Ueber die Dissoziationstemperatur der Hornblende und ihre rapide Ausdehnung bei derselben.

Von

Shukusuké Kôzu und Bumpei Yoshiki.

Mit Taf. XI und 2 Textfiguren.

Es ist heutzutage allgemeine Annahme der Mineralogen, dass die Hornblende inkongruent ist, d.h., dass der Kristall bei niedrigerer Temperatur als ihr tatsächlicher Schmelzpunkt in andere Mineralsubstanzen dissoziiert. Doch ist das thermale Aequilibrium, das schon in den Fällen von Klinoenstatit, Orthoklas u.s.w. bestimmt ist, für dieses Mineral noch nicht bekannt. Aus den von Doelter⁽¹⁾ erhaltenen Resultaten erfahren wir, dass die Hornblende bei höher Temperatur in Magnetit und Augit oder Olivin zersetzt wird. Letzthin nahm man als Schmelzpunkt 1065°–1155° C an.

Das Studium der thermalen Eigenschaften des Minerals ist keine leichte Aufgabe, da dasselbe als wesentliche chemische Bestandteile Eisenoxyde enthält. Ausserdem ist die Frage noch nicht gelöst, in welcher Art der Kristall das Wasser bewahrt.

Es liegt nicht in unserer Absicht an dieser Stelle über die obengenannten Probleme zu diskutieren, da weder Idee noch Methode des Experiments besonders neu sind. Jedoch scheinen uns die erhaltenen Resultate zu genügen, um als neue Data bezüglich der thermalen Eigenschaften der Hornblende zu den wenigen schon bekannten hinzugefügt zu werden.

Die Fundorte für die in diesem Experiment benutzten Hornbelndekristalle sind: Ikebukuro, Suwa, Provinz Shinano in Mittel-Japan und Shichiseizan auf Formosa. Sie kommen

(1) C. Doelter: Neue Bestimmung von Schmelzpunkten. *Tscherm. Min. petrogr. Mitt.*, Bd., 21, 1902, 26.

häufig als einzelne Kristalle vor, welche früher die Einsprenglinge des Hornblendeandesites bildeten. Der Kristallhabitus ist wie gewöhnlich ohne Besonderheiten nach der kristallographischen c-Achse zu verlängert, mit gut entwickeltem (110) und (010). Die Kristallflächen sind immer von einer sehr dünnen schwarzen oder braunen Schicht bedeckt, welche sich mikroskopisch als Reaktionsrand bestimmen lässt. In Dünnschliff enthält die Hornblende von Ikebukuro sehr kleine Mengen von Einschlüssen, d.h. sehr wenige Kristalle rundlichen Olivins und winzigen Magnetits. Der Pleochroismus ist a =grünlich hellbraun, b =grünlich braun und c =rötlich braun, wo optische Orientierung $b=b$ und $c \wedge c = 2^\circ - 3^\circ$ beträgt. Der Kristall ist häufig von Rissen und Vertiefungen durchzogen, und wenn diese gross sind, von dem sie umgebenden Magma durchdrungen. Die Shichiseizanhornblende enthält reichliche Einschlüsse ziemlich grosser Plagioklaskristalle und einige kleiner Mengen von Magnetit. Die übrigen optischen Eigenschaften sind mit denen der anderen Fundorte fast gleich.

Die drei hauptsächlichsten Brechungsexponenten eines Kristalls von Ikebukuro sind nach der Immersionsmethode

$$\alpha = 1,672, \quad \beta = 1,696, \quad \gamma = 1,719.$$

Der optische Achsenwinkel beträgt nach Berechnung der obengenannten Figuren $2V_\gamma = 92^\circ 24'$.

Wir unternahmen an den Kristallen von Hornblende und Hornblendeandesite die folgenden thermalen Versuche:

Im ersten Versuch wurden die isolierten Kristalle der Hornblende bei verschiedenen Temperaturen in Nitrogas unter einem Atmosphärendruck erhitzt, indem die Oxydation, welche durch Eintreten von Oxygen aus der Luft verursacht wird, vermieden wurde. Zur Heizung wurde ein elektrischer Ofen verwendet und die Temperatur vermittelt eines Thermoelements Pt-Pt.Rh, das mit einem Pyrometer verbunden war, gemessen. Die so behandelten Kristalle wurden in Dünnschliff geschnitten und mikroskopisch untersucht.

Der Kristall von Formosa zeigt bei einstündiger Erhitzung

auf 900°C, bis auf eine leichte Veränderung im Pleochroismus, keine optischen Besonderheiten. Bei 1000°C beginnt sich die Farbe des Dünnschliff längs der Oberfläche und den Spalten des Kristalls zu verändern und wird rötlich braun, während der innere Teil desselben ganz unverändert bleibt. Bei 1050°C verändert sich das ganze Hornblendematerial in eine schwarze undurchsichtige Substanz, welche bei reflektiertem Licht rötlich braun erscheint. Bei 1100°C zeigt die bei 1050°C undurchsichtig werdende Substanz eine geschichtete Struktur längs der ursprünglichen Spaltungslinien, welche durch heterogene Verteilung sehr feiner schwarzer Körnchen verursacht wurde. Diese Körnchen erscheinen viel dichter in dem innern Teile zwischen den Spaltungslinien. Zwischen dem gekreuzten Nicols bemerkt man eine leichte Doppelbrechung. Sehr selten beobachtet man winzige Prismen pyroxiner Kristalle, die eine gerade Auslöschung zeigen. Bei 1200°C werden viele gut unterscheidbare Kristalle rhombischen Pyroxens in geschmolzenem Material sichtbar, das durch sehr kleine Magnetitkristalle getrübt ist (Fig. 1. Taf. XI).

Aus den oben beschriebenen Bemerkungen ersehen wir, dass der in Nitrogengas erhitzte Hornblendekristall eine plötzliche Veränderung zeigt, welche inneren chemischen Reaktionen bei ca. 1050°C zuzuschreiben ist.

Im zweiten Versuch bemerkten wir die Art und Weise der Ausdehnung des von der Temperatur beeinflussten Kristalls. Die Erhitzung desselben wurde auch in Nitrogengas wie im vorhergehenden Falle ausgeführt. Der durch Erhitzung des Kristalls verursachte lineale Wechsel wurde mittelst eines Differential Dilatometers gemessen, der in seinen wesentlichen Teilen dem früher für die Messung der thermalen Ausdehnung des Quarzes und Alkalifeldspats angewandten ähnlich ist, obgleich einige Änderungen gemacht wurden, um die Messung in dem Nitrogengas zu ermöglichen und das Eintreten des Sauerstoffes aus der Luft zu verhindern. Auf diese Weise musste die Genauigkeit der durch diese Methode erhaltenen Resultate weniger verringert werden als die der Feldspatmessung.

Es war nicht leicht, von der dilatometrischen Messung der Hornblendekristalle ein genaues Resultat zu erhalten, was im wesentlichen davon abhing, dass die guten Kristalle, die jetzt in unserem Besitz sind, sich für diesen Zweck nicht gross genug erwiesen, und dass die grösseren gewöhnlich, wie oben erwähnt, von Rissen und Vertiefungen durchzogen sind. Demzufolge kommen die von verschiedenen Kristallen erhaltenen Resultate, welche eine rapide Ausdehnung bei einer Temperatur, bei der die Dissoziationsreaktion im Kristall stattfindet, anzeigen, bis auf eine Ausnahme nicht in Uebereinstimmung. Zu dieser Messung wurde ein Zylinder, dessen Achse parallel zu der c-Achse des Kristalls ist, geschnitten und die thermale Ausdehnung längs dieser Richtung bestimmt. Um die allgemeine Gestalt der Ausdehnungskurve zu zeigen, wurden hier unter vielen Ergebnissen von verschiedenen Kristallen zwei ausgewählt, wie aus Tab. I und II und aus Abb. 1 und 2 ersichtlich ist.

Tabelle I (Shichiseizan)

Temperatur in °C	Ablenkungszahl auf Skala in cm	Ausdehnung in %
30	0,00	0,00
100	0,35	0,07
200	0,90	0,09
300	1,70	0,16
400	2,55	0,24
500	3,35	0,32
600	4,35	0,41
700	5,35	0,51
800	6,35	0,60
900	7,35	0,70
950	7,85	0,75
1000	8,35	0,79
1020	8,45	0,80
1040	8,45	0,80
1050	8,65	0,82
1060	8,95	0,85
1070	10,00	0,95
1080	12,80	1,22
1090	14,65	1,43
1100	14,25	1,35

Tabelle II (Ikebukuro)

Temperatur in °C	Ablenkungszahl auf Skala in cm	Ausdehnung in %
30	0,00	0,00
100	0,55	0,05
200	1,55	0,14
300	2,55	0,24
400	3,80	0,35
500	5,30	0,49
600	6,20	0,57
700	7,25	0,67
800	8,25	0,75
900	9,20	0,84
1000	10,15	0,93
1050	10,55	0,97
1070	10,55	0,97
1090	10,40	0,95
1100	11,10	1,02
1110	13,40	1,18
1120	14,70	1,35

Fig. 1. (Shichiseizan)

Fig. 2. (Ikebukuro)

Aus dem oben erwähnten Grunde sind die in den Tabellen angegebenen Zahlen nicht sehr genau. Jedoch sind die rapiden Ausdehnungen, die bei 1040°C in der Shichiseizanhornblende und bei 1080°C in der Ikebukurohornblende beginnen, recht beträchtlich, und gehen weit über die Grenzen des experimental erlaubten Fehlers hinaus. Diese durch uns gemessene Tem-

peratur schwankt zwischen 1040°–1070°C in verschiedenen Kristallen von Shichiseizan und zwischen 1080°–1100°C in solchen von Ikebukuro. Ausdehnungskoeffizient des Kristalls in der Temperaturreihe von 20°C zu ca. 1050°C, bei welchem die Dissoziation begonnen hat, wird annähernd als 0,82–0,97 % gegeben. Der durch die rapide Ausdehnung verursachte Wert wird auch als ca. 0.63 % in den Shichiseizankristallen und ca. 0.40 % in denen von Ikebukuro gegeben, doch muss dieser Wert viel kleiner als der tatsächliche sein, weil der Kristall vermittelt Drahtfedern gegen die Ausdehnungsrichtung der Kristalle gepresst war und die Festigkeit des Hornblendematerials plötzlich durch seine chemische Dissoziation abnimmt.

Aus dem zweiten Versuch ist ersichtlich, dass der Hornblendekristall rapid den Ausdehnungskoeffizienten längs seiner c-Achse bei der Temperatur, bei welcher der chemische Dissoziationsprozess in dem erhitzten Kristall stattfindet, erhöht.

Der dritte Versuch bestand darin, den Einfluss der Dissoziationstemperatur auf die in das Andesitgestein eingebetteten Hornblendekristalle festzustellen. Zu diesem Zwecke wurde ein Art Hornblendeaugitandesites, aus welchem der Vulkan Futago im Nordosten von Kyûshû gebildet ist, benutzt. Das Gestein besteht in der hellgrauen festen Grundmasse aus reichlichen Einsprenglingen von Hornblende. Augit und Plagiokals kann kaum mit blossen Auge bemerkt werden. Unter dem Mikroskop erscheinen die grösseren Teile der Einsprenglinge als braune Hornblende mit einer viel geringeren Menge von hellgrüngelblich gefärbtem Augit (Fig. 2 Taf. XI). Plagioklas ist in bedeutend geringerer Menge und Grösse vorhanden als Mikro-einsprenglinge, während das Mineral ($Ab_{47} An_{53}$ mit den Brechungsindices zwischen 1,558–1,560) den wesentlichen Teil der Grundmasse, in Form von kleinen Prismen und in fluidaler Anordnung bildet. Magnetit erscheint als akzessorischer Komponent und Apatit kann nur als Einschluss in Plagioklas beobachtet werden.

Unter den wesentlichen Komponenten ist Augit das erste

Mineral, welches in der Lava zu kristallisieren beginnt, die Hornblende das zweite, welcher das Plagioklas folgt.

Zum thermalen Experiment wurde das Gestein in Form von Prismen in Grösse von $8 \times 10 \times 37$ mm geschnitten und in Nitrogengas bei einer Temperatur von beinahe der der Dissoziation der Hornblende erhitzt, wodurch wir ein interessantes Resultat erhielten.

Wie schon in Fig. 3 und 4, Taf. XI gezeigt wurde, wird das Hornblendematerial durch thermale Ausdehnung aus der bis auf 1100°C erhitzten Andesitmasse merklich herausgetrieben. Die Ausdehnungsrichtung ist parallel mit der kristallographischen c-Achse. Es ist zweifellos, dass diese Ausdehnung mit der durch die dilatometrische Messung festgestellte, übereinstimmt. Aus diesem Phänomen können wir ersehen, dass die Ausdehnungskraft recht stark sein muss. Mikroskopisch verändert sich die so behandelte in Andesit eingebettete Hornblende in schwarzes undurchsichtiges Material, indem es noch seine Originalkristallform bewahrt. Doch können zwischen der Endoberfläche des Kristalls und der Grundmasse leere Räume beobachtet werden, welche noch bei der angewandten Temperatur unverändert blieben (Fig. 5 Taf. XI).

Aus den Resultaten der obigen drei Experimente ersehen wir, dass die chemische Dissoziation der braunen Hornblende in der Temperaturreihe zwischen 1040° – 1100°C beginnt, in dem Prozess eine ungeheuere Ausdehnung ergibt, und zwar in der Richtung parallel zur kristallographischen c-Achse mit einer ganz beträchtlichen Kraft.

Erläuterungen zu dem Tafel XI.

Fig. 1. Der Hornblendemikrophotograph auf 1200°C erhitzt. Rhombische Pyroxene ist in der schwarzen Substanz, welche mit feinen Magnetitkörnern gefüllt ist, sichtbar.

Mit Polarisator. Vergrößerung 145 fach.

Fig. 2. Der zum Experiment 3 benutzte Hornblendeandesit-Mikrophotograph. Der grösste Kristall ist die von Hypersthen durchdrungene braune Hornblende.

Mit Polarisator. Vergrößerung 50 fach.

Fig. 3. Die aus der Andesitmasse bei einstündigem Erhitzen bei 1085°C in Nitrogenatmosphäre herausgetriebenen Hornblendekristalle.

Vergrößerung $1\frac{1}{2}$ fach.

Fig. 4. Wie in Fig. 3. Vergrößerung 2 fach.

Fig. 5. Der einstündig bei 1200°C in Nitrogenatmosphäre erhitzte Hornblendeandesit Mikrophotograph. Der schwarze Teil ist das Veränderungsprodukt von Hornblende, welches über seine Dissoziationstemperatur hinaus erhitzt wurde. Der leere Raum um die schwarze Substanz ist der beim Abkühlen durch die Kontraktion der Hornblendekristalle und Grundmasse erzeugte.

Mit Polarisator. Vergrößerung 45 fach.