VI. Ueber die thermo-, actino- und piëzeoelectrischen Eigenschaften des Quarzes; von W. C. Röntgen.

(Aus dem 22. Ber. d. Oberh. Ges. f. Natur- u. Heilkunde mitgetheilt vom Hrn. Verf.).

Der letzte in meiner zweiten Mittheilung über das optische Verhalten des Quarzes im electrischen Felde angegebene Versuch veranlasste mich, wie schon erwähnt¹⁾, die electrischen Eigenschaften des Quarzes, insbesondere die thermo- und actino-electrischen, einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen. Sehr bald kam ich bei dieser Untersuchung zu der Ansicht, dass es möglich ist, die in sehr verschiedener Weise, sei es durch Wärmeleitung, Strahlung oder Druckänderung, hervorgebrachte Electricitätsentwicklung auf eine gemeinsame Ursache und namentlich auf eine Aenderung der im Krystall in irgend einer Weise erzeugten Spannungen zurückzuführen; ich würde es demnach für unnöthig halten, die drei genannten Arten von Electricitäten als durch ihre Entstehungsweise voneinander verschieden zu unterscheiden, und würde vorschlagen, nur den einen Namen, Piëzeoelectricität, beizubehalten, wenn durch eine fortgesetzte Untersuchung das Resultat gefunden werden sollte, dass die angedeutete Erklärungsweise in allen Fällen anwendbar und ausreichend ist.

Ich habe mit der Veröffentlichung meiner Ansicht und meiner Versuche gezögert, erstens weil letztere noch nicht vollständig abgeschlossen sind, und zweitens weil meine Theorie so durchaus abweichend ist von derjenigen, welche der auf diesem Gebiet erfahrenste und bewährteste Experimentator, Hr. Hankel, aufgestellt hat. Ich glaube aber jetzt nicht länger warten zu dürfen, und theile im Folgenden die wichtigsten meiner Versuche kurz mit.

Aus dem erwähnten electrooptischen Versuch glaube ich schliessen zu können, dass die Zunahme eines auf einen Quarzcyylinder oder eine Quarzkugel allseitig ausgeübten, gleichmässigen Oberflächendruckes eine solche Electricitätsentwicklung zur Folge haben muss, dass die Oberfläche

1) Röntgen, Wied. Ann. 18. p. 551. 1883.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XIX.

durch die drei Ebenen fehlender Piëzoelectricität in sechs electriche Felder getheilt wird, welche dieselbe Lage und dasselbe Zeichen haben, wie die nach der auf p. 540 meiner zweiten Abhandlung beschriebenen Methode durch einseitige Druckvermehrung erhaltenen. Wenn nun eine unelectrische, warme Kugel, die überall dieselbe Temperatur hat, in einen kälteren Raum gebracht wird, sodass sie sich gleichmässig abkühlen kann, so werden die äusseren, sich zuerst abkühlenden Schichten auf die inneren einen überall radial gerichteten Druck ausüben, der während der ersten Zeit rasch wächst; folglich muss während dieser Periode, welche wir die erste nennen wollen, auf der Kugel diejenige Electricitätsvertheilung vorhanden sein, welche einer Zunahme eines auf sie ausgeübten mechanischen Oberflächendruckes entspricht. Nach einiger Zeit, wenn die Abkühlung weiter fortgeschritten ist, wächst der Druck der äusseren Schichten nicht mehr, sondern fängt an abzunehmen; dann ändert sich aber auch das Zeichen der entwickelten Piëzoelectricitäten, und die aus der ersten Periode stammende Electricität wird nun mehr und mehr geschwächt. Die Kugel wird während dieser zweiten Periode immer weniger stark electric, und es kann vorkommen, besonders wenn während der ersten Periode ein Theil der erzeugten Electricitäten durch Leitung verschwunden ist, dass die fast vollständig erkaltete Kugel eine Electrisirung aufweist, welche die entgegengesetzte ist von der zu Anfang der Abkühlung gefundenen.

Diese Folgerungen habe ich mehrmals bestätigen können, indem ich die bei der Abkühlung einer frei aufgehängten Quarzkugel auftretenden Electricitäten untersuchte. Auch Hr. Hankel hat diesen soeben geschilderten Verlauf der Erscheinungen bei Quarzkrystallen beobachtet¹⁾; derselbe nennt aber die zuerst auftretende Electricität Actinoelectricität, die zuletzt zurückbleibende Thermoelectricität.

Durch möglichst gleichmässige Erwärmung einer Quarzkugel erhielt ich Erscheinungen, welche den obigen durchaus analog sind; nur haben die Electricitäten die entgegenge-

1) Hankel, Electriche Untersuchungen 15. Abhandl. p. 530.

setzten Zeichen von vorhin. Wenn man beachtet, dass die die Wärme zunächst aufnehmenden äusseren Schichten auf die inneren einen radial gerichteten Zug ausüben, und dass durch die Zunahme eines auf den Quarz ausgeübten Zuges dieselbe Piëzoelectricität erzeugt wird, wie durch Abnahme eines in gleicher Richtung wirkenden Druckes, so ist die Erklärung leicht zu finden.

Eine locale Abkühlung eines vorher erwärmten Krystalles durch einen gegen den Krystall gerichteten kalten Luftstrom hatte eine starke Electricitätsentwicklung an der abgekühlten Stelle zur Folge, wenn diese Stelle nicht gerade in einer Ebene fehlender Piëzoelectricität lag; die entstehende Electricitätsart war dieselbe, wie die, welche man an derselben Stelle durch Zunahme eines dort in der Richtung eines Durchmessers ausgeübten Druckes erhalten würde; eine locale Erwärmung durch einen warmen Luftstrom erzeugte dagegen die entgegengesetzte Electricität.¹⁾ Im ersten Fall findet eine rasche Zunahme des von den äusseren auf die inneren Schichten ausgeübten Druckes statt; im zweiten Fall, wo sich die äusseren Schichten von den inneren abzuheben suchen, wächst der entstehende Zug sehr rasch; ich halte deshalb die beobachtete Electricität einfach für Piëzoelectricität. Die von Hrn. Friedel wahrgenommene Electricität²⁾, welche durch Auflegen einer erwärmten Metallkugel auf einen Quarzkrystall erhalten wurde, ist nicht nur dem Zeichen, sondern auch der Entstehung nach identisch mit der durch einen warmen Luftstrom erzeugten; dieselbe ist folglich Piëzoelectricität. Hr. Friedel bezeichnet dieselbe als Thermo-, Hr. Hankel als Actinoelectricität.

Die nun folgenden Versuche scheinen mir besonders geeignet zu sein, um meine Theorie zu unterstützen.

Auf eine senkrecht zur Hauptaxe geschliffene, homogene Quarzplatte wurde ein Stanniolring, dessen innerer Durchmesser 2 cm und äusserer Durchmesser 4 cm beträgt, ge-

1) Die Luft wurde durch ein zur Erde abgeleitetes Löthrohr, dessen enge Mündung nahe an die Oberfläche des Krystalles gebracht war, gegen den Krystall getrieben.

2) Friedel, Bull. de la société minéralogique de France 2. p. 31. 1879.

klebt; der Ring wurde dann an sechs radial und in der Richtung der Axen fehlender Piëzoelectricität gelegenen Stellen durchschnitten, sodass sechs voneinander isolirte Ringstücke entstanden. Das erste, dritte und fünfte Stück ward durch Drähte mit dem einen Halbring eines Kirchhoff-Thomson'schen Electrometers, das zweite, vierte und sechste Stück, sowie der zweite Halbring des Electrometers mit der Erde verbunden. Erwärmte ich dann den centralen, stanniol-freien Theil der anfänglich Zimmertemperatur besitzenden Platte durch Aufsetzen eines warmen Messingcylinderchens, oder durch Bestrahlen mit einer Flamme oder einem erwärmten Metallblech, oder durch einen warmen Luftstrom, oder auf irgend eine andere Art, so wurden die Ringstücke in der Weise electricisch, dass jedes Ringstück diejenige Electricität erhielt, welche das demselben zunächst liegende Nebenaxenende erhalten haben würde, wenn eine Zunahme eines in der Richtung der entsprechenden Nebenaxe wirkenden Druckes stattgefunden hätte. Eine in irgend einer Weise erzeugte Abkühlung des centralen Theiles brachte dagegen immer die entgegengesetzten Electricitäten hervor. Wurde nun bei einem folgenden Versuch nicht der centrale, sondern der den Stanniolring umgebende Theil der Platte durch aufgesetzte Ringe, durch Strahlung u. s. w. erwärmt, resp. abgekühlt, so zeigte das Electrometer im Falle einer Erwärmung das Vorhandensein von derselben Electricität an, welche bei Abkühlung der Mitte vorhin gefunden war, und umgekehrt im Falle einer Abkühlung fand sich dieselbe Electricität, die durch Erwärmung der Mitte erzeugt wurde.

Diese Resultate sind nicht befremdend, wenn man von der Ansicht ausgeht, dass Spannungsänderungen im Krystall die Ursache der Electricitätsentwicklung sind. Im ersten und vierten Fall nämlich erzeugt die centrale Erwärmung, resp. die periphere Abkühlung Spannungen in der Platte, welche gleichartig sind mit den durch einen auf den Rand ausgeübten, gleichmässig vertheilten Druck hervorgebrachten; im zweiten und dritten Fall aber bewirkt die centrale Abkühlung, resp. die periphere Erwärmung einen Spannungszustand, welcher analog ist mit dem durch einen auf den

Rand ausgeübten, gleichmässig vertheilten Zug hergestellten Zustand. In allen Fällen findet nun während der ersten Zeit nach dem Anfang der Erwärmung, resp. der Abkühlung ein rasches Wachsen der erzeugten Spannungen statt, folglich muss in den beiden soeben zuerst genannten Fällen diejenige Electricitätsvertheilung vorhanden sein, welche einer Zunahme des auf den Plattenrand ausgeübten Druckes entspricht; in den beiden zuletzt genannten Fällen diejenige Vertheilung, welche einer Druckabnahme entspricht.

Man ersieht aus diesen Versuchen, dass die Art der entstehenden Electricität nicht bedingt wird durch die Art und Weise, wie eine locale Erwärmung, resp. Abkühlung erzeugt wird, sondern wesentlich abhängt von der Lage der Stelle im Krystall, wo diese Temperaturveränderungen vorgenommen werden.

Aus dem Resultat, dass die Erwärmung der peripheren Theile und die der centralen Theile einer Platte sich in ihrer electricischen Wirkung entgegengesetzt verhalten, möchte ich noch einen Schluss ziehen, den ich zwar nicht experimentell geprüft habe, der mir aber ziemlich sicher zu sein scheint. Gesetzt es wäre möglich, eine Platte so gleichmässig zu erwärmen, dass in derselben keine merklichen Temperaturdifferenzen und Spannungen vorkämen, so glaube ich, dass durch diese Erwärmung keine oder nur relativ wenig Electricität erzeugt werden würde, trotzdem die Theilchen der Platte mitunter beträchtliche Verschiebungen erleiden. Beachtet man nun, dass schon sehr geringe Verschiebungen der Theilchen sehr beträchtliche Electricitätsmengen hervorbringen, sobald diese Verschiebungen von Spannungsänderungen im Krystall begleitet sind (wie dies z. B. bei ungleichmässiger Erwärmung einer Platte der Fall ist), so erscheint die Annahme wohl gerechtfertigt, dass die Aenderung der Temperatur und der gegenseitigen Lage der Theilchen für sich keine Electricität erzeugt, dass dagegen die wesentliche Ursache der Electricitätsentwicklung in Spannungsänderungen zu suchen ist.

Im Vorstehenden habe ich einen ersten Versuch gemacht, um die durch Temperaturänderungen im Quarz entwickelte

Electricität durch im Krystall erzeugte Spannungen zu erklären. Ich weiss sehr wohl, dass die in den einzelnen Fällen gegebene Erklärung hier und da noch etwas lückenhaft ist, und dass namentlich weitere Untersuchungen nöthig sind, um den genauen Zusammenhang zwischen Spannungsänderungen und Electricitätsentwicklung festzustellen.

Giessen, 20. März 1883.

**VII. Ueber Electricitätsentwicklung bei der
Verdampfung und über die electricische Neutralität
des von ruhigen electrisirten Flüssigkeitsflächen
aufsteigenden Dampfes;
von Lucien J. Blake.**

(Hierzu Taf. VII Flg. 85.)

Von den verschiedenen Theorien über die Ursache der atmosphärischen Electricität haben besonders zwei von Zeit zu Zeit ihre Vertheidiger gefunden. Der ersten Theorie liegt die Hypothese zu Grunde, dass durch einfache Verdampfung einer Flüssigkeit Electricität erzeugt würde. Sie wurde zuerst von Volta¹⁾ aufgestellt und hat nachher in Pouillet²⁾, Tait und Wanklyn³⁾ Anhänger gewonnen, während Saussure⁴⁾, Configliachi⁵⁾, Erman⁶⁾, Reich⁷⁾, Gaugain⁸⁾ und Riess⁹⁾ sie zu widerlegen gesucht haben.

Die zweite Theorie beruht hauptsächlich auf der Hypothese, dass eine Convection der Electricität, die sich auf der Oberfläche einer verdampfenden Flüssigkeit befindet,

1) Volta, Phil. Trans. 15. p. 274. 1782.

2) Pouillet, Ann. de chim. et de phys. 35. p. 401. 1827 und 36. p. 5. 1827.

3) Tait u. Wanklyn, Phil. Mag. (4) 23. p. 494. 1862. Nature 23. p. 330.

4) Saussure, Voyages dans des Alpes. 2. p. 227 u. 249. 1786.

5) Configliachi, Gilb. Ann. 43. p. 370. 1813.

6) Erman, Abh. d. Berl. Akad. 19. p. 25. 1818.

7) Reich, Abh. bei Begründung d. k. Sächs. Ges. d. Wiss. p. 199. 1846.

8) Gaugain, Compt. rend. 38. p. 1012. 1854.

9) Riess, Reibungselectricität. 2. p. 407 u. 491. 1853.