückzukehren. Es mutet das den Kristallographen an wie die Auferweckung eines Toten. Um

¹ Literatur bei W. PETERSSON, Studier öfver Gadolinit. Diss. Upsala, Stockholm 1890 (Ref. N. Jahrb. f. Min. etc. 1893. I. -240-); ferner LIEBISCH, Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Berlin. 14. IV. 1920. p. 350.

so auffallender ist es, wie wenige Versuche unternommen sind, dieses sonderbare Verhalten aufzuklären¹.

Am nächsten liegt es, das Wieder-Kristallinwerden mit dem Verhalten unterkühlter Gläser zu vergleichen, zumal es wie bei ihnen mit Wärmeabgabe verbunden ist, die sich bei manchen bis zum Erglühen steigert („pyrognomische“ Minerale). Weil hier die Form in großer Schärfe erhalten ist, müßte man allerdings annehmen, daß diesen Substanzen dieselbe Eigenschaft zukommt wie gewissen Silikaten (Spodumen, Albit, Orthoklas²), die imstande sind bei Erhitzung bis weit über ihren „Schmelzpunkt“ (d. i. Umwandlungspunkt in die isotrope Phase) ihre Form zu bewahren, also bei ihrer Schmelztemperatur äußerst strengflüssig zu sein. Von diesen Gläsern weiß man ja, daß sie, z. T. unter nachweisbarer Wärme-Entwicklung, wieder kristallin werden, wenn sie hinreichend lange auf einer Temperatur wenig unterhalb ihres Schmelzpunktes gehalten werden. Aber abgesehen davon, daß die Annahme, gerade den oben genannten komme die sonst bei Mineralen immerhin seltene Fähigkeit zu, aus dem kristallinen in den festen isotropen Zustand überzugehen, machen sich gegenüber dem Verhalten des Albit usw. doch erhebliche Unterschiede geltend:

1. Der Übergang in die kristalline Phase erfolgt bei diesen Gläsern durchaus unstetig. Die zuerst erscheinenden sehr kleinen Kristalle haben dieselben optischen Eigenschaften, insbesondere dieselbe Stärke der Doppelbrechung wie die größeren. Bei Gadolinit dagegen konnte festgestellt werden³, daß die Doppelbrechung ganz allmählich wiederkehrt, zuerst ganz schwach ist und zwar zugleich so, daß nach nicht zu langem Erhitzen sich in dem sonst einheitlichen Schmelzteil mit der normalen starken Doppelbrechung bis zu solchen mit der Doppelbrechung Null im Zusammenhang miteinander beobachten lassen.

2. Das Kristallinwerden erfolgt bei unsern Kristallen z. T. sehr schnell (in Bruchteilen einer Minute bei hinreichend hoher Temperatur und bei jenen, welche erglimmen, scheint es dem Fortschreiten des Glimmens zu entsprechen). Bei der gewöhnlichen Entglasung ist dagegen (wenigstens bei Silikaten, und um solche handelt es sich hier hauptsächlich) stunden- oder tagelange Erhitzung erforderlich und zwar auf eine Temperatur, die nur wenig unter dem Schmelzpunkt liegt (bei Gadolinit 700—800 darunter!)⁴.

¹ Über einige ältere Versuche vgl. HINTZE, Handb. d. Min. II. 187.

² Schmilzt nach BOWEN'S neuer Untersuchung inkongruent.

³ O. MÜGGE, dies Centralbl. 1908. 36.

⁴ Bei Metallen (Pt, Rh) liegen allerdings Angaben vor, wonach kleine Mengen bei starker Unterkühlung (bis um 370°) flüssig bleiben und dann unter Aufblitzen plötzlich kristallisieren (MENDENHALL und INGERSOLL, Naturw. Rundschau 1908 238); bei Au Unterkühlung angeblich bis unter Rotglut; vgl. auch GORE'S explosives Antimon.

3. Im Falle der Kristallisation einer gewöhnlichen unterkühlten Schmelze entstehen darin (auch wenn sie nur einerlei Kristalle liefert) im allgemeinen zahllose Keime von ganz verschiedener Orientierung; das Ergebnis ist also ein Aggregat. In unserem Falle dagegen entsteht aus einem isotrop gewordenen Kristall wieder ein einheitlicher Kristall, wie man daraus schließen muß, daß die Auslöschung in allen Teilen gleichzeitig erfolgt, zugleich in jener Orientierung, die durch die etwa noch erhaltene Form gefordert wird.

4. Aber selbst wenn man annehmen wollte, daß die isotrop gewordenen Kristalle durch Schmelzung in diesen Zustand gekommen wären, bliebe es noch rätselhaft, wie sie so hoch hätten erhitzt werden können und woher die Wärme dazu gekommen wäre. Das Schmelzintervall des Gadolinit liegt nach den Messungen von LIEBISCH (l. c.) bei etwa 1410^0 , so daß anzunehmen ist, daß bei seinem Schmelzen auch die ihn umgebenden Minerale geschmolzen wären; davon ist aber keine Spur, vielmehr lassen Druckspuren auf festen Zustand schließen (vgl. unten p. 736)¹. In der Natur, wo die Abkühlung zweifellos nur eine ganz allmähliche hätte sein können, wäre auch wohl sicher keine Erstarrung zu Glas eingetreten, wie denn auch LIEBISCH bei seinen Versuchen mit Gadolinit trotz schneller Abkühlung ein Glas mit einem Aggregat doppelbrechender Nadelchen erhielt.

BRÖGGER² nannte unsere Minerale „metamikt“ und sah die Ursache für das Isotropwerden in „einer geringeren Stabilität so komplizierter Kristallmoleküle, wie sie unsere Minerale besitzen“. Das letztere trifft nun zwar für manche zu, indessen gibt es einerseits zahlreiche Silikate von noch erheblich verwickelterer Zusammensetzung, die gleichwohl keine Neigung zeigen isotrop zu werden, andererseits gehören zu den metamikten auch Kristalle von so einfachem Typus wie Zirkon (und zwar auch solche, deren Gehalt an seltenen Erden sehr gering ist).

Nun ist zwar an Kristallen von relativ einfacher Zusammensetzung ebenfalls schon ein Zerfall beobachtet, wenn sie nämlich, wie es bei unseren vielfach der Fall sein dürfte, bei hoher Temperatur entstanden sind und diese nun langsam sinkt³, und namentlich ist es bekannt, daß die Entmischung von bei hoher Temperatur gebildeten Mischkristallen zu Gemengen von der Art der Kryptoperthite führen kann, für die es denkbar, wenn auch, soviel mir bekannt, nicht beobachtet ist, daß sie pseudoisotrop erscheinen,

¹ Anhaltspunkte dafür, daß der Druck eine Erniedrigung des Schmelzpunktes herbeigeführt hätte, fehlen.

² Nach dem kurzen Referat in Zeitschr. f. Krist. 25. 427. 1896, das mir allein zur Verfügung steht.

³ vgl. z. B. KARANDÉEFF, dies. Centralbl. 1909. 728 (Zerfall von $K_2SO_4 \cdot KF$ bei 578^0) und die dort angeführte Literatur.

wenn nämlich die Zerfallskomponenten äußerst fein verteilt und nicht, wie bei den Perthiten kristallographisch einheitlich, sondern regellos angeordnet sind.

Vor allem aber: solcher Zerfall bei höherer Temperatur entstandener Verbindungen und solche Entmischungen gehen von selbst, d. h. bei sinkender Temperatur unter Wärmeentwicklung vor sich, während bei unsern Mineralen, wie das Erglimmen beim Erhitzen und die Messungen von LIEBISCH zeigen, gerade die Wieder-Vermischung oder Wieder-Verbindung mit Wärmeentwicklung verbunden sein würde. Schon aus diesem Grunde müßte die obige Annahme verlassen werden.

Indem BRÖGGER versuchte die sonderbaren Eigenschaften unserer Kristalle mit ihrer chemischen Besonderheit zu verknüpfen, sah er letztere wohl wesentlich in dem Gehalt an seltenen Erden, der ja an sich in der Tat sehr auffallend und schwerlich zufällig ist. Aber man kannte zu jener Zeit noch nicht die wunderbaren Eigenschaften der radioaktiven Stoffe, welche die seltenen Erden fast überall und so auch hier begleiten; sie geben auch hier, wie es scheint, den Schlüssel.

Von den Eigenschaften der radioaktiven Stoffe ist bisher namentlich ihre Fähigkeit Färbungen hervorzurufen für die Mineralogie von Bedeutung geworden, indessen hat schon MICHEL-LÉVY¹ festgestellt, daß in den pleochroitischen Höfen auch die Stärke der Doppelbrechung verändert ist². Daß auch Änderungen der Kohäsion durch die α -Strahlung bewirkt werden, scheint mir namentlich daraus hervorzugehen, daß die zahlreichen Sprünge, welche um die Kerne der Höfe in Hornblenden oft entstehen (vgl. unten p. 734) nicht ihrer Spaltung folgen³; daß diese in Biotitblättchen sehr häufig kreisrund längs der Peripherie des Hofes verlaufen und also zeigen, daß die in den Schlag-, Druck- und Biegungsfiguren zum Ausdruck kommenden feineren Unterschiede der Kohäsion in (001) nicht mehr vorhanden sind, wenn auch die höchst vollkommene Spaltung nach (001) noch nicht merklich gelitten hat (man sieht an isolierten Blättchen öfter die Spaltflächen in mehreren Stufen innerhalb desselben Hofes auftreten). Endlich sei daran schon hier erinnert, daß nach PETERSSON (l. c.) in dem durch Glühen wieder kristallin gewordenen Gadolinit von Hitterö nun deutliche Spaltung nach (100) und (001) zu sehen war.

¹ MICHEL-LÉVY, Compt. rend. 109 975. 1889.

² Diese Änderungen sind z. T. sehr beträchtlich, wie die Messungen von HÖVERMANN (N. Jahrb. f. Min. etc. Beil.-Bd. 34. 1912) gezeigt haben.

³ Höchst feine, wahrscheinlich auf Zwillingslamellierung beruhende Streifen // (001) mancher grüner Hornblenden in kristallinen Schiefen gehen allerdings ohne jede Änderung durch die Höfe hindurch (sie könnten älter sein als der Hof, würden es sicher sein, wenn sie pseudomorphosiertem Augit entsprechen).

Eine noch tiefer gehende Einwirkung verrät sich in den „Zersetzungs Höfen“¹. Sie finden sich fast nur in solchen Gesteinen, in denen die pleochroitischen Höfe besonders intensiv sind, so im Biotit des Granits von Rautenkranz i. Erzgeb., im Li-Glimmer des Granits von Pinge Geyer i. S., dann namentlich in manchen Cordieriten, seltener auch in Hornblende und Granat (z. B. Querbach i. Schles.). Um den radioaktiven Kern liegt hier zunächst eine völlig oder nahezu kreisrunde Zone, in der Regel ungefähr vom Durchmesser der gewöhnlichen Höfe und kleiner, die von einer krümeligen oder doch etwas trüben Substanz erfüllt ist, die den Eindruck eines Zersetzungsproduktes des Wirtminerals macht und anscheinend kolloid ist (im Li-Glimmer von Pinge ist darin aber violetter Flußspat erkennbar!): Erst jenseits dieser Zersetzungszone beginnt der farbige Hof, und zwar zuweilen erst mit einer schmalen heller gefärbten Zone, nach außen wird dann die Färbung schnell meist sehr intensiv. Die Einwendungen von HÖVERMANN (l. c. p. 392) gegen die Auffassung dieser Zone als Zersetzungs Höfe sind m. E. nicht stichhaltig; chemische Wirkungen radioaktiver Strahlungen sind vielfach beobachtet; hier hat vielleicht zunächst eine Zerstäubung der Wirtsubstanz stattgefunden, so daß das (später) entstehende Zersetzungsprodukt besonders leicht kolloide Form annehmen konnte. In dieses Kolloid wanderten nun die radioaktiven Stoffe z. T. hinein und strahlten von hier aus weiter in das Wirtmineral. Der Gesamtdurchmesser dieser Höfe ist daher meist größer als der der bloß farbigen. Der Umstand, daß derartige Höfe meist um besonders große radioaktive Kerne mit sehr intensiven pleochroitischen Höfen sich finden, scheint darauf hinzuweisen, daß die maximale optische Wirkung hier erreicht war und nun also weitergehende Störungen eintreten konnten. Ich bin in dieser Auffassung noch bestärkt durch die Ansicht von JOLY² und GUDDEN³, wonach anzunehmen ist, daß die α -Wirkung sich in den pleochroitischen Höfen keineswegs auf die Abgabe von Helium an den Wirt beschränkt.

Wenn nun aber radioaktive Stoffe so starke Wirkungen auf ihre Umgebung ausüben, muß man annehmen, daß sie auch in dem Kristallgebäude, in dem sie selbst Platz gefunden haben, Veränderungen und Zerstörungen hervorrufen. So ist denn auch SCHEDELIG⁴ der Meinung, die ungewöhnliche Frische der von ihm untersuchten Monazite von Mölland könne im Zusammenhang stehen mit ihrem relativ geringen Gehalt an radioaktiven Stoffen. Dann hat STRUTT⁵ darauf hingewiesen, daß radioaktiver, durch Erhitzen (z. B. durch Einschluß in Lava) entfärbter Zirkon sich möglicherweise durch

¹ O. MÜGGE, l. c. p. 115.

² JOLY, Phil. Mag. (6.) 19. 330. 1910.

³ GUDDEN, Diss Göttingen 1919, p. 10

⁴ SCHEDELIG, nach dem Ref. im N. Jahrb. f. Min. etc. 1913. II. -41-.

⁵ STRUTT, Proc. Roy. Soc. London. A. 89. 405. 1914.

seine eigene Strahlung wieder färbe, endlich hat HAMBERG¹ bei Gelegenheit eines allgemeinen Berichtes über „Die radioaktiven Substanzen und die geologische Forschung“ die Vermutung ausgesprochen, daß der isotrope Zustand unserer Minerale in radioaktiven Vorgängen seinen Grund haben könnte, „vielleicht ist der Übergang in den amorphen Zustand nur als eine noch kräftigere Einwirkung der α -Strahlung anzusehen“. Auch RUTHERFORD² hat ja schon die Wärmeentwicklung des Radiums als Resultat des Bombardements des Ra durch seine eigenen α -Partikeln aufgefaßt.

Im folgenden sollen nun weitere Gründe, die auf eine solche Selbstzerrüttung der Kristalle mit radioaktiven Stoffen hinweisen, dargelegt und der eigentümliche Zustand, in welchem sie sich befinden, etwas näher untersucht werden, und obwohl ich mich dabei fast ganz auf den Gadolinit als das fast allein hier vorhandene Material beschränken muß, mögen doch auch einige Bemerkungen und Beobachtungen über andere Minerale dieser Art Platz finden, da sie die auch geologische Bedeutung dieser Vorgänge beleuchten.

II. Das optische Verhalten des Gadolinit.

Aus den früheren Beobachtungen von PETERSSON (l. c.) sei zunächst daran erinnert, daß der grüne, noch anisotrope Gadolinit von Hitterö nur 0,39 % ThO_2 enthielt und auch jener von Ytterby, der völlig isotrop war und lebhaft verglimmte, nur 0,41 %. PETERSSON fand bis zu 0,88 % ThO_2 , während in den Analysen TSCHERNIK's³ z. T. nur Spuren, z. T. gar kein Thorium angegeben wird. Analoges ist indessen auch bei anderen Mineralen der Fall, deren Radioaktivität im allgemeinen nicht zweifelhaft ist, und bei denen die Doppelbrechung für gewisse Vorkommen gleichwohl bis auf Null sinkt, wie z. B. Zirkon. Jedenfalls äußert sich die radioaktive Wirkung bei manchen isotropen Gadoliniten auch durch starke pleochroitische Säume da, wo sie mit empfindlichen Mineralen, z. B. Biotit, in Berührung sind (Ytterby).

Da mir gut begrenzte Kristalle von isotropisiertem Gadolinit nicht zur Verfügung standen, wurden zu den folgenden Versuchen Schliffstückchen unbekannter kristallographischer Orientierung benutzt. Ein Teil des Materials (von unbekanntem Fundort, identisch mit dem von mir l. c. 1908 benutzten) stammt aus der Sammlung

¹ HAMBERG, Geol. Fören. Stockholm Förhandl. 36. 35. 1914. Ich bin auf diesen Aufsatz, der mir gerade während des Kriegsausbruchs zugegangen war, erst vor einigen Wochen wieder aufmerksam geworden; er war mir zur Zeit, wo ich auf der Mineralogen-Versammlung in Göttingen über isotrop gewordene Kristalle sprach, noch nicht bekannt.

² RUTHERFORD, Radioaktive Umwandlungen. (Deutsch von LEVIN.) p. 255. 1907.

³ G. TSCHERNIK, N. Jahrb. f. Min. etc. 1907. II. -361-.

des Mineralogischen Institutes in Königsberg; für seine freundliche Überlassung möchte ich auch hier Herrn Kollegen ERREL bestens danken. Die (beiderseits möglichst gut polierten) Dünnschliffe waren stets von zahlreichen Sprüngen durchzogen, so daß zu den Erhitzungsversuchen immer nur kleine Stückchen verwendet werden konnten. Sie sind krautgrün durchsichtig, an den meisten Stellen völlig isotrop, zeigen aber längs Einschlüssen von Biotit und Feldspat einen doppelbrechenden Saum¹ von einer Breite bis zu etwa $\frac{1}{3}$ Reichweite der Höfe (ca. 0,01 mm); dieser Saum ist zugleich etwas gelblicher, nicht merklich pleochroitisch, hat aber höhere Brechung als der isotrope Hauptteil. Ganz ähnliche Säume zeigen sich um zahlreiche kleine Einschlüsse undurchsichtiger Substanz, deren Natur nicht festgestellt werden konnte; um punktförmige Einschlüsse sind sie annähernd kreisförmig, aber nicht so regelmäßig wie die pleochroitischen Höfe, auch in ihren Dimensionen weniger genau zu ermitteln, da die Grenze zu den isotropen Teilen öfter schräg zur Oberfläche einfällt. Alle diese doppelbrechenden Teile löschen merklich gleichzeitig aus, obwohl sie in der Stärke der Doppelbrechung sehr variieren, und zwar so, daß im allgemeinen die dem Einschluß oder Nachbarmineral nächsten Teile die höchsten Interferenzfarben haben. Im konvergenten Licht ist, soweit erkennbar, die Interferenzerscheinung der Art nach überall dieselbe, Zahl und Breite der Ringe allerdings wechselnd. In den nicht isotropen Teilen zeigte sich auch, wie schon von PETERSSON u. a. angegeben, die Stärke der Doppelbrechung in rahmenförmig einander umgebenden Zonen wechselnd; die Auslöschung auch hier überall merklich gleichzeitig. Daneben wurden allerdings auch (seltener) unregelmäßig begrenzte Teile mit verschiedener Stärke und verschiedener Orientierung der Doppelbrechung beobachtet, wie das an derbem Material zu erwarten ist, es scheinen auch chemisch zersetzte Partien darunter zu sein.

Verhalten des Gadolinit beim Erhitzen.

Es wurden eine Reihe von Dünnschliffen des Gadolinit im elektrischen Ofen bestimmte Zeit auf bestimmte Temperatur erhitzt. Da Versuche gezeigt hatten, daß die Schliffe dabei z. T. bräunlich wurden und vermutet wurde, daß Oxydation die Ursache sein könne, wurden die Schliffe in ein Quarzglasrohr eingeschlossen, aus dem vor jedem Versuch die Luft durch getrocknete und von Sauerstoff befreite Kohlensäure verdrängt und durch welches während des Versuchs Kohlensäure geleitet wurde. Der Ofen wurde für den Versuch auf die gewünschte Temperatur gebracht und nun das Quarzglasrohr mit dem Schliff schnell eingeführt; der dadurch herbeigeführte Temperatursturz von ca. 50⁰ war meist schon nach 1—2' wieder ausgeglichen und ist bei Angabe der Erhitzungs-

¹ Solche werden auch schon von PETERSSON von Ytterby erwähnt.

temperatur und -dauer nicht weiter berücksichtigt¹. Die Abkühlung nach Schluß der Erhitzung geschah möglichst schnell. Die Stärke der Doppelbrechung nach der Erhitzung wurde womöglich mit Babinet-Kompensator im Na-Licht gemessen; ihr Wert ist im folgenden als Bb nur in Trommelteilen des Kompensators angegeben, da ihr absoluter Wert bei der unbekanntem kristallographischen Orientierung des Schliffes gleichgültig erscheint. Da den Schliffen kristallographische Umrisse fehlten, konnte die optische Orientierung jedesmal nur in bezug auf die Verbindungslinie gewisser Ecken des Schliffes und ähnlich bestimmt werden.

Es zeigte sich, daß auch Blättchen die aus demselben kleinen Stückchen geschnitten waren sich nicht gleich verhielten, daß namentlich der Beginn der optischen Änderungen nicht immer bei derselben Temperatur eintrat, weshalb einige Versuche näher beschrieben werden sollen.

1. (Königsberger S.) Isotrop bis auf schmale Adern, die anscheinend längs Sprüngen verlaufen.

I. 33' auf 762—788°. Nahezu gleichmäßig und stark doppelbrechend geworden. Auslöschung (nach Art und Richtung) merklich dieselbe wie vor der Erhitzung in den Adern. Bb = 942—956. Nur an einer Stelle optisch etwas abweichende, in einzelne Pünktchen aufgelöste Streifen. Auch im konvergenten Licht überall dasselbe Bild in merklich gleicher Orientierung. Farbe aus grün etwas in braun verändert.

II. Nochmals 30' in demselben Temperaturintervall gehalten, keine merkliche Änderung.

2. (Königsberger S.) Beschaffenheit wie vorher. Der Schliiff wurde 11mal erhitzt.

I. 30' auf 483—524°. Die doppelbrechenden Adern sind zahlreicher und etwas breiter geworden; Auslöschung und Stärke der Doppelbrechung wie zu Anfang in den Adern.

II. 33' auf 504—554°. Keine merkliche Änderung.

III. 33' auf 675—691°. Doppelbrechende Adern etwas breiter, Doppelbrechung wenig verstärkt, im konvergenten Licht Spuren einer optischen Achse. Farbe etwas bräunlicher.

IV. 31' auf 689—704°. Es sind einige etwas stärker doppelbrechende Flecken entstanden, sonst wie vorher.

V. 30' auf 730—756°. Das ganze Blättchen jetzt einheitlich und fast gleichmäßig stark doppelbrechend, auch nach Lage und Art der Interferenzerscheinung. Um die optische Achse der erste Ring noch nicht deutlich zu erkennen. Bb = 290—306.

¹ Die Temperatur konnte mangels geeigneter Widerstände nur innerhalb gewisser Bereiche bis auf einige Grad konstant erhalten werden, innerhalb anderer waren größere Schwankungen nicht zu vermeiden.

VI. 41' auf 743—760°. Auslöschung und Interferenzbild wie vorher, Doppelbrechung verstärkt, erster Ring um die optische Achse sehr deutlich. Bb = 451. Schwacher Pleochroismus, // c' grau-gelbbraun, // a' tiefer und reiner gelb.

VII. 31' auf 749—761°. Keine merkliche Änderung; Bb = 460—466.

VIII. 34' auf 801—819°. Die Doppelbrechung namentlich in einigen Randteilen weiter verstärkt. Bb = 503 (Mittel). Um die optische Achse sind zwei isochromatische Ringe zu erkennen.

IX. 30' auf 909—917°. Bb = 556, sonst wie vorher.

X. 30' auf 1025—1034°. Auslöschung und Interferenzbild nicht merklich geändert. Bb = 560.

XI. 40' auf 1169—1190°. Keine merkliche Verstärkung der Doppelbrechung mehr; Auslöschungsrichtung wegen Zerbrechen des Blättchens nicht mehr bestimmbar. Farbe heller, licht graugrün.

3. (Königsberger S.) Von demselben Stückchen wie vorher; es ist schon zu Anfang eine etwas größere schwach doppelbrechende Stelle vorhanden.

I. 22' auf 530—604°. Von zahlreichen Sprüngen aus hat die Durchaderung mit doppelbrechenden Teilen begonnen. Auslöschung und Interferenzbild wie vor dem Erhitzen.

II. 34' auf 741—750°. Jetzt überall doppelbrechend; Auslöschung wie zu Anfang; um die optische Achse sind jetzt zwei isochromatische Ringe sichtbar. Messung mit Babinet wegen zahlreicher Sprünge unmöglich.

4. (Königsberger S.) Das Blättchen enthält nur einige unregelmäßige schmale Bänder mit schwacher Doppelbrechung, die gleichzeitig auslöschen und das Bild einer spitzen oder stumpfen Bisektrix erkennen lassen. Isochromatische Kurven noch nicht sichtbar; Doppelbrechung schwach (grauweiß bis gelbweiß I. Ordnung).

I. 19' auf 603—609°. Es sind zahlreiche doppelbrechende, feine Streifen hinzugekommen. Auslöschung und Doppelbrechung wie vorher. Interferenzfigur wie vorher, aber deutlicher.

II. 29' auf 754—759°. Das ganze Stück jetzt doppelbrechend. Auslöschung wie vorher, Doppelbrechung, auch im Hauptteil etwas schwankend, Bb = 364—446. Außerdem sind jetzt aber zahlreiche viel schwächer doppelbrechende gradlinige, vor der Erhitzung unsichtbare Streifen zu sehen, die zwischen gekreuzten Nicols wie Zwillingslamellen erscheinen, es aber nicht sind, da sie durchaus gleichzeitig mit dem Hauptteil auslöschen, während ihre Doppelbrechung zwischen ganz niedrigen Werten und dem des Hauptteils schwankt. Sie sind auch an ihrer etwas abweichenden Färbung und Brechung zu erkennen. Da sie (nach Beobachtung in anderen Schliften) gleichzeitig nach mehreren Richtungen in demselben Schliff verlaufen können, z. T. auch etwas krummlinig und konzentrisch,

können sie wohl nur Anwachsschichten vorstellen, die in der Regeneration z. T. zurückgeblieben sind.

III. 30' auf 1060—1070°. Optische Orientierung im parallelen und konvergenten Licht wie vorher, Doppelbrechung verstärkt. $B_b = 577$ (max.), $B_b = 469$ (min.). Bemerkenswert ist, daß die scheinbaren Zwillingslamellen jetzt wieder verschwunden sind; in der Hellstellung zwischen gekreuzten Nicols unterscheiden sie sich gar nicht mehr vom Hauptteil, nahe der Auslöschungsstellung sind von ihnen nur noch ganz schwache Spuren eben zu erkennen, aber auch jetzt nicht durch abweichende Auslöschungsrichtung, sondern durch sehr wenig abweichende Stärke der Doppelbrechung. Daraus ergibt sich, daß diese Anwachsschichten nicht solche der gewöhnlichen Art sind, in denen die chemische Zusammensetzung eine merklich andere ist als sonst; es sind nur Schichten, die merklich ungleich optisch beeinflußt waren.

5 a—c. (Königsberger S.) Von demselben Stückchen wurden jedesmal 3 Schläffe (a—c) gleichzeitig erhitzt, die nach drei zueinander annähernd senkrechten Richtungen hergestellt waren, in der Absicht, das Verhalten in möglichst verschiedenen Richtungen kennen zu lernen. Sie waren so dick gelassen, als es die Rücksicht auf hinreichende Durchsichtigkeit gestattete, um die Erscheinungen im konvergenten Licht näher untersuchen zu können, was dann allerdings durch die zahlreichen, beim Erhitzen entstehenden Sprünge doch verhindert wurde. Sie zeigten neben tiefgrünen, noch völlig isotropen Teilen in demselben Schläffe auch größere Partien mit einheitlicher Doppelbrechung, die sich z. T. unregelmäßig eckig von den isotropen abgrenzten. Ihre Doppelbrechung war allerdings so schwach, daß sie erst bei sehr greller Beleuchtung merkbar wurde; daneben waren zahlreiche feine doppelbrechende Adern vorhanden; alle löschten gleichzeitig aus.

I. 70' auf 600—608°. In allen dreien hatte sich Doppelbrechung längs vieler neuer Adern und in größern Flecken eingestellt, ohne daß aber die Doppelbrechung in den schon zu Anfang schwach doppelbrechenden Teilen merklich höher geworden wäre.

II. 37' auf 636—688°. Doppelbrechende Flecken etwas erweitert, Interferenzfarbe etwas höher, namentlich aber sind an den Stellen, wo schon vor dem Erhitzen sehr schwache Doppelbrechung zu erkennen war, jetzt untereinander parallele Streifen verschieden starker Doppelbrechung sichtbar geworden.

III. 30' auf 731—736°. Der eine Schliß zeigte jetzt zahlreiche kleine Aufwölbungen und Pusteln mit vielen Sprüngen dazwischen (was bei vielen andern gleich nach der ersten Erhitzung die optische Untersuchung verhindert hatte); Doppelbrechung beträchtlich gestiegen, aber immer noch waren einzelne merklich isotrope Stellen vorhanden. Am zweiten Schliß zeigten sich jetzt Parallelstreifen von sehr ungleicher Doppelbrechung, aber gleich-

zeitiger Auslöschung; sie verliefen nach vier Richtungen, durchkreuzten sich nicht, lagen z. T. rahmenartig ineinander, setzten scharf aneinander ab, also wohl Anwachsstreifen.

6. (Königsberger S.) Ein im Platintiegel etwa $\frac{1}{2}$ Stunde auf lebhafter Rotglut erhaltener Schliff (anfangs isotrop) zeigte danach auffallend große Unterschiede der Doppelbrechung, nämlich in der Mitte nur Grau I. Ordn., $Bb = 69$, am Rande $Bb = 451$; beide Gebiete gehen allmählich ineinander über, Auslöschungsrichtung überall dieselbe.

7. Ytterby. (Göttinger S.) Der Schliff zeigte schon vor dem Erhitzen größere schwach doppelbrechende und kleinere stärker doppelbrechende Teile in überwiegend isotroper Masse. Es genügte schon eine Erhitzung von $3'$ auf nur 400° , um größere Teile merklich stärker doppelbrechend zu machen; nach $3'$ auf 550° trat schon Rotorange I. Ordn. auf, nach weiteren $5'$ auf 650° schon Violetrot, daneben waren aber immer noch nahezu oder völlig isotrope Teile vorhanden. $5'$ auf 700° änderte nicht wesentlich, erst nach $10'$ auf 820° waren alle Teile doppelbrechend, wenn auch nicht gleich stark.

Um das Verhalten des Gadolinit während des Kristallinwerdens unmittelbar zu beobachten, wurden noch einige Dünnschliffe unter dem LEHMANN'schen Erhitzungsmikroskop auf Platingaze erhitzt.

8. (Königsberger S.) Bei dunkler Rotglut entstanden in kurzer Zeit doppelbrechende ziemlich gradlinige Streifen nach zwei zueinander ungefähr senkrechten Richtungen (nicht parallel den Fäden der Gaze); längs einigen Hauptsprüngen war die Doppelbrechung stärker als längs feinen.

9. (Königsberger S.) Als das Glühen des Platinnetzes eben sichtbar wurde, entstanden in wenigen Augenblicken zahlreiche, einander ungefähr parallele doppelbrechende Streifen, die sich bald verbreiterten, deren Interferenzfarben aber unter Weiß I. Ordn. blieben. Erst als die Temperatur auf deutliche Rotglut erhöht wurde, erhellte sich das Blättchen zwischen gekreuzten Nicols als Ganzes schnell und zeigte nun an den Rändern Rotorange I. Ordn., nach der Mitte zu noch abnehmend bis Grauweiß. Dabei sind die Linien, längs denen die Doppelbrechung zuerst sichtbar wurde, auch jetzt noch als gelbe Linien in dem Grauweißen zu erkennen. Jetzt noch vorhandene isotrope Flecken scheinen chemisch verändert zu sein.

Zusammenfassung des optischen Verhaltens beim Erhitzen. Die Doppelbrechung des Gadolinit im natürlichen wie in jedem der erhitzten Stadien schwankt nach oben bis zu einem gewissen (hier nicht ermittelten) Maximum, und zwar grenzen sich Teile verschieden starker Doppelbrechung, vielfach längs rahmenförmigen, anscheinend Anwachszone entsprechenden Partien voneinander ab. Dabei ist aber die optische Orientierung aller Teile

merklich gleich, und zwar sowohl im parallelen wie im konvergenten Licht. Durch $\frac{1}{2}$ stündiges Erhitzen auf rd. 400° werden meist nur diejenigen Teile schon stärker doppelbrechend, die schon zu Anfang nicht ganz isotrop waren, meist tritt eine allgemeine erhebliche Aufhellung zwischen gekreuzten Nicols erst bei etwa 750° ein und kann sich in wenigen Augenblicken vollziehen. Weitere Erhitzung bis 1150° bewirkt weitere langsame Verstärkung der Doppelbrechung.

Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit denen von LIEBISCH am Gadolinit, der bei der Aufnahme einer Erhitzungskurve eine plötzliche erhebliche Wärmeentwicklung in einem Falle bei 750° , in einem andern schon bei 572 feststellte.

Deutung des optischen Verhaltens.

Da der Winkel der optischen Achsen in bekannter Weise von der Differenz der Quadrate der Brechungsexponenten abhängt, sollte man in unsern Kristallen eine Veränderung der Interferenzerscheinungen im konvergenten Licht erwarten, wenn sich mit der Dauer und Temperatur der Erhitzung ihre Doppelbrechung ändert, und da ferner die Auslöschungsrichtung nach der FRESNEL'schen Konstruktion durch die Lage der optischen Achsen bedingt ist, sollte auch diese mit der Stärke der Doppelbrechung sich drehen.

Beides ist nicht der Fall, obwohl die Doppelbrechung bis auf Null sinkt und in demselben Schliiff Teile nebeneinander liegen, in denen die Doppelbrechung sich wie 1:6 verhält. Zwar ließ sich die Gleichheit der optischen Orientierung im konvergenten Licht nur schätzen und die Größe der Auslöschungsschiefe auf nicht mehr als $1-2^{\circ}$ bestimmen, aber das Vorhandensein oder Fehlen von Auslöschungsunterschieden in unmittelbar aneinanderstoßenden Teilen eines Dünnschliffes läßt sich bekanntlich mit großer Sicherheit erkennen; man kann daher sagen, daß Unterschiede von mehr als wenigen Zehntelgrad in manchen Dünnschliffen, trotz erheblicher Unterschiede der Doppelbrechung, nicht vorhanden waren.

Zur Erklärung kann man nun offenbar nicht annehmen, daß sich $(\gamma^2 - \beta^2)$ und $(\beta^2 - \alpha^2)$ in jedem Temperaturintervall und für jede Wellenlänge¹ (und vermutlich nicht nur beim Gadolinit, sondern auch bei andern isotropisierten und regenerierbaren Kristallen) so ändere, daß der Winkel der optischen Achsen konstant bleibt, vielmehr bietet sich eine ganz ungezwungene Erklärung, die zugleich die Wiederkehr (bzw. Erhaltung) auch der ursprünglichen optischen Orientierung verständlich macht.

Planparallele Platten von Gadolinit mit verschiedenen hohen Interferenzfarben in ihren verschiedenen Teilen und ebenso derselbe Teil

¹ Da die Doppelbrechung in den ersten Stadien der Erhitzung sehr schwach ist, müßten sich schon kleine Dispersionen von $\gamma - \beta$ und $\beta - \alpha$ durch stark anomale Interferenzfarben bemerklich machen, solche sind nicht beobachtet.

einer planparallelen Platte in verschiedenen Stadien der Erhitzung, verhalten sich nach obigem so, wie die verschiedenen dicken Teile etwa einer keilförmigen Platte aus einem optisch homogenen Kristall. Man kann demnach streng genommen nicht sagen, durch die Erhitzung wird die Doppelbrechung immer stärker, oder die verschiedenen Teile einer Platte haben ungleich starke Doppelbrechung, sondern man müßte sagen: der doppelbrechende Teil der Platte wird durch Erhitzen immer dicker, bzw. die doppelbrechenden Teile sind ungleich dick. Es bietet sich nun zur Erklärung die einfache Annahme: Im Gadolinit sind im allgemeinen doppelbrechende Teile neben isotropen vorhanden; ihr Mengenverhältnis verschiebt sich durch die Erhitzung zugunsten der ersteren, und zwar schneller von jener Temperatur an, bei welcher auch das Erglimmen eintritt. Die Zunahme der Stärke der Doppelbrechung ist also nur scheinbar, die Stetigkeit des Überganges von isotrop in anisotrop ebenfalls, wie denn ja ein stetiger Übergang von Unordnung in eine bestimmte Ordnung nur insofern denkbar ist, als die Zahl der ungeordneten Teilchen gegenüber der Zahl der geordneten sich ändert. Dem entspricht es, daß die beim Erglimmen entbundene Wärmemenge verschieden groß ausfällt und namentlich, daß auch ursprünglich schon doppelbrechende Gadolinite noch verglimmen, wenn auch weniger lebhaft als isotrope; dies wäre nicht zu verstehen, wenn erstere schon vollkristallin und nur im Grade der Doppelbrechung von den erhitzten verschieden wären, ist aber von PETERSSON beobachtet.

Als Krenzprobe ist ein Versuch denkbar, aber, wenigstens mit dem hier zur Verfügung stehenden Material von Gadolinit, nicht ausführbar. Denkt man sich Schichten von ungeordneten Teilchen mit solchen von kristallin geordneten abwechseln, etwa im Verhältnis 9:1, so wird (bei paralleler Orientierung aller geordneter Schichten) der Gangunterschied eines solchen Paketes nur $\frac{1}{10}$ so groß sein wie in einem gleichdicken Paket von lauter kristallinen Schichten. Ist das gemischte Paket von solcher Dicke, daß der Gangunterschied gerade $\frac{1}{2} \lambda$ (für Na) beträgt, so ist die Intensität des durchgehenden Lichtes in der Stellung stärkster Aufhellung gleich der des einfallenden. Nun ist aber anzunehmen, daß im Gadolinit ungeordnete und geordnete Teilchen, nicht längs bestimmten Ebenen sondern ganz unregelmäßig, aber nach allen Richtungen doch in gleichem Verhältnis, abwechseln. Wenn also in der Richtung senkrecht zur Platte 9 isotrope auf 1 kristallines Teilchen kommen, werden auch in zwei zueinander senkrechten Richtungen parallel der Platte auf je 9 isotrope nur je 1 kristallines kommen. In der Stellung stärkster Aufhellung werden also nur 1% aller Teilchen des gemischten Paketes (von $\frac{1}{2} \lambda$ Gangunterschied) zur Aufhellung beitragen; es wird also eine Gadolinit-

platte, in der sich die Zahl der kristallinen Teilchen zur Zahl der isotropen wie 1:1000 verhält und in der der Gangunterschied gerade $\frac{1}{2} \lambda$ beträgt, in der hellsten Stellung zwischen gekreuzten Nicols nur $\frac{1}{1000}$ so viel Licht durchlassen wie eine 10mal dünnere Platte von nur kristallinem Gadolinit (die den gleichen Gangunterschied aufweisen würde).

III. α -Strahlung als Ursache der Isotropisierung

des Gadolinit zu vermuten, liegt sehr nahe, schon nach den mechanischen Wirkungen die von Strahlungen bekannt geworden sind. Nach J. STARK u. WENDT¹ u. a. werden die Kristallflächen von Steinsalz, Sylvit, Flußspat, Wismut, Kalkspat, Quarz u. a. schon durch Kanalstrahlen geraut oder unter Erhaltung der Politur abgetragen (tiefer gelegt) und eine Veränderung von Kristallflächen die der α -Strahlung ausgesetzt sind, ist, da sie die Kanalstrahlen etwa 10mal an Geschwindigkeit übertreffen, nicht zu verwundern und öfter beobachtet². Da nun die α -Strahlen, wenn auch in geringer Intensität, geologische Perioden hindurch auf unsere Kristalle einwirken konnten, ist zu erwarten, daß sie nach und nach eine vollständige Zerrüttung der Kristallstruktur erreichen können³. Natürlich wird der Grad der Zerstörung außer von Alter, Reichweite, Struktur u. a. auch abhängen vom Gehalt an radioaktiver Substanz und diesem Einfluß möchte ich vor allem das Vorhandensein mehr oder minder doppelbrechender Anwachsschichten oder ihr Erscheinen während der Erhitzung zuschreiben. Beobachtungen an Flußspat haben mir gezeigt, daß der Gehalt an radioaktiver Substanz gerade längs Anwachsschichten sehr wechseln kann (indem z. B. längs ihnen sich pleochroitische Höfe häufen).

Angesichts der Unregelmäßigkeit der α -Strahlung und der mehr oder weniger zufälligen Verteilung der radioaktiven Stoffe werden selbst nach langer Bestrahlung noch Reste der kristallinen Struktur regellos, aber im ganzen doch gleichförmig verteilt, vorkommen können, alle noch in der ursprünglichen parallelen Orientierung, wie es ja auch die Beobachtung bestätigt; sie werden bei Zu-

¹ J. STARK u. WENDT, Ann. Phys. (4.) 38. 921 u. 941. 1912. An den durch Translationfähigkeit ausgezeichneten oben genannten Kristallen scheinen die Kanalstrahlen auch dickere Schichten deformieren zu können.

² z. B. werden Platten von Cordierit mit matter Oberfläche an den mit $RaBr_2$ belegten Stellen blank.

³ Da die Reichweite der α -Strahlung im Zirkon und andern Kernen pleochroitischer Höfe die Durchmesser dieser Kerne in der Regel weit übertrifft, werden die α -Teilchen seine ganze Oberfläche bombardieren und namentlich an den Ecken und Kanten abtragen, d. h. diese zurunden können. Es liegt nahe, an die auffallend häufige und vollkommene Abrundung gerade der kleinen Zirkone stark radioaktiver Gesteine (z. B. im Cordierit von Bodenmais) zu denken.

nahme der Temperatur und damit eintretender Rückbildung des kristallinen Zustandes orientierend wirken¹.

Die Anzahl dieser Keime wird aus verschiedenen Gründen nahe der Oberfläche, also auch längs Spalten, um Einschlüsse usw. besonders groß sein. Einmal ist für die Teile längs der äußeren Grenzflächen geltend zu machen, daß sie der α -Strahlung weniger als die inneren (nämlich nicht von allen Seiten) ausgesetzt sind (während dies für die Teile längs Spalten allerdings kaum in Betracht kommt, da ihre Breite gegenüber der Reichweite der α -Strahlen im Kristall [oder gar in Flüssigkeiten und Gasen] zu unbedeutend ist). Zweitens ist anzunehmen, daß radioaktive Substanzen, soweit sie leichter löslich oder gar flüchtig sind, aus den oberflächlichen Teilen, längs Spalten usw., leichter abgegeben werden. Drittens ist aus den Versuchen von GRAY² bekannt, daß das mit großer Gewalt zwischen die Atome des Kristalls eingepreßte Helium, von dem anzunehmen ist, daß es schon durch seine Gegenwart die Wiederherstellung der kristallographischen Ordnung verzögert, aus den Teilen des Kristalls, die weniger als 0,01 mm unter der Oberfläche liegen, schon bei gewöhnlicher Temperatur zu entweichen beginnt; längs Oberflächen usw. wird also früher eine Verarmung an Helium eingetreten und damit hier die Möglichkeit einer schnelleren Wiederherstellung der Kristallstruktur gegeben sein. In allen diesen Hinsichten befolgt übrigens der Gadolinit die für alle Umwandlungen zutreffende und ja auch durch die Beobachtungen bestätigte Regel, daß sie an den Grenzen der Phasen beginnen, weil diese Stellen die für die Erhaltung des jeweiligen Zustandes schwächsten sind.

Dichteänderungen.

Die Kristallstrukturen entsprechen im allgemeinen dichtesten Packungen in dem Sinne, daß der Übergang der Struktur in andere kristallographische mindestens eine vorübergehende, der Übergang in Isotropie eine dauernde Volumenvermehrung nach sich zieht. Letzteres ist bei unseren Kristallen auch meist beobachtet, ebenso, daß mit dem Wiederkristallinwerden meist eine erhebliche Erhöhung der Dichte verbunden ist³. Der Betrag der Dichteänderung schwankt indessen auch bei Bruchstücken desselben Kristalls sehr erheblich. Das mag z. T. durch Einschlüsse fremder Substanzen und verschiedene Grade der Verwitterung bedingt sein, wie PETERSSON und nach ihm LIEBISCH annehmen, unabhängig von solchen erklärt

¹ O. MÜGGE, dies. Centralbl. 1908. 37; später auch GRANDJEAN nach Beibl. Ann. 43. 175. 1919.

² GRAY, Proc. Roy. Soc. London. (A.) 82. 301. 1909.

³ Zusammenstellung bei LIEBISCH, l. c. p. 360. Ausnahmen sind beobachtet bei Fergusonit, Samarskit, Zirkon. Findet beim Erhitzen ein erhebliches Aufblähen statt, so werden Dichtebestimmungen am erhitzten Material zu kleine Werte ergeben können.

es sich durch das verschiedene Mengenverhältnis der kristallinen zu den isotropen Teilchen; dagegen sind diese Schwankungen mit der Annahme verschiedener Modifikationen (bei Zirkon drei!) kaum in Einklang zu bringen.

Die größte von PETERSSON beobachtete Dichteänderung am Gadolinit betraf ein Stück von Ytterby mit nur 0,41 % ThO_2 ; es hatte vor dem Glühen die Dichte 4,29, nachher 4,52. Besonders große Unterschiede sind dann namentlich am Zirkon beobachtet. So fand DAMOUR¹ bei 4 Kristallen von Ceylon:

Vor dem Glühen	Nach d. Gl.	Unterschied
4,043	4,318	0,275
4,166	4,526	0,360
4,176	4,500	0,324
4,183	4,534	0,351

Auch CHURCH² fand ähnliches; vor allem aber auch ungewöhnlich niedrige Werte für die Dichte (4,02), ohne daß in der chemischen Zusammensetzung eine merkliche Abweichung von der gewöhnlichen festzustellen war und in diesem Falle auch ohne daß durch Glühen eine Veränderung eingetreten wäre.

Läßt man in der von HINTZE³ gegebenen Zusammenstellung von Zirkon-Analysen diejenigen außer Betracht, bei denen der Wassergehalt 1 % übersteigt, trägt bei den übrigen als Ordinaten die Dichte auf, als Abszisse einmal den Gehalt an SiO_2 , dann den an ZrO_2 , schließlich den an sonstigen Bestandteilen ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$ usw.), so erhält man in keinem Falle eine regelmäßige, sondern stets eine unregelmäßig springende Kurve. Berücksichtigt man auch Analysen mit hohem Gehalt an ThO_2 , so fällt auf, daß diese Zirkone, trotz des hohen Atomgewichtes von Th, die niedrigsten Dichten haben. Man wird natürlich vermuten dürfen, daß auch hier der Grad der Isotropisierung die Dichte in erster Linie beeinflusst, indessen könnten die Ursachen auch andere sein: Sprünge, chemische Umwandlungen, Einschlüsse usw., auch sind die Kristalle, da sie vielfach schon im Edelsteinhandel gewesen sind, zuweilen schon gegläht.

Daß solche Erniedrigungen der Dichte, die also auf Isotropisierung hinweisen können, auch bei den Zirkonen in den pleochroitischen Höfen sehr verbreitet sind, ergibt sich daraus, daß das Wirtmineral (Cordierit, Hornblende, Glimmer, Chlorit, Granat, Turmalin) innerhalb des Hofes und in seiner nächsten Umgebung öfter von vielen feinen, vom Kern ausstrahlenden Sprüngen durchsetzt ist⁴. In Zirkon (und Orangit) selbst gibt BRÖGGER (l. c. p. 110)

¹ DAMOUR, Compt. rend. 58. 154. 1864.

² CHURCH, Geol. Mag. 2. 322. 1875.

³ HINTZE, Handb. d. Min. I. 1666.

⁴ Solche Sprünge erscheinen natürlich auch ohne pleochroitischen Hof; so beobachtete sie JOHNSON am Zirkon in Apatit. N. Jahrb. f. Min. etc. Beil.-Bd. 14. 21. 1901; vgl. auch die p. 757 f. mitgeteilten Beobachtungen.

zahllose Sprünge in Kristallen von den südnorwegischen Gängen an, HUSSAK¹ in solchen von Bahia, MANN² in Monazit mit Thoriteinschlüssen. Auch um Orthit wurden solche Zersplitterungen z. B. von BORGSTRÖM³ beobachtet; die Sprünge strahlen von den Orthitkörnchen aus und gleichen zuweilen denen, die bei Gesteinsprengungen mit Dynamit rund um die Einsatzstelle des Sprengstoffes entstehen. BORGSTRÖM setzt hinzu, daß die Erscheinung möglicherweise in Zusammenhang stehe mit dem Übergang des Orthit in den amorphen Zustand. Um isotropisierten Gadolinit von Ytterby konnte ich makroskopisch ganz Ähnliches beobachten, auch erschienen die Plagioklase in seiner Umgebung auffallend verbogen.

Wenn der isothermische kubische Kompressionskoeffizient k dieser Minerale bekannt wäre, könnte man aus ihrer Dichteänderung den Maximaldruck, den sie bei ihrer Isotropisierung ausüben können, berechnen. Nimmt man an, daß dieser zwischen dem Kompressionskoeffizienten des Turmalin $k_1 = 0,000113$ und dem (besonders kleinen) des Topas $k_2 = 0,0000059$ liegt⁴, was hinsichtlich der Größenordnung wohl zutreffen wird, so ergeben sich aus den beobachteten Dichteänderungen $d_1 - d_2$ für diese Maximaldrucke P_1 und P_2 in kg/cm^2 folgende Werte:

	Dichte		$P_1 = \frac{d_1 - d_2}{k_1 \cdot d_1}$	$P_2 = \frac{d_1 - d_2}{k_2 \cdot d_1}$
	d_2 vor dem Glühen	d_1 nach dem Glühen		
Gadolinit, Ytterby	4,29	4,52	45 000	865 000
Zirkon	4,183	4,534	68 300	1 300 000
„	4,166	4,526	70 000	1 342 000

Man kann also gewaltige Sprengwirkungen radioaktiver Substanzen erwarten, auch da, wo das NERNST'sche Zündholz⁵ mit der Endzündungstemperatur von 10^{10} Grad Celsius nicht zur Verfügung steht; denn der statische Maximaldruck von guten Explosivstoffen erreicht nur ca. 45 000 Atm. Daß in Wirklichkeit obige Maximaldrucke erreicht werden, ist allerdings nicht anzunehmen, denn bei der obigen Rechnung ist vorausgesetzt, daß der gepreßte Körper rings von unmachgiebigen Wänden umschlossen sei, während hier die umschließenden Minerale vermutlich einen ähnlichen Kompressionskoeffizienten wie das umschlossene haben.

¹ HUSSAK, TSCHERM. Min.-petr. Mitt. 18. 347. 1898.

² MANN, Diss. Leipzig 1904. p. 5.

³ BORGSTRÖM, Bull. Comm. géol. Finl. 41. 25. 1914.

⁴ LIEBISCH, Grundriß d. phys. Krist. p. 443.

⁵ NERNST, Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschung. Berlin 1921.

Nach den Versuchen von F. D. ADAMS¹ wird der Zerfall radioaktiver Stoffe noch nicht verhindert durch einen Druck wie er in 50 miles Tiefe in der Erdkruste herrscht (d. i. etwa 24 000 Atm.). Wie man sieht, können hier aber doch erheblich höhere Drucke auftreten (schon an der Erdoberfläche!), so daß jene Versuche für die Beurteilung der natürlichen Vorgänge in größeren Erdtiefen nicht sehr viel bedeuten. Andererseits sind die Drucke nicht so hoch, daß nicht Aussicht bestände, die Geschwindigkeit der Rekristallisation und die Temperatur, bei der sie merklich wird, zu beeinflussen (erniedrigen). Ein dahin zielender Versuch, bei dem ein isotrop befundener Dünnschliff, von dem einige Teile schon bei 600⁰ kristallin geworden waren (aus dem oben untersuchten Material), 22' auf rund 400⁰ und unter einem Druck von rund 18 700 Atm. gehalten wurde, ergab, daß noch keine Rekristallisation eingetreten war². (Schluß folgt.)

Zur Gliederung des Mitteldevons der Eifel auf Grund von Korallen.

Von R. Wedekind

(auf Grund gemeinsamer Untersuchungen mit W. BÖRCHERS u. E. VOLLRBRECHT).

Nachdem durch unsere ersten Aufsammlungen und die an diese anschließende Untersuchung des Materials die biostratigraphischen Einheiten festgelegt waren, mußte es sich nunmehr darum handeln, die gegenseitige Lage der einzelnen biostratigraphischen Einheiten festzulegen. Die 1922³ niedergelegte Auffassung branchte nur in wenigen Punkten korrigiert zu werden. Die Untersuchungen von E. VOLLRBRECHT hatten ergeben, daß die Üxheimer Tilliphyllenstufe eine selbständige biostratigraphische Einheit darstellt. Sie liegt, wie sich jetzt zweifellos ergeben hat, zwischen H und Do. Die Zone C₂ des *Cosmophyllum Geigeri* liegt unmittelbar über der Zone der *Newberria amygdalina* und unter der Zone des *Cosmophyllum*

¹ F. D. ADAMS, Nature. 76. 269. 1907 u. Naturw. Rundschau. 1907. 440.

² Es wurde dieselbe Einrichtung wie bei den Translations- und Schiebungsversuchen (O. MÜGGE, N. Jahrb. f. Min. etc. 1920. 24) benutzt; Erwärmung des Druckzylinders in elektrischem Ofen. Daß der Druck annähernd hydrostatisch war, ergibt sich aus demnächst veröffentlichten Versuchen. Eine Wiederholung des Versuches war einstweilen nicht möglich, da schon bei diesem der zur Einbettung benutzte Ton nicht mehr quellungsfähig war, auch Stempel und Preßzylinder schon begonnen hatten sich zu verschweißen.

³ R. WEDEKIND, Die Gliederung des Mitteldevons auf Grund von Korallen. Sitz.-Ber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturw. zu Marburg. April 1922.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1922

Band/Volume: [1922](#)

Autor(en)/Author(s): Mügge Johannes Otto Conrad

Artikel/Article: [Über isotrop gewordene Kristalle. 721-739](#)