

bereits mitgetheilt, dass beide Salze einen nicht viel geringeren Widerstand, wie das reine Wasser besitzen.¹⁾ In der That haben meine Versuche in beiden Salzen Leiter sehr niederer Ordnung ergeben.

Aachen, im November 1882.

II. Ueber die durch electriche Kräfte erzeugte Aenderung der Doppelbrechung des Quarzes; von W. C. Röntgen.

(Aus den Ber. d. Oberhess. Ges. für Natur- u. Heilkunde. 22.)

Es hat bekanntermassen Hr. W. Thomson die Erscheinungen der Pyroelectricität durch die Annahme zu erklären versucht, dass das Innere der pyroelectricischen Krystalle sich in einem Zustand dauernder electriccher Polarisation befindet; die Wirkung dieser Polarisation nach aussen wäre durch eine immer vorhandene electricche Ladung der Oberfläche neutralisirt, solange die Polarisation unverändert bleibt. Temperaturänderungen der Krystalle sollten nun dieselbe ändern, und es wäre die beobachtete Pyroelectricität eine Folge dieser Aenderung.

Diese Ansicht hat durch die vor einiger Zeit von den Hrn. J. und P. Curie²⁾ aufgefundenen, von Hrn. Hankel³⁾ bestätigten und als piëzoelectricche bezeichneten Erscheinungen, sowie durch die ebenfalls von J. und P. Curie⁴⁾ angestellten Versuche über die durch Electricität erzeugten Formveränderungen von pyroelectricchen Krystallen eine Stütze gewonnen; wenigstens lassen sich jene Erscheinungen durch die erwähnte Hypothese in ungezwungener Weise erklären.

1) Hittorf, Pogg. Ann. 106. p. 344. 569—570. 1859.

2) J. u. P. Curie, Compt. rend. 91. p. 294. 383. 1880; 92. p. 186. 350. 1881; 93. p. 204. 1881.

3) Hankel, Abh. der k. sächs. Ges. d. Wiss. 12. p. 459. 1881.

4) J. u. P. Curie, Compt. rend. 93. p. 1137. 1881.

Ich will an dieser Stelle nicht die Schwierigkeiten besprechen, welche sich meiner Meinung nach der Annahme jener Hypothese entgegenstellen, sondern nur mittheilen, in welcher Weise jene Anschauung mich dazu geführt hat, die unten beschriebenen Versuche anzustellen, deren Resultate an und für sich gewiss bemerkenswerth sind.

Die Ueberlegung, von der ich ausging, ist die folgende:

Wenn in einem pyroelectricischen Krystall in bestimmten Richtungen eine dauernde electricische Polarisation vorhanden wäre, und wenn es gestattet wäre, aus den kürzlich aufgefundenen Wirkungen der statischen Electricität auf die optischen Eigenschaften von einfach brechenden Medien zu folgern, dass nicht allein die durch äussere electricische Kräfte hervorgerufene Polarisation, sondern auch eine bereits vorhandene natürliche Polarisation einen Einfluss auf die Schwingungen des durchgehenden Lichtes ausübte, so müssten die optischen Eigenschaften eines pyroelectricischen Krystalles in verschiedener Weise geändert werden, jenachdem eine Schwächung oder eine Verstärkung der natürlichen Polarisation durch äussere electricische Kräfte erzeugt wird.

Nehmen wir als Beispiel einen Quarzkrystall, so ergeben zunächst die piezoelectricischen Versuche mit demselben ein Resultat, das sich wenigstens für normal und einfach ausgebildete Krystalle in folgender Weise angeben lässt. Einen senkrecht zur Hauptaxe gelegten ebenen Schnitt kann man durch drei sich unter 60° in einem beliebigen Punkt schneidende gerade Linien in sechs Felder theilen, welche die nachstehenden Eigenschaften haben. Ein Druck, der in irgend einer durch jenen Punkt gehenden oder dieser parallelen Richtung auf den Krystall ausgeübt wird, hat zur Folge, dass der Krystall an den zwei Druckstellen electricisch wird, und zwar an der einen Stelle positiv, an der anderen negativ. Geht man von einer Druckrichtung zu einer anderen, in zwei benachbarten Feldern liegenden Richtung über, so wechselt das Zeichen der Electricitäten an den Druckstellen im Augenblick, wo die Druckrichtung die Grenze der benachbarten Felder überschreitet.

Daraus folgt, dass ein in der Richtung einer der drei

erwähnten geraden Linien ausgeübter Druck keine Piëzoelectricität erzeugen kann; ich möchte deshalb diese drei Richtungen die Axen fehlender Piëzoelectricität nennen. In den drei Richtungen, welche die Winkel zwischen diesen Axen halbiren, müsste das Maximum von Piëzoelectricität erzeugt werden, diese Richtungen seien deshalb als Axen maximaler Piëzoelectricität bezeichnet. Dieselben fallen mehr oder weniger mit den sogenannten Nebenaxen, den Verbindungslinien von zwei gegenüberliegenden Säulenkanten des Quarzes zusammen; ob sie immer genau damit coincidiren, kann ich noch nicht sagen, da ich darüber noch zu wenig Versuche angestellt habe; bei einigen Krystallen scheint dies wirklich der Fall zu sein. Wäre dem nun so, so würden die Axen fehlender Piëzoelectricität mit den Zwischenaxen des Quarzes dieselbe Richtung haben.

Ich denke mir nun, dass die drei Axen maximaler Piëzoelectricität die drei Richtungen der natürlichen Polarisirung angeben; legt man den Enden einer jeden Axe das positive oder negative Zeichen bei, entsprechend der natürlichen Vertheilung der Electricität im Innern, so müssen diese Enden, wenn man sie der Reihe nach verfolgt, abwechselnd positiv und negativ sein. Diese Zeichen sind zugleich die Zeichen der durch Druck entstehenden Electricität und gelten, wie oben bemerkt, für das ganze Feld, in welchem je eine Axe liegt.

Wird nun ein Quarzstück so der inducirenden Wirkung statischer Electricität ausgesetzt, dass an einer Stelle die Kraftlinien senkrecht zur Hauptaxe und zugleich nicht in der Richtung einer Axe fehlender Piëzoelectricität verlaufen, so würde an dieser Stelle durch diese Kräfte die natürliche Polarisirung und damit nach der eingangs mitgetheilten Hypothese die natürliche Doppelbrechung von Strahlen, die senkrecht zur Hauptaxe und zu den Kraftlinien gehen, zu oder abnehmen müssen. Das Eintreten des einen oder des anderen Falles wäre ganz und gar davon abhängig, in welchem der drei Paare von gegenüberliegenden Feldern die Richtung der Kraftlinien liegen, und in welchem Sinn sie dieselben durchlaufen. Keine Aenderung der natürlichen

Doppelbrechung würde unter den angenommenen Verhältnissen zu beobachten sein, wenn die Kraftlinien in der Richtung einer der drei Axen fehlender Piëzoelectricität verlaufen.

Diese Folgerungen, dass die Doppelbrechung des Quarzes durch Einwirkung statischer Electricität nach Belieben vermehrt oder vermindert werden kann, und dass die Doppelbrechung unter bestimmten Umständen durch eine solche Einwirkung nicht merklich verändert wird, habe ich durch Versuche bestätigt gefunden.

Zu den ersten Versuchen dienten zwei rechtwinklige Parallelepipede aus reinem brasilianischem Quarz, deren optische Untersuchung keine Verwachsungen erkennen liess. Diese von Hrn. Steeg und Reuter bezogenen Stücke sind 2,0 cm lang, 1,2 cm dick und breit und genau gleich gearbeitet. Die Längsrichtung beider Stücke sollte nach meiner Angabe mit einer Nebenaxe zusammenfallen, indessen wurde durch ein Missverständniss seitens des Verfertigers auf diese Angabe wenig Gewicht gelegt. Nachträglich eingezogene Erkundigungen, sowie eine von mir mittelst der Leydolt'schen Aetzfiguren¹⁾ vorgenommene Untersuchung haben ergeben, dass jene Richtung bei beiden Stücken jedenfalls nur wenig von der Richtung der Nebenaxen abweicht; übrigens sei bemerkt, dass es für die vorliegende Untersuchung genügt, wenn die Längsrichtung nicht mit einer Axe fehlender Piëzoelectricität coincidirt; die piëzoelectrische Untersuchung hat gezeigt, dass dies nicht der Fall ist. — Zwei Seitenflächen stehen genau senkrecht zur Hauptaxe, und die zwei anderen Seitenflächen sind somit genau der Hauptaxe und ungefähr der Nebenaxe parallel.

Beide Stücke sind in der Längsrichtung in einer Weite von 0,2 cm angebohrt, und zwar jedes von der Mitte der zwei Endflächen aus; die coaxialen Bohrlöcher erreichen sich in der Mitte des Krystalls nicht, sie lassen vielmehr eine ungefähr 0,2 cm dicke Schicht zwischen sich stehen, welche diejenige Stelle bildet, welche auf ihr electrooptisches Verhalten untersucht werden soll.

1) Leydolt, Wien. Ber. 15. p. 59. 1855.

Beide Krystalle wurden untersucht; bei jedem Versuch aber befand sich nur der eine im electricischen Feld, der andere diente dazu, die natürliche Doppelbrechung des ersteren zu compensiren; zu diesem Zweck waren die Stücke mit einer Spur von Hausenblase so zusammengekittet, dass ihre Hauptaxen senkrecht zueinander standen. Das unter 45° gegen die Hauptaxen polarisirte Licht ging senkrecht zur Ebene, welche die Hauptaxe und die Nebenaxe eines Krystalles enthält, somit senkrecht zu zwei Seitenflächen durch den Krystall. Zwischen gekreuzten Nicols war die Mitte des Gesichtsfeldes, die Stelle zwischen den Bohrlöchern, bei Anwendung von Natriumlicht, dessen Intensität für die vorliegende Untersuchung vollständig genügte, ziemlich gleichmässig dunkel, abgesehen von geringen Unregelmässigkeiten, die wahrscheinlich von dem beim Bohren ausgeübten Druck herrührten.

In die zwei Bohrlöcher des zu untersuchenden Krystalles wurden gut abgerundete 0,15 cm dicke Messingdrähte gesteckt, von denen je einer mit einer Electrode einer Holtz'schen Maschine so verbunden war, dass ein rasches Commutiren ermöglicht war. Die Potentialdifferenz zwischen den beiden Electroden konnte bei constanter Rotationsgeschwindigkeit der Maschine mit Hilfe einer Nebenschliessung, welche einen variablen Luftwiderstand enthielt, beliebig viel und continuirlich geändert werden. Dieses bei vielen Versuchen schon seit längerer Zeit von mir angewandte Verfahren besteht darin, dass die eine Electrode der Maschine mit einer isolirten scharfen Spitze, die andere mit einer isolirten Metallplatte in Verbindung steht; Spitze und Platte stehen sich gegenüber und können gegeneinander verschoben werden; je weiter sie voneinander entfernt sind, desto grösser ist der Luftwiderstand für die dunkle Entladung, desto grösser ist folglich die Potentialdifferenz zwischen den Electroden.

Um das bei grösseren Potentialdifferenzen vorkommende lästige Ueberspringen von Funken zwischen den in die Krystalle eingesteckten Messingdrähten zu verhüten, brachte ich die Krystalle in eine kleine mit Schwefelkohlenstoff, bei den

späteren Versuchen mit Benzol gefüllte Flasche; das polarisirte Licht trat unter senkrechter Incidenz durch die eine durchbohrte und mit einer Birmingham-Glasplatte bedeckte Seitenfläche ein und verliess die Flasche durch die gegenüberliegende, gleich bearbeitete Fläche.

Zur Controle habe ich die Quarzstücke auch in Luft untersucht und dabei im wesentlichen dasselbe Verhalten gefunden, wie wenn dieselben sich in Schwefelkohlenstoff oder Benzol befanden.

Die Richtung der Nebenaxe, der Längsaxe des auf electrooptischen Effect geprüften Krystalles wurde vertical gestellt, die Richtung der Kraftlinien in der Mitte des Krystalles war folglich ebenfalls vertical, und die Hauptschnitte der Nicols machten somit Winkel von 45° mit diesen Kraftlinien (die früher als Stellung I der Nicols bezeichnete Anordnung.¹⁾) Die Quarzstücke sollen zur Unterscheidung von einander mit Krystall I und Krystall II bezeichnet werden; eine Endfläche eines jeden derselben ist mit einer eingeritzten Marke versehen, welche im Folgenden das bezeichnete Ende genannt wird.

Die Wirkung, welche die Electricität auf das durch den Quarz gehende Licht ausübte, wurde verglichen mit der Wirkung, welche eine Compression eines zwischen Analysator und Krystall eingeschalteten Glasstückes in verticaler oder horizontaler Richtung zur Folge hatte. Wenn es unten z. B. heisst:

unten +, oben -: dieselbe Wirkung wie verticale Compr.,
so ist das so zu verstehen, dass eine Ladung der Enden der Nebenaxe unten mit positiver, oben mit negativer Electricität dieselbe optische Veränderung der Mitte des Gesichtsfeldes erzeugte, wie eine Compression der Glasplatte in verticaler Richtung.

Versuch 1. Krystall I; bezeichnetes Ende unten.

unten +, oben -: dieselbe Wirkung wie *verticale* Compr.

unten -, oben +: „ „ „ *horizontale* „ .

1) Röntgen, Ber. d. Ob. Ges. 19. p. 1. 1880. — Wied. Ann. 10. p. 77. 1880.

Versuch 2. Krystall I; bezeichnetes Ende *oben*.

unten +, oben -: dieselbe Wirkung wie *horizontale* Compr.

unten -, oben +: „ „ „ *verticale* „ .

Versuch 3. Krystall I; bezeichnetes Ende *oben*.

a. Durch *verticale* Compression der Glasplatte konnte die Mitte des Gesichtsfeldes etwas dunkler gemacht werden, darauf bewirkte, während die Glasplatte comprimirt blieb, unten +, oben - eine Zunahme der Helligkeit. Durch stärkere Compression in *verticaler* Richtung konnte diese Wirkung compensirt werden.

b. Durch *verticale* Compression der Glasplatte wurde wiederum die Mitte des Gesichtsfeldes dunkler gemacht; unten -, oben + erhellte auch jetzt das Gesichtsfeld, diese Erhellung konnte jedoch durch eine stärkere Compression in *verticaler* Richtung nicht aufgehoben werden, dieselbe wurde vielmehr dadurch verstärkt.

Versuch 4. Nachdem die Krystalle umgekittet waren. Krystall II, bezeichnetes Ende *oben*.

unten +, oben -: dieselbe Wirkung wie *horizontale* Compr.

unten -, oben +: „ „ „ *verticale* „ .

Versuch 5. Bei den obigen Versuchen befanden sich die Quarze in Schwefelkohlenstoff, bei den folgenden in Luft. Krystall I, bezeichnetes Ende *oben*.

unten +, oben -: dieselbe Wirkung wie *horizontale* Compr.

unten -, oben +: „ „ „ *verticale* „ .

Versuch 6. Krystall II, bezeichnetes Ende *oben*.

unten +, oben -: dieselbe Wirkung wie *horizontale* Compr.

unten -, oben +: „ „ „ *verticale* „ .

Die Versuche wurden zu sehr verschiedenen Zeiten und unter geänderten Umständen wiederholt; so befand sich bei späteren Versuchen öfters nur der eine Krystall in der mit Benzol gefüllten Flasche, der andere als Compensator dienende war in Luft aufgestellt; als Compensator wählte ich auch einigemal Glimmerplättchen oder andere Quarzstücke; immer erhielt ich aber die Resultate, die oben mitgetheilt sind, nie ergab sich etwas anderes.

Es ist nun bekannt, dass eine comprimirte Glasplatte sich optisch verhält, wie ein negativer Krystall, dessen Hauptaxe mit der Compressionsrichtung zusammenfällt; da nun Quarz ein positiver Krystall ist, so kann man die obigen Resultate in dem Satz zusammenfassen, dass die Doppelbrechung der untersuchten Quarzstücke zunimmt, wenn das bezeichnete Ende der Nebenaxe positiv, das nicht bezeichnete Ende negativ electricisch gemacht wird; dass dieselbe dagegen abnimmt, wenn das bezeichnete Ende jener Axe negativ, das nicht bezeichnete Ende positiv electricisch wird.

Es wurde nun untersucht, wie diese Enden sich in piezoelectricischer Beziehung verhalten. Die Untersuchung geschah, indem die an den Endflächen mit Stanniolstreifen versehenen Krystalle zwischen Hartgummiplättchen mittelst einer Schraubenpresse in der Längsrichtung zusammen gedrückt wurden; der eine Stanniolstreifen war in Verbindung mit einem empfindlichen Fechner'schen Goldblattelektroskop, welches die Spannung auf dem isolirten Pol eines Daniell'schen Elementes durch einen kräftigen Ausschlag zu erkennen gibt; der andere war zur Erde abgeleitet.

Die wiederholt angestellten Versuche ergaben nun übereinstimmend, dass das bezeichnete Ende der Nebenaxen beider Quarze bei Zunahme des Druckes negativ electricisch und bei Abnahme des Druckes positiv electricisch wurde; das nicht bezeichnete Ende zeigte positive, resp. negative Electricität.

Man kann somit das Resultat der electrooptischen Untersuchung auch so aussprechen: Die Doppelbrechung des Quarzes nimmt zu, wenn demjenigen Ende einer Nebenaxe positive Electricität zugeführt wird, welches durch Zunahme eines in der Richtung dieser Nebenaxe wirkenden Druckes negativ electricisch wird und zugleich dem anderen Ende negative Electricität zugeführt wird. Die Doppelbrechung nimmt dagegen ab, wenn die Vertheilung der mitgetheilten Electricitäten die entgegengesetzte ist.

Hält man an der Ansicht fest, dass ein piezoelectricischer Krystall sich in einem Zustand electricischer Polarisation befindet, dessen Richtung speciell beim Quarz mit der Rich-

tung der Nebenaxen zusammenzufallen scheint, und dass die beobachtete Piëzoelectricität eine Folge der durch Druck geänderten Polarisirung ist, so ergibt eine einfache Ueberlegung, dass das durch Druckzunahme negativ werdende Ende dasjenige ist, welchem die negative Seite der electricisch polarisirten Theilchen zugewendet ist. Oben fanden wir nun, dass die Doppelbrechung zunimmt, wenn diesem Ende positive Electricität und dem anderen negative Electricität zugeführt wird; durch diese Zufuhr muss die Polarisirung verstärkt werden, und wir erhalten somit das Resultat, dass die Doppelbrechung des Quarzes zunimmt oder abnimmt, jenachdem die natürliche Polarisirung durch äussere electricische Kräfte verstärkt oder geschwächt wird.

Nachdem somit die erste in der Einleitung erwähnte Folgerung durch Versuche eine Bestätigung gefunden hatte, ging ich daran, auch die zweite einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen. Die mitgetheilten Versuche hatten mir gezeigt, dass jedenfalls keine grosse Differenz, was die Stärke anbetrifft, zwischen der durch gleiche electricische Kräfte erzeugten Zunahme und Abnahme der Doppelbrechung vorhanden war; daraus schloss ich, dass es in der That gelingen musste, im Quarz eine Richtung aufzufinden, welche die Eigenschaft hat, dass in dieser Richtung wirkende electricische Kräfte keine merkliche Aenderung der Doppelbrechung hervorbringen. Nach dem, was oben über diese Richtung gesagt ist, müsste dieselbe in einer Axe fehlender Piëzoelectricität, folglich in oder jedenfalls in der Nähe einer Zwischenaxe des Krystalles zu suchen sein. Ich liess mir deshalb von Hrn. Steeg und Reuter eine quadratische Quarzplatte von 1,5 cm Seitenlänge und 0,25 cm Dicke, die genau parallel einer Säulenfläche, somit senkrecht zu einer Zwischenaxe geschnitten ist, herstellen. Die Hauptaxe liegt parallel einer Seite des Quadrates, eine Nebenaxe also parallel einer zur zuerst genannten senkrechten Seite. Die vier schmalen Seitenflächen sind polirt.

Zunächst wurde nun untersucht, ob die Zwischenaxe dieses Krystalles wirklich eine Axe fehlender Piëzoelectricität ist. Es ergab sich, dass sogar starke Druckänderungen in

der Richtung der Zwischenaxe keine merklichen Mengen von Electricität auf den Druckstellen hervorbrachten, dass diese Richtung also eine Axe fehlender Piëzoelectricität ist. Nebenbei sei bemerkt, dass ein Druck parallel der Hauptaxe dasselbe Resultat ergab, dass dagegen ein Druck parallel der Nebenaxe beträchtliche Mengen von Electricität entwickelte.

Darauf wurde die Platte in der Mitte einer quadratischen Endfläche angebohrt, sodass dort eine ungefähr halbkugelförmige Vertiefung entstand (Tiefe 0,1 cm); eine nochmalige Untersuchung auf Piëzoelectricität ergab dasselbe wie vorher.

Diese so vorbereitete Platte wurde auf die bei meinen früheren electrooptischen Versuchen gebrauchte Messing-scheibe zwischen zwei dünnen auf derselben aufgekitteten Glasstreifchen gelegt und in horizontaler Lage in die kleine, oben erwähnte, mit Benzol gefüllte Flasche gebracht. In die Vertiefung der Platte ragte das Ende eines gut abgerundeten Messingdrahtes. Die Scheibe war die untere, der Draht die obere Electrode. Die Lichtstrahlen gingen parallel der Nebenaxe, somit senkrecht zur Hauptaxe und zur Zwischenaxe durch die Platte. Die Nicols befanden sich in der Stellung I.

Um die natürliche Doppelbrechung zu compensiren gebrauchte ich dasselbe Mittel, wie bei den Versuchen mit den Quarzparallelepipeden: eine zweite quadratische Quarzplatte, die senkrecht zur Hauptaxe geschnitten ist und ungefähr dieselben Dimensionen hat wie die erstere, wurde zwischen Analysator und Glasflasche auf ein um drei senkrecht zu einander stehende Axen bewegliches Stativ befestigt und so gestellt, dass ihre Hauptaxe senkrecht zur Hauptaxe der ersten Platte war. Die Doppelbrechung konnte nicht vollständig compensirt werden, allein um die in der ersten Platte eventuell hervorgebrachte Aenderung der Doppelbrechung beobachten zu können, konnte einer jener verticalen dunklen Streifen sehr gut benutzt werden, welche das Gesichtsfeld durchwanderten, wenn die compensirende Platte ein wenig um eine verticale Axe gedreht wurde. Eine geänderte Doppelbrechung müsste sich durch ein Verschieben des Streifens nach rechts oder links bemerkbar machen.

Ich stellte nun die Versuche in der Weise an, dass zuerst ein Streifen in die Mitte des Gesichtsfeldes, somit gerade unterhalb der kugelförmigen Vertiefung gebracht und nachgesehen wurde, ob bei rascher Aenderung der Potentialdifferenz zwischen den Electroden eine Verschiebung dieses Streifens eintrat. Eine solche Verschiebung habe ich, wie oft auch die Versuche unter geänderten Bedingungen wiederholt wurden, niemals erkennen können. Daraus folgt somit, dass eine Aenderung der Doppelbrechung durch electriche Kräfte, welche in der Richtung der Axe fehlender Piëzoelectricität wirkten, in nicht merklicher Weise erzeugt wurde.¹⁾

Nun wurde der Streifen zuerst auf die linke, dann auf die rechte Seite von der centralen Vertiefung, dieser aber immer sehr nahe bleibend verlegt; auch in diesen Stellungen war kein Einfluss der Electricisirung auf die Doppelbrechung zu bemerken; sowohl das untere wie das obere Ende des Streifens änderte seine Lage nicht.

Die Beobachtung, dass auch das obere Ende des Streifens nicht verrückt wurde, ist von Wichtigkeit, denn da dort die Kraftlinien, die von der halbkugelförmigen Vertiefung ausgehen, horizontal verlaufen und folglich links und rechts von der oberen Electrode mit der Richtung der Hauptaxe zusammenfallen, so ergibt sich daraus, dass auch in der Richtung der Hauptaxe des Quarzes durch electriche Kräfte keine merkliche Aenderung der Doppelbrechung erzeugt werden konnte. Auch hier gilt natürlich die vorhin in einer Fussnote gemachte Bemerkung. Die piëzoelectriche Untersuchung hatte, wie bemerkt, ergeben, dass durch Druckänderungen in der Richtung der Hauptaxe keine Electricität an der Druckstelle auftrat.

1) Ich kann selbstverständlich nicht behaupten, dass auch bei viel grösseren Potentialdifferenzen als die, welche ich anwandte, und bei Benutzung einer intensiveren Lichtquelle keine Spur eines electrooptischen Effectes in der Richtung einer Axe fehlender Piëzoelectricität beobachtet werden könne. Würde jemand eine solche Aenderung beobachten, so wird diese jedenfalls viel geringer sein, als die in der Richtung einer Axe maximaler Piëzoelectricität stattfindende; die obigen Versuche würden ihre Bedeutung nicht verlieren.

Das soeben mitgetheilte Resultat verdiente direct geprüft zu werden; zu diesem Zwecke wurde die senkrecht zur Hauptaxe geschliffene Platte gerade so wie die parallel der Axe geschliffene mit einer centralen halbkugelförmigen Vertiefung versehen und an die Stelle der letzteren in die Flasche gebracht; die Platten wurden einfach vertauscht. Wenn nun bei dieser Anordnung ein Interferenzstreifen unter der Vertiefung, also an der Stelle lag, wo die Kraftlinien parallel der Hauptaxe verliefen, so konnte ich durch Vermehrung oder Verminderung der Potentialdifferenz zwischen den Electroden keine Verschiebung desselben hervorbringen; folglich änderte sich auch in dieser Platte die Doppelbrechung durch in der Richtung der Hauptaxe wirkende electricische Kräfte nicht merklich. Auch diese Platte hatte bei einer Pressung parallel der Hauptaxe keine Piëzoelectricität an der Druckstelle geliefert.

Lag der Streifen seitlich von der Vertiefung, dieser aber sehr nahe, so beobachtete ich beim Electrisiren eine Erscheinung, die eine sehr willkommene Bestätigung der mit den Quarzparallelepipedon erhaltenen Resultate lieferte. Während nämlich das untere Ende des verticalen Streifens sich nicht bewegte, neigte sich das obere Ende desselben nach rechts oder links, und zwar wechselte die Richtung der Bewegung mit den Zeichen der Electricitäten auf den Electroden; ausserdem fand ich bei unverändertem Zeichen der Electricität, dass das obere Ende eines Streifens sich in verschiedener Richtung bewegte, je nachdem der Streifen auf der rechten oder auf der linken Seite von der Mitte sich befand. Eine verticale oder horizontale Compression der eingeschalteten Glasplatte hatte eine Verschiebung des ganzen Streifens parallel sich selbst nach links oder nach rechts zur Folge.

Die Erklärung dieser Erscheinungen ist bald gefunden, wenn man bedenkt, dass, wie die unten mitgetheilten Versuche darthun, die Richtung nach links und rechts, d. h. die zu den Lichtstrahlen senkrechte horizontale Richtung in dem benutzten Krystall nicht gerade mit einer Axe fehlender Piëzoelectricität zusammenfällt. Die Erscheinungen sind dann einfach aus den zuerst besprochenen Versuchen abzuleiten; ver-

laufen doch die Kraftlinien im oberen Theile der Platte neben der Vertiefung ungefähr horizontal; ein Theil derselben fällt folglich mit Richtungen zusammen, in welchen die Doppelbrechung geändert werden kann; im unteren Theil der Platte dagegen stehen die Kraftlinien vertical, diese liegen somit in der Richtung der Hauptaxe und erzeugen deshalb keine Aenderung der Doppelbrechung. Dem entsprechend verschiebt sich bloß das obere Ende des Streifens und nicht das untere. Die Beobachtung, dass die Richtung der Verschiebung wechselt, wenn die Electricisirung oder die Lage des Streifens wechselt, ist in vollständiger Uebereinstimmung mit der gefundenen Thatsache, dass die Zunahme der Doppelbrechung des Quarzes in eine Abnahme übergeht, wenn die Richtung der Kraftlinien umgekehrt wird.

Es hatte sich oben weiter ergeben, dass man aus der Vertheilung der Piëzoelectricität bei gegebener Richtung der Kraftlinien mit Bestimmtheit im voraus schliessen kann, ob eine Zunahme oder eine Abnahme der Doppelbrechung stattfinden wird, und es fragt sich somit, ob bei dem neuen Krystall die aufgestellte Regel bestätigt gefunden wird oder nicht.

Die Platte wurde auf Piëzoelectricität untersucht. Ein Druck auf die quadratische Oberfläche in der Richtung der Hauptaxe lieferte keine deutlich erkennbare Menge von Electricität an den Druckstellen. Anders verhielten sich jedoch die vier schmalen Seitenflächen; dieselben sollen der Reihe nach mit *a*, *b*, *c*, *d* bezeichnet werden. Eine Druckzunahme in der Richtung parallel *b* und *d* lieferte bei *a* positive, bei *c* negative Electricität; eine Druckabnahme die entgegengesetzten Electricitäten. Eine Druckzunahme in der Richtung parallel *a* und *c* ergab bei *b* negative, bei *d* positive Electricität; eine Druckabnahme das Gegenteil. In beiden Fällen erhielt ich kräftige Ausschläge des Electroskops.¹⁾

1) Zwischen den beiden Richtungen parallel *b* und *d* und parallel *a* und *c* muss ein Feld liegen, welches sich in piëzoelectrischer Beziehung entgegengesetzt verhält zu den beiden Feldern, zu welchen diese Richtungen gehören. In der That ergab eine Druckzunahme in der Richtung der Diagonale des Quadrates, welche von der Ecke *a*, *d* zu der Ecke *b*, *c* geht, bei *a*, *d* negative, bei *b*, *c* positive Electricität; eine Druckabnahme das Gegenteil.

Es wurde nun die Platte wieder in die mit Benzol gefüllte Flasche gebracht und eine Wiederholung der electrooptischen Versuche vorgenommen. Die optische Wirkung der Electricität wurde auch jetzt verglichen mit der Wirkung einer in horizontaler oder verticaler Richtung comprimierten Glasplatte. Wenn es also im Folgenden z. B. heisst: unten +, oben -; oberes Ende des Streifens links : horizontale Compr., so ist das eine Abkürzung von folgendem Satz: Wenn die untere Electrode positiv, die obere negativ war, so neigte sich das obere Ende des links von der Mitte liegenden Streifens nach der Seite hin, nach welcher der ganze Streifen durch eine Compression der Glasplatte in horizontaler Richtung verschoben werden konnte.

Versuch 1. Dié Lichtstrahlen gingen parallel *a* und *c* durch die Platte; *a* lag links, *c* rechts:

unten +, oben -;	oberes Ende des Streifens links	: verticale	Compr.
unten -, oben +;	„ „ „ „	„	horizontale „
unten +, oben -;	„ „ „ „	rechts	horizontale „
unten -, oben +;	„ „ „ „	„	verticale „

Versuch 2. Lichtstrahlen parallel *a* und *c*; *a* rechts, *c* links:

unten +, oben -;	oberes Ende des Streifens links	: horizontale	Compr.
unten -, oben +;	„ „ „ „	„	verticale „
unten +, oben -;	„ „ „ „	rechts	verticale „
unten -, oben +;	„ „ „ „	„	horizontale „

Versuch 3. Lichtstrahlen parallel *b* und *d*; *b* rechts, *d* links:

unten +, oben -;	oberes Ende des Streifens links	: verticale	Compr.
unten -, oben +;	„ „ „ „	„	horizontale „
unten +, oben -;	„ „ „ „	rechts	horizontale „
unten -, oben +;	„ „ „ „	„	verticale „

Versuch 4. Lichtstrahlen parallel *b* und *d*; *b* links, *d* rechts:

unten +, oben -;	oberes Ende des Streifens links	: horizontale	Compr.
unten -, oben +;	„ „ „ „	„	verticale „
unten +, oben -;	„ „ „ „	rechts	verticale „
unten -, oben +;	„ „ „ „	„	horizontale „

Man überzeugt sich nun leicht, dass diese Ergebnisse sich in jeder Beziehung in vollständiger Uebereinstimmung befinden mit den aus den zuerst mitgetheilten Versuchen erhaltenen Resultaten.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass die im Obigen mitgetheilten Phänomene auch mit Hülfe von zwei bekannten Thatsachen sich erklären lassen. Die eine dieser Thatsachen wurde vor kurzem von den Hrn. J. und P. Curie aufgefunden¹⁾ und lautet: theilt man den Enden einer Nebenaxe eines Quarzkrystalles entgegengesetzte Electricitäten mit, so ist die Folge davon, dass der Krystall sich in der Richtung dieser Axe zusammenzieht, resp. ausdehnt, jenachdem die Zeichen der zugeführten Electricitäten den Zeichen der an diesen Enden durch einen in jener Richtung ausgeübten Druck entstehenden Piëzoelectricitäten entgegengesetzt oder gleich sind. Ich halte es nun für sehr wahrscheinlich, dass dieses zunächst nur für die Richtung einer Nebenaxe gefundene Resultat, sich für jede Richtung senkrecht zur Hauptaxe ergeben wird, und dass somit die Richtung der Zwischenaxe, der Axe fehlender Piëzoelectricität die Eigenschaft besitzt, dass electricische Kräfte, welche in dieser Richtung wirken, keine merklichen Formveränderungen des Quarzes in dieser Richtung erzeugen. Bis jetzt habe ich noch keine Gelegenheit gehabt, die Richtigkeit der Curie'schen Versuche zu prüfen und dieselben in der angedeuteten Weise zu erweitern; da mich jene Versuche auch deshalb sehr interessiren, weil sie in naher Beziehung stehen zu meinen früheren Versuchen über sogenannte electricische Ausdehnung²⁾, werde ich sobald wie möglich diese Untersuchung in Angriff nehmen.

Die zweite leicht zu bestätigende Thatsache ist die, dass eine mechanische Compression des Quarzes senkrecht zur Hauptaxe auf die Lichtstrahlen, welche senkrecht zur Hauptaxe und zur Compressionsrichtung durch den Krystall gehen, qualitativ dieselbe Wirkung ausübt, wie eine in gleicher Richtung stattfindende Compression einer eingeschalteten Glasplatte.³⁾

Unschwer wird man finden, dass die beschriebenen Erscheinungen bis in ihre Details hinein vollständig in Uebereinstimmung sind mit den soeben mitgetheilten Eigenschaften des Quarzes.

1) J. u. P. Curie, Compt. rend. **93**. p. 1137. 1881.

2) Röntgen, Ber. d. Oberh. Ges. **20**. p. 1. 1881.

3) Brewster, Trans. of Edinb. **8**. p. 231. 1818.

Ueber die eigenthümlichen Erscheinungen, welche ich beobachtete, wenn die Lichtstrahlen parallel mit der Hauptaxe hindurchgingen, hoffe ich später zu berichten.

Giessen, den 25. Nov. 1882.

III. *Ueber das optische Verhalten des Quarzes im electricischen Felde; von A. Kundt.*

Im verflossenen Sommer begannen Hr. Prof. F. Braun und ich eine gemeinschaftliche Untersuchung über die von Kerr entdeckte Doppelbrechung im dielectricischen Felde. Unter den festen Körpern, die wir prüften, befanden sich auch einige Quarzstücke. Wir schickten homogenes Licht (Natronflamme) längs der optischen Axe durch die Krystalle, sodass man zwischen zwei Nicol'schen Prismen Theile der bekannten Ringfigur eines einaxigen Krystalls im Gesichtsfeld hatte.

Beim Electriciren des Quarzstückes erlitten die Abschnitte der Ringe, welche man sah, stets eine kleine Verückung, sodass dadurch eine Aenderung der Doppelbrechung des Quarzes durch Electriciren erwiesen war.

Wir mussten indess die Arbeit unterbrechen, bevor es uns gelang, die Gesetze des eigenthümlichen Verhaltens des Quarzes klarzustellen, da in den uns zu Gebote stehenden Räumen im Sommer die benutzten Holtz'-schen Maschinen fast ständig den Dienst versagten.

Ich habe nun, nach Uebereinkommen mit Hrn. Braun, im Beginn dieses Winters die Untersuchung allein wieder aufgenommen. Es gelang mir bald, die im electricischen Felde auftretende Aenderung der Doppelbrechung des Quarzes auf eine bereits bekannte Erscheinung, nämlich die von Hrn. Lippmann theoretisch erschlossene und von den Herren J. und P. Curie experimentell nachgewiesene Compression und Dilatation eines hemimorphen Krystalls beim Electriciren desselben zurückzuführen. Der Quarz gehört, wie Hr. Hankel nachgewiesen hat, wenigstens in Bezug auf sein pyroelectrici-