oder durch die nach unserer Lichttheorie mit ihr äquivalente Formel:

$$\Delta = \frac{a}{\lambda^2 \left(1 - \frac{\lambda_0^2}{\lambda^2}\right)^2}$$

mit grosser Annäherung dargestellt wird.

Erlangen, im August 1883.

IV. Ueber eine einfache Methode zur Untersuchung der Thermo-, Actino- und Piëzoelectricität der Krystalle¹⁾; von A. Kundt.

(Hierzu Taf. V Fig. 1–14.)

Die genaue Untersuchung der thermo-electrischen Eigenschaften der Krystalle ist, wie insbesondere die umfassenden Arbeiten Hankel's zeigen, eine sehr mühsame und schwierige Arbeit. Die Ermittlung der Electricität jedes einzelnen Punktes der Oberfläche mit Hülfe des Electrometers erfordert nicht nur viel Zeit, sondern auch eine Reihe von Vorsichtsmaassregeln. Von der Thermoelectricität der Krystalle unterscheidet Hr. Hankel noch eine Electricitätserregung, welche durch Strahlen, und zwar hauptsächlich solche geringer Brechbarkeit, hervorgebracht wird, von ihm Actinoelectricität genannt. Endlich bedingt nach der Entdeckung der Herren J. und P. Curie bei hemimorphen Krystallen der Druck eine Electricitätserregung, die Piëzoelectricität.²⁾ Die genaue electrometrische Untersuchung der Actino- und der Piëzoelectricität bietet im wesentlichen die gleichen Schwierigkeiten wie die der Thermoelectricität.

Für eine möglichst allseitige Erforschung der Krystalle wäre es sehr erwünscht, eine Methode zu besitzen, welche auf einmal die electricische Vertheilung auf der ganzen Ober-

1) Im Auszug mitgetheilt in den Sitzungsber. d. k. Acad. der Wiss. zu Berlin. 1883. 16. p. 421–425.

2) Die betreffende Literatur findet sich citirt bei Hankel, Wied. Ann. 19. p. 818–844. 1883.

fläche eines Krystalles zur Anschauung brächte, selbst dann, wenn die Methode quantitative Messungen nicht zuliesse. Ich habe eine solche gefunden, die an Einfachheit und Bequemlichkeit der Handhabung nichts zu wünschen übrig lässt. Die Methode ist die gleiche, welche schon Lichtenberg angewandte, um die Anordnung der positiven und negativen Electricität auf einem Isolator, auf welchen Electricität übergeströmt ist, sichtbar zu machen.

In dem Moment, in welchem die durch Temperaturänderung oder durch Druck auf einem Krystall hervorgerufene electricische Vertheilung bestimmt werden soll, bestäubt man denselben mit einem Gemenge von Schwefel und Mennige, welches durch ein engmaschiges Sieb von Baumwolle hindurchgesiebt wird. Bekanntlich wird bei diesem Vorgange das Schwefelpulver negativ, die Mennige positiv electricisch, und ebenso wie bei den Lichtenberg'schen Figuren setzt sich nun der negative Schwefel auf diejenigen Theile der Krystalloberfläche, welche positiv sind, die Mennige auf die negativen. Die Anordnung der beiden Pulver gibt dann ein sehr anschauliches Bild von der electricischen Anordnung auf der Oberfläche.

Das angegebene Verfahren ist so einfach und eigentlich so nahe liegend, dass es mir unwahrscheinlich war, dass dasselbe nicht schon angewendet sein sollte. Ich konnte indess in der einschlägigen Literatur keine Andeutung desselben finden. Ich habe zunächst die Methode nur auf eine kleine Zahl von Substanzen, welche stärkere electricische Erregung zeigen, angewandt. Ob auch die Thermoelectricität von Krystallen, welche diese nur in sehr geringem Grade zeigen, mit derselben untersucht werden kann, muss ich dahin gestellt sein lassen.

Ich gebe zunächst einige allgemeine Bemerkungen bezüglich der Methoden.

Die zu benutzenden Pulver.

Bekanntlich wird nicht nur ein Gemenge von Schwefel und Mennige beim Durchsieben durch ein engmaschiges Netz von Baumwollenzstoff in der Weise electricisch, dass der eine

Bestandtheil des Gemisches die eine, der andere die andere Electricität annimmt, sondern noch eine Anzahl anderer Pulvergemische verhalten sich ebenso. An Stelle der Mennige kann das Oxyd eines anderen schweren Metalles, z. B. Eisenoxyd, genommen werden, und der Schwefel lässt sich, wie ich gefunden habe, durch sehr fein vertheilte Kieselsäure, welche aus Wasserglas niedergeschlagen ist, ersetzen. Es scheint indess als ob gerade Mennige und Schwefel durch Reibung aneinander sehr stark electrisch werden, und das Gemisch aus beiden functionirt daher, soweit meine Erfahrung reicht, am besten. Nicht mehr verwendbar ist das Pulvergemisch bei Temperaturen, bei denen der Schwefel schmilzt (117°C.). An Stelle desselben nimmt man dann am besten sehr fein zertheilte Kieselsäure.

Handelt es sich um lang andauernde Untersuchungen, bei denen fortwährend grosse Pulvermengen durchsiebt werden müssen, so ist mit einiger Vorsicht zu verfahren. Der dabei unvermeidlich in grösserer Menge in Mund und Nase gelangende Mennigstaub kann der Gesundheit nachtheilige Folgen haben. Es ist daher gut, die zu bestäubenden Krystalle unter einen gut ziehenden seitlich geschlossenen Abzug zu bringen und in diesen hinein das Gemisch zu stäuben.

Nöthigenfalls kann an Stelle der Mennige auch Eisenoxyd treten. Die Pulver müssen vor dem Mischen möglichst fein gerieben werden. Nachdem sie gut durcheinander gerührt sind, muss das Gemisch vor der Benutzung erst noch einige mal durch ein Sieb geschüttet werden. Selbstverständlich sind die Pulver getrocknet anzuwenden. Man nimmt etwa gleiche Volumentheile Mennige und Schwefelblumen oder Eisenoxyd und Kieselsäure. Bei den Versuchen sieht man übrigens bald, ob man von dem einen oder anderen Gemengtheil zu wenig hat.

Der Bestäubungsapparat.

Zum Bestäuben der Krystalle mit dem Pulvergemisch bediene ich mich eines kleinen Apparates, dessen man sich in den Vorlesungen zur Erzeugung der Lichtenberg'schen Figuren zu bedienen pflegt. Eine Art Blasebalg aus Leder

(Fig. 1) ist am breiteren Ende mit einem abschraubbaren Deckel versehen, um das Pulvergemisch einzufüllen. Am anderen Ende ist über die Oeffnung ein Stück Mousselin gelegt, durch dessen Maschen das Pulver geblasen wird. Das Stückchen wird durch einen aufgeschraubten Deckel, der in der Mitte ein Loch von ca. 6 mm Durchmesser hat, festgehalten.¹⁾ Beim Bestäuben mit dem Apparate muss derselbe in einiger Entfernung von den Krystallen gehalten werden, sodass der Luftstrom letztere nicht direct trifft, vielmehr nur die langsam niederfallenden Pulvertheilchen in die Nähe des Krystalles kommen.

Die im Nachstehenden angegebenen Versuche sollen nur dazu dienen, die Verwendbarkeit der Methode zu zeigen; dieselben machen keinen Anspruch darauf, nach irgend einer Richtung erschöpfend zu sein. Eine ausgedehntere Untersuchung des Boracits, welche Hr. Mack auf meine Veranlassung unternommen hat, wird demnächst in Groth's Zeitschrift für Krystallographie erscheinen. Die Untersuchung einer grösseren Anzahl von Quarzen mit der beschriebenen Methode ist bereits von anderer Seite begonnen.

Electricität durch Druck. (Piezoelectricität.)

Die Electricitätserregung durch Druck kann am Turmalin und noch leichter am Quarz beobachtet werden. Prismatische Stücke von Turmalin oder Quarz, in einem Schraubstocke in geeigneter Weise gepresst und nach dem Pressen mit dem Pulvergemenge bestäubt, zeigen deutlich die Vertheilung der Electricität. Als Beispiel diene eine sechseckige Quarzplatte, die, wie die thermoelectrische Untersuchung ergab, aus einem durchaus einfachen Quarz senkrecht zur Axe geschnitten ist. Die Verbindungslinien der Ecken fallen sehr nahe mit den drei Nebenaxen des Quarzes zusammen. Presst man die Platte im Schraubstocke in der Richtung der Verbindungslinie zweier Ecken und bestäubt, so erhält man die Anordnung des Pulvers, wie sie in Fig. 2 ge-

1) Der Apparat ist von Hrn. Mechaniker F. Majer, Strassburg i. E., Krämergasse 10 zum Preise von 7 M. zu beziehen.

zeichnet ist. Die Pfeile bei *a* und *b* in der Figur geben die Druckrichtung. Die gleiche Figur erhält man selbstverständlich, wenn in Richtung einer der beiden anderen Nebenaxen gepresst wird. Presst man dagegen zwei gegenüberliegende Seitenflächen, also in Richtung der Mittellinie zwischen zwei Nebenaxen, so erhält man Fig. 3.

Vor dem Pressen ist den Platten durch Ueberfahren mit einer Alkoholflamme die auf der Oberfläche vorhandene Electricität zu nehmen.

Benutzt man statt einer sechseckigen eine kreisrunde, zur Hauptaxe senkrecht geschnittene Platte, sodass man in allen möglichen zur Hauptaxe senkrechten Richtungen pressen kann, so bekommt man Pulveranordnungen, die Uebergänge zwischen den in Fig. 2 und 3 gezeichneten darstellen. Platten aus nicht einfachen, sondern verwachsenen Quarzen geben nicht die beschriebenen regelmässigen Figuren, sondern unregelmässig verzerrte. Bei solchen verwachsenen Krystallen sind dann auch fast immer die Figuren verschieden, je nachdem man in der einen, der anderen oder der dritten Nebenaxe presst.

Thermo- oder Pyroelectricität.

1. Quarz. — Bezüglich der Thermoelectricität des Quarzes bedarf es einer Vorbemerkung. Hr. Hankel unterscheidet, wie schon bemerkt, von der thermoelectrischen Erregung des Quarzes die actinoelectrische. Letztere soll hervorgebracht werden durch Strahlen geringer Brechbarkeit (Wärmestrahlen), welche den Quarz treffen. Die Unterscheidung ist nach Hankel nöthig, da eine Stelle des Quarzes, welche beim Erwärmen positiv wird, dann, wenn sie von Strahlen getroffen wird, negative Electricität zeigt. Da meine Erfahrung in dem fraglichen Gebiete nicht ausreicht, um in jedem Falle zu entscheiden, welcher Theil der Electricitätserregung, die ein Krystall zeigt, durch Temperaturänderung, welche durch Bestrahlung (nach Hankel) bedingt ist, so will ich einfach die Versuche beschreiben und dabei ganz unentschieden lassen, ob die Electricität, welche die Pulver geben, als Thermo- oder Actinoelectricität zu bezeichnen ist.

In meiner ersten Mittheilung¹⁾ habe ich angegeben, dass wenn es sich darum handelte, einen ganzen Quarzkrystall zu untersuchen, derselbe, nachdem er bis etwa 100° C. erwärmt war, in möglichst niedriger Temperatur (Kältemischung) abgekühlt wurde. Es wurde hernach gefunden, dass die Versuche sehr gut in folgender einfachen Weise gelingen. Der zu untersuchende Quarz wird möglichst gut gereinigt, dann in ein Luftbad gebracht; als solches eignet sich ganz gut ein gewöhnlicher Trockenkasten, wie er in chemischen Laboratorien gebraucht wird. Um den Krystall im Trockenkasten bequem stellen zu können, setze ich das untere, meist verbrochene Ende in einen Kork. Es wird bis etwa 70° erhitzt, dann lässt man die Temperatur des Bades bis auf 55–45° sinken, nimmt den Quarz heraus, zieht ihn durch eine Alkoholflamme, um alle auf seiner Oberfläche etwa befindliche Electricität wegzunehmen, und bestäubt nun von allen Seiten. Hat man einen völlig einfachen, durchaus nicht verwachsenen Quarz, so setzt sich Mennige und Schwefel an die abwechselnden Prismenkanten scharf getrennt nieder; zuweilen erstrecken sich diese Pulverstreifen auch noch auf die den Prismen aufsitzenden Pyramidenflächen.

Fig. 4 zeigt die Anordnung auf den sechs Prismenflächen eines einfachen Quarzes, die in eine Ebene abgewickelt gezeichnet sind. Die Figur ist nach einer Anzahl von Versuchen an verschiedenen einfachen Krystallen gezeichnet. Ist der benutzte Krystall aber zusammengesetzt, indem entweder lauter optisch gleich drehende oder optisch entgegengesetzt drehende Partien durch einander gewachsen sind, so wird die Pulvertheilung auf der Oberfläche verändert und zuweilen sehr complicirt.

Fig. 5 und 6 geben die Pulveranordnung auf den Prismenflächen zweier stark verwachsenen Krystalle. Die unter die Pulverfiguren gezeichneten Strichelchen bezeichnen die Grenzen der sechs Prismenflächen. In Fig. 6 sind nicht alle sechs Prismenflächen wiedergegeben.

1) A. Kundt, Sitzungsberichte der königl. Academie zu Berlin. 16. p. 421. 1883.

Es dürfte wohl kaum ein bequemerer Mittel geben, zu entscheiden, ob ein Quarz verwachsen, eventuell wie er verwachsen ist, als die Untersuchung der Thermoelectricität desselben mit Hülfe der beschriebenen Bestäubungsmethode.

Um die Vertheilung der Electricität bei möglichst einfacher äusserer Gestalt des Krystalles zu haben, wurden auch drei Quarzkugeln untersucht. Dieselben, von Hrn. Stern in Oberstein bezogen, waren zufällig alle drei aus völlig unverwachsenen Krystallen geschliffen. Die Durchmesser betrugen 16–12 mm. Alle drei gaben die einfache in Fig. 7 dargestellte Pulveranordnung. Sechs Sektoren, die abwechselnd roth und gelb sind, zeigen sich auf den Kugeln. Die Verbindungslinie der Pole, an denen die sechs Sektoren zusammenstossen, ist die Richtung der optischen Axe; diese liegt in der Zeichnung senkrecht zur Ebene des Papiers.

Sehr gut lassen sich endlich Quarzplatten mit der neuen Methode untersuchen.

Erwärmt man eine Platte, welche senkrecht zur Hauptaxe aus einem einfachen, nicht verwachsenen Quarz geschnitten ist, im Luftbad und bestäubt sie bei der Abkühlung, so werden, wie zu erwarten, drei um je 120° voneinander abstehende Ecken roth und die dazwischen liegenden gelb. Soll starke Electricitätserregung auftreten, so muss die die Temperaturerhöhung oder -erniedrigung bedingende Wärmebewegung möglichst senkrecht zur Hauptaxe, also in Richtung der Axen der Hemimorphie, des Quarzes stattfinden.

Ich erreichte dies in folgender Weise. Ein Messing- oder Kupfercylinder von etwa 25 mm Höhe und etwa 8 mm Durchmesser wird in der Flamme eines Bunsen'schen Brenners recht heiss gemacht, vertical aufgestellt und dann wird auf ihn die gut gereinigte und von Electricität befreite Quarzplatte gelegt. Es tritt jetzt ein intensiver radialer Wärmestrom in der Platte auf. Bestäubt man während der Erwärmung, und zwar möglichst schnell nach dem Auflegen der Platte, so erhält man fast immer sofort sehr scharfe Pulverfiguren. Es ist vortheilhaft, die Platte nicht zu dick zu nehmen.

Fig. 8 zeigt die Anordnung des Pulvers bei einer senk-

recht zur Hauptaxe geschnittenen, nicht verwachsenen Quarzplatte; die Verbindungslinien der gegenüberliegenden Ecken der sechsseitigen Platte sind die Richtungen der Nebenaxen.

Fig. 9 und 10 gehören zwei verwachsenen Quarzplatten zu. Jede der beiden senkrecht zur Axe geschnittenen Platten zeigt zwischen Nicol'schen Prismen eine völlig gleichmässige Färbung. Es sind also in jeder Platte nur Stücke von gleicher Drehung der Polarisationssebene durcheinander gewachsen. In meiner ersten, oben citirten Mittheilung ist noch eine andere verwachsene Quarzplatte abgebildet.

In Fig. 11 gebe ich noch die Pulveranordnung auf einer Platte aus einem einfachen Zwilling. *ab* bezeichnet die Zwillingsebene; die eine Seite der Platte ist rechtsdrehend, die andere linksdrehend.

Es liegt nahe, die Pulverfiguren, welche man erhält beim Pressen, beim Abkühlen oder Erwärmen in freier Luft, und beim Erwärmen und Abkühlen durch Aufsetzen auf heisse oder kalte Messingcylinder eines und desselben Krystalles oder einer und derselben Krystallplatte zusammenzustellen und zu vergleichen. Eine solche Vergleichung würde von Interesse sein, erstens in Anbetracht der Differenz, welche zwischen Hrn. Hankel und den Herren Friedel und Curie über die Existenz einer Actinoelectricität beim Quarz besteht, andererseits bezüglich der von Hrn. Röntgen neuerdings ausgesprochenen Anschauung, dass die Thermoelectricität aller Krystalle lediglich durch Spannungsänderungen in den Krystallen entsteht, also als Druckelectricität aufzufassen sei.

Ich gehe indess auf eine vergleichende Zusammenstellung der Pulverfiguren hier nicht ein, da das mir zur Verfügung stehende Beobachtungsmaterial nicht ausreichte, um die einschlägigen Fragen mit voller Sicherheit zu beantworten.

Turmalin.

Die Turmaline, die ich untersuchte, hatten meistens nur ein ausgebildetes Ende. Diejenigen von Snarum in Norwegen zeigten sich wenig electrisch beim Abkühlen; Krystalle von Mursinsk in Sibirien gaben beim Bestäuben in geringem Maasse an einem Ende Anhäufung der Mennige,

an anderen des Schwefels; zwei dunkle Turmaline aus Brasilien zeigten beim Bestäuben während des Abkühlens in Luft sehr schön den analogen und antiligen Pol. Ausserdem setzten sich die Pulver auch zuweilen auf den Prismenflächen in mehr oder minder regelmässiger Weise ab.

Das verschiedene Verhalten der Turmaline führte mich dazu, einige Krystalle senkrecht zur Axe zu durchschneiden und die Schnittflächen zu untersuchen.

Zwei Krystalle von Snarum gaben auf den Schnittflächen keine bestimmte Anordnung des Pulvers. Krystalle von Mursinsk zeigten aber auf den Schnittflächen senkrecht zur Axe ein sehr complicirtes Verhalten. Ein Stück eines solchen Krystalles mit einer Schnittfläche einen kurzen Moment in der Flamme erwärmt, gab die in Fig. 12 gezeichnete Anordnung des Pulvers. Man sieht, dass in die im allgemeinen negativ rothe Fläche ein feines Geäder positiver Stellen eingefügt ist. Man muss daraus wohl auf eine sehr complicirte Verwachsung des Krystalles schliessen, indem eine sehr grosse Zahl einzelner Krystalle mit entgegengesetzt gerichteten Polen durcheinander gewachsen sind.

Andere Schnitte senkrecht zur Axe von anderen Krystallen verhielten sich ähnlich. Fig. 13 zeigt die Pulveranordnung auf der Basisfläche eines Turmalins von Elba. Einfacher erwies sich ein brasilianischer Turmalin, der beim Abkühlen sehr starke Electricität an den Enden gab. Senkrecht zur Axe durchschnitten zeigten die beiden Schnittflächen die in Fig. 14 gezeichneten Pulveranordnungen. Man sieht, dass in dem homogenen Krystall nur einige kleine Stellen mit umgekehrten Polen eingesprengt sind.

Die beschriebenen Versuche legen die Vermuthung nahe, dass nur solche Turmaline an den Enden starke Thermo-electricität zeigen, welche möglichst wenig durchwachsen sind; doch bedarf es zum Beweise hierfür eines grösseren Beobachtungsmateriales.

Topas. Zucker. Weinsäure. Boracit.

Die durch das Pulvergemisch an einigen Krystallen von brasilianischem Topas gefundene Electricitätsanordnung

stimmte im wesentlichen gut mit der von Hrn. Hankel für dies Mineral gefundenen überein.

Auch Zucker und Weinsäure liessen sich mit dem Pulvergemisch gut auf ihre Electricitätserregung untersuchen.

Auf eine bereits ausgeführte ausführliche Untersuchung des Boracits habe ich bereits oben hingewiesen.

Ich glaube, die mitgetheilten Resultate zeigen zur Genüge, dass die neue Methode bei weiterer Benutzung und eventueller Verbesserung in den Händen des Physikers, wie des Mineralogen und Krystallographen noch manche Aufschlüsse über das electrische Verhalten der Krystalle geben kann.

Zum Schluss sei noch bemerkt, dass die Pulverfiguren, selbst wenn sie ziemlich complicirt sind, sich leicht auf Papier übertragen lassen, sodass man sie aufbewahren kann.

Man bestreicht zu diesem Zweck schwarzes Seidenpapier mit ziemlich zähflüssigem Gummi arabicum und lässt denselben soweit eintrocknen, dass er noch eben klebt. Ist die Gummischicht schon zu hart geworden, so genügt es, sie mit einem etwas feuchten Schwamm zu überstreichen. Dann legt man das Papier auf eine weiche Unterlage, drückt den bestäubten Krystall auf dasselbe und hebt ihn nach kurzer Zeit vorsichtig ab. Gewöhnlich haftet dann das sämmtliche Pulver auf dem Papier. Die mitgetheilten Figuren sind nach solchen Abklatschen angefertigt.

Physik. Inst. d. Univ. Strassburg, September 1883.

V. Ueber die Messung electrischer Kräfte mittelst des electrischen Flugrades; von D. Kaempfer.

(Auszug aus der Inauguraldissertation. Marburg 1883, mitgetheilt vom Hrn. Verf.)

In dieser Arbeit wurden die an den Spitzen des electrischen Flugrade von der ausströmenden Electricität entwickelten Reactionskräfte experimentell bestimmt, alsdann

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 12.

Fig. 9.

Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 13.

Fig. 14.