

IV.

Ueber die durch elektrische Kräfte erzeugte Aenderung der Doppelbrechung des Quarzes.

Von W. C. Röntgen.

II. A b h a n d l u n g.

In einer vorhergehenden Abhandlung *) habe ich über das elektrooptische Verhalten von Quarzplatten berichtet, welche parallel der optischen Axe geschliffen sind, bei denen somit die Lichtstrahlen senkrecht zu dieser Axe hindurchgehen; am Schluß stellte ich die Mittheilung von Versuchen mit Platten, die senkrecht zur optischen Axe geschliffen sind, in Aussicht. Die meisten der im Folgenden besprochenen optischen Erscheinungen hatte ich damals schon beobachtet, allein es fehlte für dieselben eine Erklärung. Diese ist nunmehr durch eine von mir ausgeführte piezoelektrische Untersuchung des Quarzes gefunden.

Die vorliegende Abhandlung zerfällt demnach in zwei Theile; der erste enthält die piezoelektrischen, der zweite die elektrooptischen Versuche.

Zur piezoelektrischen Untersuchung wurden hauptsächlich zwei Quarzstücke von folgender Beschaffenheit verwendet :

*) Ber. d. Oberhess. Ges. f. Nat.- u. Heilk. Bd. XXII, S. 49. 1883.

Das eine ist eine kreisrunde, genau senkrecht zur optischen Axe geschliffene Platte (Dicke 0,58 cm; Durchmesser 1,8 cm), das zweite eine Kugel von 3,0 cm Durchmesser. Beide sind, wie die optische Untersuchung lehrte, fast vollständig rein. Es wird aus dem Folgenden zur Genüge hervorgehen, wie sehr es sich empfiehlt, Quarzstücke dieser Form und nicht etwa Krystalle mit den natürlichen Flächen zu benutzen.

Die Platte diente dazu, um zunächst das in der ersten Abhandlung geschilderte piezoelektrische Verhalten des Quarzes einer directen experimentellen Prüfung zu unterwerfen. Es hat sich dabei ergeben, daß im Quarz senkrecht zur Hauptaxe in der That drei um 120° auseinander liegende Richtungen vorhanden sind, welche die Eigenschaft haben, daß ein in einer dieser Richtungen auf den Krystall ausgeübter Druck keine Elektrizität an den Druckstellen erzeugt; es sind dies die drei Axen fehlender Piezoelektricität. Ein in irgend einer anderen senkrecht zur Hauptaxe stehenden Richtung ausgeübter Druck bringt dagegen an den Druckstellen Elektrizität hervor, und zwar ist die stärkste Entwicklung in den Richtungen vorhanden, welche die Winkel der drei genannten Axen halbiren. Diese Richtungen nannte ich Axen maximaler Piezoelektricität. Von den Zeichen der auftretenden Elektrizitäten gilt das früher Gesagte.

Um auf die Platte in bestimmter Richtung einen Druck auszuüben, wurde eine Krystallpresse von bekannter Construction benutzt. Auf je eine der einander zugewendeten Flächen der beiden Stahlbacken derselben ist ein Hartgummiplättchen und auf dieses ein Stück eines 0,06 cm dicken Silberdrahtes gekittet. Diese Silberdrähte liegen einander genau parallel gegenüber; zwischen ihnen befand sich die Quarzplatte. In dieser Weise wurde erreicht, daß die Druckstellen auf der Platte eine schmale Linie, die parallel der Scheibenaxe ist, bildeten und daß der Druck genau in der Richtung eines Durchmessers auf die Scheibe ausgeübt werden konnte.

Die Scheibe war mittelst eines ungefähr 4 cm langen Strohhalmes so auf einem in Grade eingetheilten drehbaren

Theilkreis befestigt, daß ihre Axe mit der Drehungsaxe des Theilkreises möglichst gut coincidirte; durch Drehen des Theilkreises konnte somit die Richtung, in welcher der Druck auf die Scheibe wirken sollte, geändert werden. Die Größe der Drehung wurde am Theilkreis abgelesen.

Der Rahmen der Krystallpresse sowie die Fassung, in welcher sich der Theilkreis drehte, waren durch Klemmen fest mit einem Stativ verbunden. Um auch sicher zu sein, daß der Druck immer in der Richtung eines Durchmessers stattfand, verfuhr ich in folgender Weise. Die Quarzplatte war mit einer dünnen Wachsschichte überzogen, in welcher mittelst einer feinen Nadel nach Aufsuchung des Mittelpunktes möglichst viel Durchmesser gezogen waren. Durch dieses Hilfsmittel konnte ich mich bei jedem Versuch leicht überzeugen, daß die Verbindungslinie der beiden Druckstellen in der Richtung eines Durchmessers lag.

Das eine der beiden Silberdrähtchen stand in Verbindung mit dem früher erwähnten empfindlichen Elektroskop; das andere war zur Erde abgeleitet. Die Versuche bestanden nun darin, daß ich die Richtungen fehlender Piezoelektricität durch Probiren aufsuchte. Es wird genügen, wenn ich eine Versuchsreihe mittheile.

<i>Ablesung am Theilkreis.</i>	<i>Durch Druckzunahme entstehende Piezoelektricität.</i>
0°	stark negativ
20°	weniger stark negativ
35°	schwach positiv
27°	schwach negativ.

Nachdem in dieser Weise gefunden war, daß eine der gesuchten Richtungen zwischen den beiden letzten Stellungen der Scheibe liegen mußte, wurden die folgenden Versuche angestellt :

<i>Ablesung am Theilkreis.</i>	<i>Durch Druckzunahme entstehende Piezoelektricität.</i>
29°	Spur von negativer Elektricität
30°	Nichts
31°	Spur von positiver Elektricität

<i>Ablesung am Theilkreis.</i>	<i>Durch Druckzunahme entstehende Piezoelektricität.</i>
89 ⁰	Spur von positiver Elektricität
90 ⁰	Nichts
91 ⁰	Spur von negativer Elektricität
149 ⁰	Spur von negativer Elektricität
150 ⁰	Spur von positiver Elektricität
151 ⁰	Spur von positiver Elektricität
209 ⁰	Spur von positiver Elektricität
210 ⁰	Nichts
211 ⁰	Spur von negativer Elektricität
269 ⁰	Spur von negativer Elektricität
270 ⁰	Nichts
271 ⁰	Spur von positiver Elektricität
329 ⁰	Spur von positiver Elektricität
330 ⁰	Nichts
331 ⁰	Spur von negativer Elektricität.

Beim Nachlassen der Schraube der Krystallpresse entstanden jedesmal Elektricitäten, welche den beim Anziehen erhaltenen entgegengesetzt waren.

Diese Versuche lassen darüber nicht im Zweifel, daß der Winkel zwischen den drei Axen fehlender Piezoelektricität 120⁰ beträgt; die eine Abweichung, welche übrigens nicht 1⁰ beträgt, kann sehr wohl von Versuchsfehlern herrühren.

Drucke, welche in den in der Mitte zwischen den Axen fehlender Piezoelektricität liegenden Richtungen auf die Platte ausgeübt wurden, hatten eine sehr kräftige Elektricitätsentwicklung zur Folge; da das benutzte Elektroskop nicht für quantitative Versuche eingerichtet ist, so konnte ich nicht bestimmen, wie sich die Menge der Piezoelektricität mit der Richtung änderte; so viel ist aber sicher, daß die größte Quantität in jenen Zwischenrichtungen erzeugt wurde. Für eine genaue quantitative Bestimmung wäre es durchaus nöthig, auf die Inductionswirkungen Rücksicht zu nehmen, welche die in den der Druckstelle benachbarten Oberflächentheilen entstehenden Elektricitäten auf die mit dem Elektroskop verbundene Elektrode ausüben. Ueber diesen Einfluß wird unten noch Einiges erwähnt werden.

Die Versuche mit der Quarzkugel erforderten einen etwas complicirteren Apparat; auch hier kam es darauf an, daß ein Druck möglichst genau in der Richtung eines Durchmessers auf die Kugel ausgeübt wurde und daß die dabei entstehende Piezoelektricität zur Beobachtung kam. Nach mehrfachen Versuchen mit verschiedenen Apparaten behielt ich die folgende Einrichtung als die zweckentsprechendste bei. Die Kugel lag auf dem Objectträger eines alten, großen Mikroskops und durch Herunterlassen der beschwerten Mikroskopröhre wurde ein Druck auf dieselbe ausgeübt.

Der Objectträger ist mit den nöthigen Schrauben zur genauen Justirung versehen; in die runde Oeffnung desselben kann je nach Bedarf eine runde dicke Messingscheibe oder eine Hartgummischeibe genau passend eingelegt werden. Die Messingscheibe ist in der Mitte mit einer 0,25 cm weiten Vertiefung versehen, welche zur besseren Unterstützung der aufgelegten Kugel dient; die Kugel berührt die Scheibe somit nicht bloß in einem Punkt, sondern in einem kleinen Kreise. Auf der Hartgummischeibe ist ein 1,0 cm langer, 0,4 cm dicker Messingcylinder gekittet; dieser ist oben ebenfalls mit einer kleinen Vertiefung versehen, welche genau in der Axe der Hartgummischeibe liegt und auf welcher die Kugel ruhte. Die Messingscheibe wurde benutzt, wenn die untere Seite der Kugel nicht isolirt zu sein brauchte; die Hartgummischeibe dagegen, wenn eine Isolation erforderlich war.

Die in einer sehr gut gearbeiteten Führung mittelst Trieb und Zahnstange bewegliche Mikroskopröhre ist am unteren Ende (am Objectiv) mit einem durch Hartgummi isolirten, unten abgerundeten Messingstift versehen, welcher den Druck auf die Kugel ausübt. Ich unterlasse es nun mitzutheilen, wie die Justirung vorgenommen wurde und wie ich mich vergewisserte, daß immer der Druck so genau wie möglich in der Richtung eines Durchmessers wirkte. Die Mikroskopröhre war mit 2 Kilo belastet; beim Herunterlassen derselben fand keine merkliche Reibung zwischen dem Messingstift und der Kugel statt. Eine solche ist auch nach Kräften zu ver-

meiden, da dieselbe eine ziemlich starke Elektrizitätsentwicklung zur Folge haben würde.

Weil ich beabsichtigte, auch diejenigen Stellen der Kugel auf Piezoelektricität zu prüfen, auf welche der Druck nicht direct wirkte, so wurde das Goldblatt des Elektroskops nicht immer mit dem den Druck ausübenden Messingstift verbunden, sondern öfters mit einem kleinen, an einem Hartgummistab befestigten metallenen Halter, in welchen je nach Bedarf ein einfacher Messingdraht, oder ein mit einem kleinen Metallscheibchen versehener Draht eingesetzt werden konnte*). Der Hartgummistab wurde von einem mit Gelenken versehenen Stativchen getragen, wodurch es ermöglicht war, daß der als Elektrode dienende Messingdraht resp. das Metallscheibchen an jede Stelle der Quarzkugel angelegt werden konnte.

Mit dieser Kugel wurden nun folgende Versuche gemacht :

1) Aufser den drei Axen fehlender Piezoelektricität besitzt auch die Hauptaxe des Quarzes die Eigenschaft, daß ein in dieser Richtung auf den Krystall ausgeübter Druck keine Elektrizität an den Druckstellen hervorbringt. Es fragte sich, ob noch mehr solche Richtungen existiren.

Ohne mich vorher auf optischem Wege über die Richtung der Hauptaxe orientirt zu haben, legte ich die Kugel auf die besprochene Messingscheibe des Objectträgers, verband den den Druck ausübenden Stift mit dem Elektroskop und suchte diejenigen Stellen auf der Kugel auf, welche nicht piezoelektrisch wurden, wenn dort ein Druck in der Richtung eines Durchmessers auf die Kugel wirkte. War eine solche Stelle gefunden, so wurde dieselbe jedesmal auf der Kugel dadurch markirt, daß der Stift mit etwas Tusche versehen und bis zur Berührung mit der Kugel gesenkt wurde. In

*) Bei der Construction dieser Theile wurde darauf Rücksicht genommen, daß dieselben eine möglichst geringe Capacität erhielten. Der wesentliche Vorzug des Fechuer'schen Elektroskops gegen das Thomson'sche Elektrometer besteht nämlich, abgesehen von einer mehr gesicherten Isolation, in der ungemein kleinen Capacität; dadurch ist dasselbe zu den vorliegenden Untersuchungen so sehr geeignet.

dieser Weise erhielt die Kugel 40 bis 50 kleine Punkte. Selbstverständlich hat man bei diesem Suchen möglichst systematisch zu verfahren. Man findet z. B. bald, daß gewisse gröfsere zusammenhängende Parteen der Kugel nur sehr schwach elektrisch werden; es sind dies, wie sich nachher heraus stellte, die Stücke der Oberfläche, welche in der Nähe der Enden eines der Hauptaxe parallelen Durchmessers liegen; hier ist es schwer, die Stellen genau anzugeben, wo gar keine Piezoelektricität entsteht; deshalb wird man auch diese Stellen nicht markiren.

Aus einer Prüfung der mit Punkten versehenen Quarzkugel ergab sich nun das Resultat, daß die Lage dieser Punkte einfach bestimmt ist durch drei Ebenen, welche sich unter 120° in dem der Hauptaxe parallelen Durchmesser schneiden und die drei Axen fehlender Piezoelektricität enthalten. Die in dieser Weise aufgefundene Richtung der Hauptaxe stimmte mit der nachträglich auf optischem Wege gefundenen gut überein.

Es geht hieraus hervor, daß alle in den drei genannten Ebenen enthaltenen Richtungen, Richtungen fehlender Piezoelektricität sind; ein in einer dieser Richtungen auf den Krystall ausgeübter Druck liefert an den Druckstellen keine Elektrizität. Diese Ebenen seien deshalb Ebenen fehlender Piezoelektricität genannt.

Die folgenden Werthe wurden bei der beschriebenen Kugel durch Messung der sechs zwischen jenen drei Ebenen eingeschlossenen Winkel erhalten :

58° , 61° , 60° , 60° , 59° , 62° .

Diese Winkel müßten genau 60° sein. Die vorhandenen Abweichungen können zum Theil von Versuchsfehlern herrühren; dieselben sind aber vielleicht auch eine Folge von geringen Verwachsungen und Unregelmäßigkeiten des Quarzes, deren Vorhandensein sich in Anbetracht der Kugelgestalt des Krystalles nicht auf optischem Wege nachweisen liefs. Solche Verwachsungen beeinflussen, wie schon Hr. H a n k e l bei Krystallen mit natürlichen Flächen gefunden hat, die Vertheilung der Piezoelektricität sehr beträchtlich,

so bekam ich z. B. bei einer anderen Kugel, die deutlich sichtbare Unregelmäßigkeiten zeigte, folgende Winkel :

51°, 54°, 69°, 57°, 64°, 65°.

Die Versuche mit der ersten Kugel wurden einige Mal wiederholt, so z. B. einmal bei einer Temperatur von ungefähr 10° C., das zweitemal bei ungefähr 31° C.; ich fand immer dieselbe Lage der drei Ebenen wieder.

2) Nachdem die Lage der Ebenen fehlender Piezoelektricität auf der Kugel aufgefunden und markirt war, untersuchte ich, wie sich die zwischen diesen Meridianen liegenden Felder piezoelektrisch verhielten. Es fand sich, daß an den verschiedenen Druckstellen, die in je einem der sechs Felder liegen, immer dieselbe Elektrizitätsart auftrat, daß diese aber wechselte, wenn man von einem Feld zum nächstfolgenden überging. Die ganze Kugel ist somit in sechs abwechselnd positiv und negativ piezoelektrische Felder zu theilen. Zum besseren Verständniß des Folgenden wird es gut sein, sie mit 1, 2, 3, 4, 5, 6 zu bezeichnen und anzugeben, daß an den auf dem ersten Feld liegenden Druckstellen positive Elektrizität entstand; dem entsprechend wurden die Felder der Reihenfolge nach mit den Zeichen +, —, +, —, +, —, versehen.

Es ergab sich weiter, daß die stärkste Elektrizitätsentwicklung an den Druckstellen in Richtungen gefunden wurde, welche senkrecht zur Hauptaxe stehen und die Winkel der Ebenen fehlender Piezoelektricität halbiren; es sind dies die in der ersten Abhandlung schon als Axen maximaler Piezoelektricität bezeichneten Richtungen.

Ich brauche wohl kaum zu bemerken, daß Druckverminderungen die entgegengesetzten Elektrizitätsarten hervorbrachten, wie Druckvermehrung; dasselbe gilt für alle folgenden Versuche.

3) Ein in der Richtung einer Axe fehlender Piezoelektricität ausgeübter Druck entwickelt an den Druckstellen keine Elektrizität : es fragte sich aber, ob unter diesen Umständen nicht an anderen Stellen der Kugel Piezoelektricität

auftritt *). Zur Beantwortung dieser Frage wurde die Kugel so auf die Messingscheibe gelegt, daß die Hauptaxe senkrecht zur Druckrichtung lag und der Druck in der Richtung einer Axe fehlender Piezoelektricität wirkte. Das Elektroskop stand mit der beschriebenen isolirten Elektrode in Verbindung, welche bei unveränderter Druckrichtung nach einander an verschiedenen Stellen der Kugel angelegt wurde.

Ich erhielt folgende Resultate : Die Ebene fehlender Piezoelektricität, in welcher der Druck wirkte, theilt die Kugel in zwei Hälften, die in ihrer ganzen Ausdehnung elektrisch werden; die eine Hälfte ist positiv, die andere negativ elektrisch. Das Zeichen der auf je einer Hälfte auftretenden Piezoelektricität richtet sich nach dem oben gefundenen Zeichen der beiden auf der betreffenden Hälfte liegenden, der Druckrichtung benachbarten Felder. Findet z. B. der Druck in der das Feld 1 von 6 und Feld 3 von 4 trennenden Ebene statt, so wird die Hälfte, auf welcher die Felder 1 und 3 liegen, positiv, die andere negativ elektrisch.

Das Maximum der Entwicklung liegt an den Enden einer Axe maximaler Piezoelektricität, welche senkrecht zur Druckrichtung steht; in dem obigen Beispiel somit in der Mitte der Felder 2 und 5. Keine Elektricität entsteht auf dem Kreis, in welchem die die Druckrichtung enthaltende Ebene fehlender Piezoelektricität die Kugel schneidet.

Dasselbe Resultat wurde auch erhalten, wenn die Kugel auf dem isolirten Messingcylinder lag, oder wenn die Unterlage und der drückende Messingstift abgeleitet waren.

4) Es fragte sich nun weiter, wie die freie Oberfläche der Kugel sich verhielt, wenn der Druck in einer Axe maximaler Piezoelektricität wirkte.

Die Quarzkugel wurde in richtiger Stellung auf den isolirten Messingcylinder gelegt, der Messingstift blieb eben-

*) Hr. J. und P. Curie haben gefunden, daß ein Druck, welcher in der Richtung einer Axe fehlender Piezoelektricität auf ein Quarzparallelepiped ausgeübt wird, zur Folge hat, daß die Enden der zur Druckrichtung senkrechten Axe maximaler Piezoelektricität elektrisch werden.

falls isolirt. Die elektrische Untersuchung der Oberfläche ergab dann, daß die Kugel auch jetzt wiederum in zwei mit entgegengesetzten Elektricitäten geladene Hälften getheilt war, die durch eine Ebene fehlender Piezoelektricität, welche senkrecht zur Druckrichtung steht, getrennt war. Das Zeichen der Elektricitäten richtet sich nach dem oben gefundenen Zeichen der Felder, in welchen die Druckstellen liegen. Befand sich z. B. Feld 1 oben, somit Feld 4 unten, so wurde die obere Hälfte positiv, die untere negativ elektrisch. Das Maximum der Elektricitäten trat an den Druckstellen auf; gar keine Elektricität erschien auf dem Kreis, in welchem die zur Druckrichtung senkrechte Ebene fehlender Piezoelektricität die Kugel schneidet.

Wenn die beiden Druckstellen zur Erde abgeleitet waren, so fand ich im Wesentlichen dieselbe Vertheilung der Elektricität.

5) Die Kugel wurde in einer Richtung geprefst, welche zwischen einer Axe fehlender und der nächsten Axe maximaler Piezoelektricität, somit noch immer senkrecht zur Hauptaxe lag; beide Druckstellen waren isolirt. Auch dann war die Kugel durch eine durch die Hauptaxe gehende Ebene in zwei entgegengesetzt elektrische Hälften getheilt; dieselbe war jedoch nicht mehr parallel oder senkrecht zur Druckrichtung, sondern lag immer in dem spitzen Winkel, welchen die Druckrichtung mit der zweitfolgenden Axe fehlender Piezoelektricität bildete. Der spitze Winkel zwischen der Druckrichtung und der Halbirungsebene war desto kleiner, je näher die Druckrichtung der Axe fehlender Piezoelektricität lag. Aenderte man von einem Versuch zum andern die Druckrichtung in der Weise, daß man mit der Richtung maximaler Piezoelektricität anfang und mit der Richtung der nächstfolgenden Axe fehlender Piezoelektricität aufhörte, so änderte sich die Lage der die Kugel halbirenden Ebene durch Drehung um die Hauptaxe um einen Winkel von 90° .

Die Zeichen der Elektricitäten richteten sich nach den Zeichen der Felder, in welchen die Druckstellen lagen. Befand sich die Druckstelle z. B. in Feld 1, dem Feld 2 aber

näher als 6, so war die Halbkugel, welche einen Theil des Feldes 2, die ganzen Felder 1 und 6 und einen Theil von 5 enthielt, positiv, die andere Halbkugel negativ elektrisch.

Wirkte der Druck in einer Richtung, welche den Winkel zwischen einer Axe maximaler und der nächstfolgenden Axe fehlender Piezoelektricität halbirte, so machte die Halbirungsebene mit der Druckrichtung einen Winkel, der jedenfalls nicht viel von 45° abwich; eine genauere Bestimmung dieses Winkels war mir mit den angewandten Apparaten nicht möglich.

Das Maximum der Piezoelektricität fand sich an den Enden eines Durchmessers, der senkrecht zur Halbirungsebene stand; im zuletzt erwähnten Fall folglich an den Enden eines Durchmessers, der senkrecht zur Axe stand und um 45° gegen die Druckrichtung geneigt war, d. h. an den Enden einer Axe fehlender Piezoelektricität.

Bei den nun folgenden drei Versuchsreihen waren die entstehenden Elektrizitätsmengen so schwach, dafs ich die mitgetheilten Resultate nicht als unzweifelhaft richtig bezeichnen kann. Ich glaube zwar nicht, dafs durch Anwendung von empfindlicheren Apparaten etwas anderes gefunden wird, allein eine solche Controle wäre doch wünschenswerth.

6) Als Druckrichtung wurde eine zwischen einer Axe maximaler Piezoelektricität und der Hauptaxe liegende gewählt. Die Kugel wurde durch diejenige Ebene fehlender Piezoelektricität, welche senkrecht zu der durch die Druckrichtung und die Hauptaxe gelegten Ebene stand, in zwei entgegengesetzt elektrische Hälften getheilt.

Das Zeichen der Elektrizitäten richtete sich nach den Zeichen der Felder, in welchen die Druckstellen lagen; befanden sich diese z. B. in Feld 1 und 4, so wurden die Felder 6, 1 und 2 positiv, die Felder 3, 4 und 5 negativ elektrisch.

7) Der Druck wurde in irgend einer Richtung, welche von den oben angegebenen verschieden ist und nicht mit der Hauptaxe zusammenfällt, ausgeübt. Die Kugel wurde dann immer durch eine Ebene, welche unter allen Umständen durch

die Hauptaxe ging, in zwei entgegengesetzt elektrische Hälften getheilt.

8) Bei Zunahme eines Druckes in der Richtung der Hauptaxe wurden auf den 6 Feldern schwache Mengen Elektrizität gefunden, deren Zeichen den oben gefundenen Zeichen der Felder entsprechen; die Druckstellen blieben unelektrisch.

Aus dem Obigen geht hervor, daß, wie auch der Druck gerichtet war, an den Enden des parallel der Hauptaxe verlaufenden Durchmessers niemals eine merkliche Elektrizitätsentwicklung stattfand.

Es ist zu erwähnen, daß die piezoelektrischen Versuche bei trockener Zimmerluft außerordentlich sicher und regelmäßig verlaufen.

Gegen die mitgetheilten Resultate könnte der Einwand erhoben werden, daß dieselben durch Induction sowie möglicherweise durch Leitung der Elektrizität an der Oberfläche beeinflusst sind. Es läßt sich auch nicht leugnen, daß diese und insbesondere die Inductionen eine Rolle spielten; ich habe mich aber mehrfach davon überzeugt, daß jene Resultate qualitativ unverändert bestehen bleiben, wenn man solche Einflüsse ausschließt. Nur einige dahin gehörige Versuche mögen hier besprochen werden; dieselben sollen darthun, wie vorsichtig man verfahren muß, und wie man die Resultate prüfen kann.

Zwei gegenüberliegende Felder der Kugel, etwa 2 und 5, wurden vollständig mit Stanniol belegt, jedoch so, daß die beiden Stanniolstreifen sich nicht berührten; darauf legte ich die Kugel so auf den isolirten Messingcylinder, daß der Druck in der Richtung einer Axe fehlender Piezoelektricität stattfand, welche von der Grenze der Felder 1 und 6 zu der Grenze der Felder 3 und 4 hinüberging. Der den Druck ausübende Stift war mit dem Elektroskop in Verbindung. Wenn dann alle Felder isolirt blieben, so zeigte das Elektroskop bei Druckänderungen keine Elektrizität an; wurde dagegen etwa Feld 2 abgeleitet, so fand sich positive Elektrizität, die durch die Induction des stark positiv geladenen

Feldes 5 erzeugt wurde; kein Ausschlag des Goldblattes war zu beobachten, wenn Feld 5 ebenfalls abgeleitet war. Eine negative Ladung erhielt das Elektroskop, wenn nur Feld 5 abgeleitet wurde. Im Fall die Felder 2 und 5, sowie durch Berühren mit dem Finger auch Feld 1 abgeleitet waren, erhielt ich einen schwachen Ausschlag des Goldblattes nach der negativen Seite, welche von der Induction der auf Feld 6 entstehenden negativen Elektrizität herrührte.

Um nachzuweisen, dafs in der angegebenen Lage der Kugel wirklich die ganzen Kugelhälften und nicht etwa nur die Felder 2 und 5 elektrisch wurden, leitete ich diese Felder ab und legte die mit dem Elektroskop verbundene Elektrode der Reihe nach an die Felder 1, 3, 4 und 6 an. Ich fand dieselben bei Druckzunahme zwar schwach, aber sicher positiv resp. negativ elektrisch.

Legte ich die Kugel auf die abgeleitete Messingscheibe mit den belegten Stellen nach unten resp. nach oben und übte ich einen Druck aus in der Richtung einer Axe maximaler Piezoelektrizität, so erhielt ich auf der ganzen Kugel positive Elektrizität, wenn das positive Feld 5, dagegen negative Elektrizität, wenn das negative Feld 2 oben lag. In diesen Fällen überwog die Inductionswirkung der oben entstehenden Piezoelektrizität der Wirkung der schwachen, auf der unteren Kugelhälfte vorhandenen entgegengesetzten Elektrizität. Die normalen Verhältnisse traten sofort ein, wenn auch das unten liegende Feld isolirt wurde.

Bei dieser Stellung der Kugel konnte ich bestätigen, dafs auf der ganzen oberen und der ganzen unteren Kugelhälfte und nicht etwa allein an den Druckstellen Elektrizität auftrat. Wurden nämlich die belegten Felder abgeleitet, so fand ich trotzdem auf den anderen qualitativ dieselbe Elektrizitätsvertheilung wie vorher. —

Ich gehe nun über zu der Mittheilung der elektrooptischen Versuche. Zu denselben wurden die in der ersten Abhandlung beschriebene quadratische Quarzplatte, welche pa-

rall der Säulenfläche geschnitten ist, sowie das mit II bezeichnete Parallelepiped und ein kleiner Quarzcyylinder gebraucht. Bezüglich der näheren Beschreibung der beiden erstgenannten Krystalle verweise ich auf die erste Abhandlung.

Die Platte wurde sowohl im parallelen als im convergenten Lichte untersucht. Bei den Versuchen im parallelen Lichte befand sich dieselbe in horizontaler Lage in der mit Benzol gefüllten Flasche; die untere Elektrode war die mit zwei Glasstreifchen versehene Messingscheibe, die obere ein in die Vertiefung der Platte ragender Messingdraht (vgl. die frühere Versuchsanordnung). Das unter 45° gegen die Horizontale, geradlinig polarisirte Natriumlicht ging parallel der Hauptaxe durch die Platte und der Analysator war auf dunkel gestellt. Während des Elektrisirens zeigte sich eine lebhaftere Erhellung der Mitte des Gesichtsfeldes, der Stelle unter der Vertiefung in der Platte. Die Vertheilung der hellen Stellen war verschieden, je nachdem sich oben oder unten die positive Elektrizität befand.

Das Resultat überraschte mich, da durch elektrische Kräfte, welche in der Richtung einer Axe fehlender Piezoelektricität wirken, keine Compression oder Dilatation in dieser Richtung erzeugt werden dürfte.

Ebenso überraschte mich das Verhalten der Platte im convergenten Lichte. Dasselbe brachte mich zwar einer Erklärung des ersten Versuches näher, die vollständige Erklärung erhielt ich aber erst nach Ausführung der oben beschriebenen piezoelektrischen Versuche.

Um die Platte im convergenten Lichte zu untersuchen, kittete ich gegen die quadratischen Flächen derselben 0,7 cm weite, nach oben rechtwinkelig gebogene Glasröhren, die mit Quecksilber gefüllt wurden. Darauf brachte ich die Platte so unter ein Steeg'sches Polarisationsmikroskop, dafs das aus concentrischen Kreisen bestehende Axenbild zur Beobachtung kam; die Beleuchtung geschah wieder durch eine Natriumflamme.

Das Quecksilber in den beiden Glasröhren war mit je einer der Elektroden der Elektrisirmaschine verbunden. Im

Augenblicke, wo die Elektrizität der Platte zugeführt wurde, verwandelten sich die Kreise in Ellipsen; die große Axe derselben, welche länger war als der entsprechende Kreisdurchmesser, machte einen Winkel von 45° mit den Kraftlinien (die senkrecht zur quadratischen Fläche der Platte standen); die kleine Axe war kleiner als der Kreisdurchmesser. Lag die Platte so unter dem Mikroskop, daß die durch Druck positiv werdende Seite sich rechts, somit die durch Druck negativ werdende Seite sich links befand und wurde der dem Beobachter zugewendeten Seite der Platte positive, der abgewendeten Seite negative Elektrizität zugeführt, so war die große Axe von links oben nach rechts unten gerichtet. Nach einem Wechsel der zugeführten Elektrizitäten hatte die große Axe die zu der vorigen senkrechte Richtung, somit von rechts oben nach links unten.

Es ist nun bekannt *), daß eine mechanische Compression resp. Dilatation einer senkrecht zur Axe geschliffenen Quarzplatte in einer zur Axe senkrechten Richtung eine Veränderung des Ringsystems erzeugt, welche der soeben besprochenen ähnlich ist. Die Durchmesser der Kreise werden in der Richtung der Compression verlängert und in der dazu senkrechten Richtung verkürzt. Wird dagegen die Platte dilatirt, so liegt die große Ellipsenaxe senkrecht zur Richtung der Dehnung.

Die Resultate der beiden letzten Versuche würden somit erklärt sein, wenn die Annahme erlaubt wäre, daß elektrische Kräfte, welche in der Richtung einer Axe fehlender Piezoelektrizität wirken, zwar keine Formveränderungen in der Richtung dieser Axe erzeugen, wohl aber eine Compression oder Dilatation oder beide zugleich in Richtungen, welche senkrecht zur Hauptaxe liegen und unter 45° gegen die betreffende Axe fehlender Piezoelektrizität geneigt sind, zur Folge haben. In wie weit diese Annahme nun gerechtfertigt ist, konnte ich nicht entscheiden, bevor die beschriebenen Versuche über Piezoelektrizität angestellt waren; und deshalb

*) Faff, Poggendorf's Annalen 107, S. 133, 1859.

habe ich mit der Veröffentlichung meiner elektrooptischen Versuche mit senkrecht zur Axe geschliffenen Platten bis jetzt gewartet.

Aus den unter 5) mitgetheilten piezoelektrischen Versuchen und dem von Lippmann ausgesprochenen Gesetz der Reciprocität von Compression und elektrischer Ladung ergibt sich die Bestätigung der Richtigkeit jener Annahme und somit die vollständige Erklärung obiger Versuche.

Es wurde am citirten Orte gefunden, daß ein Druck, welcher unter 45° gegen eine Axe fehlender Piezoelektricität und senkrecht zur Hauptaxe auf den Quarz ausgeübt wird, an den Enden jener Axe Piezoelektricität erzeugt und zwar eine Menge, die größer ist, als jede an anderen Stellen entstehende. Theilt man somit jenen Enden dieselben Elektricitäten mit, welche durch Druck in der angegebenen Richtung entstehen würden, so muß in dieser Richtung eine Dilatation des Quarzes stattfinden; und umgekehrt theilt man den Enden Elektricitäten mit, die den durch Druck entstehenden entgegengesetzt sind, so muß in dieser Richtung eine Compression auftreten. Solche Richtungen, die senkrecht zur Hauptaxe stehen und unter 45° gegen eine Axe fehlender Piezoelektricität geneigt sind, giebt es nun für jede Axe fehlender Piezoelektricität zwei, nämlich je eine auf beiden Seiten dieser Axe. Aus dem unter 5) Gesagten geht weiter hervor, daß die Elektricitäten, welche entstehen, wenn ein Druck in der einen dieser zwei Richtungen ausgeübt wird, den Elektricitäten entgegengesetzt sind, welche bei einem Druck in der anderen Richtung auftreten. Wenn man folglich dem einen Ende einer Axe fehlender Piezoelektricitäten positive und dem andern negative Elektricität zuführt, so muß diese Elektrisirung eine Compression in einer jener beiden Richtungen und zugleich eine Dilatation in der andern bewirken. Werden die zugeführten Elektricitäten gewechselt, so muß auch ein Wechsel zwischen Compression und Dilatation stattfinden. Das soeben Gesagte ist aber nichts anderes, als was oben zur Erklärung der elektrooptischen Versuche angenommen wurde.

Das in der ersten Abhandlung mit II bezeichnete Quarzparallelepiped wurde nun ebenfalls sowohl im parallelen als im convergenten Natriumlicht untersucht. Im ersten Falle war dasselbe genau wie früher in der mit Benzol gefüllten Flasche aufgestellt, nur mit dem Unterschied, daß jetzt die Lichtstrahlen parallel der Hauptaxe durchgingen. Wenn dann der Analysator auf dunkel gedreht war, so wurde durch das Elektrisiren die Stelle zwischen den Bohrlöchern intensiv erhellt; die Vertheilung der hellen Partien änderte sich beim commutiren. Beides war zu erwarten, da die Bohrlöcher in der Richtung einer Axe maximaler Piezoelektricität angebracht sind.

Um die Art der erzeugten Doppelbrechung zu untersuchen, konnte auch jetzt wie bei der Quarzplatte von vorhin das früher angewandte Mittel einer eingeschalteten Glasplatte, die in horizontaler oder verticaler Richtung comprimirt wurde, nicht gebraucht werden, da durch die in der Richtung der Hauptaxe vorhandene Drehung der Polarisationssebene die Verhältnisse complicirter waren als früher; deshalb nahm ich die Untersuchung im convergenten Licht vor.

Zu diesem Zweck wurden gegen die Endflächen des Parallelipeds rechtwinkelig nach oben gebogene Glasröhren gekittet und diese sowie die damit communicirenden Bohrlöcher mit Quecksilber gefüllt. Die durch Elektrisirung entstehende Aenderung des in der Mitte zwischen den Bohrlöchern liegenden Ringsystems bestand nun wiederum darin, daß die Kreise zu Ellipsen wurden, deren große Axen größer und deren kleine Axen kleiner waren, als der Durchmesser des entsprechenden Kreises. Die Richtung der langen Axe war parallel mit der Verbindungslinie der Bohrlöcher, folglich parallel mit der Richtung der betreffenden Axe maximaler Piezoelektricität, wenn das bezeichnete Ende des Krystals positiv, das nicht bezeichnete Ende negativ elektrisch war. Diese Axe stand dagegen senkrecht zu jener Richtung, wenn das bezeichnete Ende negativ und das nicht bezeichnete Ende positiv elektrisch war.

Berücksichtigt man das in der ersten Abhandlung angegebene piezoelektrische Verhalten des benutzten Krystalles, so findet man leicht mit Hülfe der unter 3 und 4 aufgeführten piezoelektrischen Versuche, daß die beobachtete optische Erscheinung vollständig zu erklären ist durch die Zusammenwirkung einer elektrischen Contraction in einer und einer Dilatation in der dazu senkrechten Richtung.

Ich komme nun zu den Versuchen mit dem kleinen Quarzcyylinder. Die Axe des Cylinders ist parallel der Hauptaxe, der Durchmesser beträgt 0,45 cm, die Höhe 0,5 cm; derselbe ist genau centrirt in der Richtung der Axe in einer Weite von 0,08 cm durchbohrt; die Endflächen sind polirt. Ich untersuchte nun zunächst das piezoelektrische Verhalten desselben und markirte die Richtungen der drei Axen fehlender Piezoelektricität. Dann kittete ich denselben mittelst Canadabalsam mit den Endflächen auf je zwei 4,5 cm lange, 1,5 cm breite Glasplatten, die beide an einer Stelle in einer Weite von ebenfalls 0,08 cm durchbohrt sind. Die Durchbohrung der einen Platte coincidirt genau mit der Durchbohrung des Cylinders; die Durchbohrung der andern liegt 2 cm vom Cylinder entfernt. Die Ränder der Glasplatten, die paarweise parallel sind, wurden durch aufgekittete Glasstreifen mit einander verbunden, so, daß ein Glaskästchen entstand, welches durch die Durchbohrung der einen Glasplatte mit Quecksilber gefüllt wurde. Dieses Quecksilber umgibt vollständig die Mantelfläche des Quarzcyinders, bildet die äußere Belegung desselben und stand bei den Versuchen durch einen Draht mit einer Elektrode der Holtz'schen Elektrisirmaschine in Verbindung. Die innere Belegung ist ein durch die andere Glasplatte gehender, in die Durchbohrung des Cylinders eingesteckter dünner Draht, der zu der anderen, zur Erde abgeleiteten Elektrode führte.

Das beschriebene Präparat wurde so unter das Steeg'sche Polarisationsmikroskop gelegt, daß der erste Kreis des Ringsystems concentrisch mit der Durchbohrung des Cylinders war und unter Anwendung von Natriumlicht deutlich beobachtet werden konnte; es ist dazu erforderlich, daß das

obere Linsensystem des Apparates sich in einer gewissen, leicht aufzufindenden Entfernung von dem Präparat befindet.

Das Elektrisiren der beiden Belegungen des Quarzcylin- ders hatte nun die nachstehenden Erscheinungen zur Folge. Nur die sechs Stellen des Kreises, welche in der Richtung der drei durch die Mitte gehenden Axen fehlender Piezo- elektricität lagen, behielten ihre Lage bei, an allen anderen Stellen fand eine Verschiebung nach dem Centrum hin, oder von diesem weg statt; dieselbe war am größten in den durch die Mitte gehenden Richtungen der drei Axen maximaler Piezoelektricität. In je einer dieser Richtungen war auf der einen Seite von der Mitte eine Verschiebung nach innen, auf der andern eine Verschiebung nach außen zu beobach- ten, und zwar in jedem Fall dem piezoelektrischen und dem früher gefundenen elektrooptischen Verhalten des Quarzes in diesen drei Richtungen entsprechend. Der Ring erhielt durch diese Verschiebungen eine Gestalt, welche der eines gleichseitigen Dreiecks mit abgerundeten Ecken ähnlich ist. Durch ein Wechseln der Elektricitäten änderte sich die Lage des Dreiecks in der Weise, daß die neue Lage durch eine Drehung des Dreiecks um 180° in seiner Ebene aus der früheren hervorgeht. — Die besprochene Versuchsanordnung ist deshalb bemerkenswerth, weil man bei derselben mit einem Blick die in den sechs erwähnten, ausgezeichneten Richtungen stattfindenden Vorgänge übersehen kann *).

Ich halte es nun für überflüssig, noch weitere elektro- optische Versuche mit Quarz mitzutheilen, da alle bisher von mir gefundenen Erscheinungen sich aus dem piezoelektrischen Verhalten ableiten lassen. Inwieweit auch die den Ausgangs- punkt meiner Untersuchung bildenden Hypothesen in allen Fällen stichhalten, muß durch eine anzustellende Rechnung untersucht werden.

Gießen, den 4. Januar 1883.

*) Ich habe die Anfertigung von Quarzpräparaten, welche zu elektro- optischen Versuchen dienen, Herrn Dr. Steeg und Reuter in Homburg v. d. Höhe übertragen; dieselben können auf Wunsch vor ihrer Ablie- ferung unter meiner Leitung untersucht werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Bericht der Oberhessischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde](#)

Jahr/Year: 1883

Band/Volume: [22](#)

Autor(en)/Author(s): Röntgen Wilhelm Conrad

Artikel/Article: [Ueber die durch elektrische Kräfte erzeugte Aenderung der Doppelbrechung des Quarzes. 98-116](#)