I. Ueber eine neue Art von Ton-Erregung durch den elektrischen Strom; von J. C. Poggendorff.

(Aus den Monatsberichten d. Acad. März 1856.)

Im J. 1837 machte Hr. Dr. Page zu Salem im Staate Massachusetts die interessante Beobachtung, daß ein Hufeisenmagnet, vor oder zwischen dessen Polen er eine flache Spirale von Kupferdraht aufgehängt hatte, zu tönen anfang, so wie er durch die Spirale den unterbrochenen Strom einer galvanischen Kette leitete. Die weitere Verfolgung dieser Beobachtung durch andere Physiker, namentlich durch Delezenne, Beatson, Marrian, Matteucci, De la Rive und Wertheim, hat gelehrt, daß es immer nur der unterbrochene galvanische Strom ist, der zu dieser neuen Tonbildung Anlaß giebt, und daß er zu dem Ende in zweierlei Weisen angewandt werden kann, einmal nämlich unmittelbar, indem man ihn geradezu durch die zum Tönen bestimmten Körper leitet, und dann vermöge seiner Wirkung in Distanz, indem man ihn in einem schraubenförmigen Drahte um diese Körper herumführt.

Solchergestalt sind diese Töne namentlich in Stahl und Eisen hervorgerufen worden, und wie es scheint nur in diesen Metallen. Wenigstens versichert Wertheim ausdrücklich, daß Stäbe und Drähte aus anderem Material weder nach der einen, noch nach der anderen Methode zum Tönen gebracht werden können ¹⁾. Und da De la Rive, der in einer früheren Abhandlung sagt, er habe nach beiden Methoden auch aus Drähten von Platin, Silber, Kupfer, Messing, Argentan, Blei, Zinn und Zink Töne

1) Ann. Bd. 77, S. 43.

erhalten ¹⁾), modificirt diese Angabe in einer späteren Arbeit dahin, daß es nur geschehe, wenn zugleich ein starker Elektromagnet auf dergleichen Drähte einwirke ²⁾).

Die hier zu beschreibende Methode, auf welche der Verfasser durch eine zufällig im Herbst 1854 gemachte Beobachtung gerieth, hat zunächst den Vorzug der größeren Allgemeinheit, indem sich nach ihr unzweifelhaft alle Metalle zum Tönen bringen lassen; aber es sind auch noch andere Umstände damit verknüpft, welche ihr für die Elektrizitätslehre Interesse verleihen.

Sie beruht ebenfalls auf Anwendung des unterbrochenen Stroms, jedoch ist es nicht eigentlich dieser, sondern der durch ihn erzeugte Inductionsstrom, welcher als Ton-erregere anzusehen ist. Und es sind nicht Stäbe oder Drähte, in welchen die Töne hervorgerufen werden, sondern Röhren, gebildet aus Blechen oder Platten, welche die den galvanischen Strom leitende Drahtrolle umgeben.

Der Verfasser benutzte zu allen diesen Versuchen eine der früher beschriebenen Hauptrollen ³⁾, die 5 par. Zoll in Länge und 5,5 par. Zoll in Umfang halten. Die beiden Drähte derselben waren stets nebeneinander verknüpft, so daß sie einem einzigen Draht von 100 par. Fuß Länge und 1,4 Millm. Durchmesser gleich kamen. Die Rolle wurde durch ein Stativ in senkrechter Stellung gehalten, solchergestalt, daß sie am unteren Ende mit der Quelle des galvanischen Stroms, die in der Regel nur eine einzige Grove'sche Kette war, durch Drähte verknüpft werden konnte. Ueber die somit freistehende Drahtrolle wurden, von obenher, die zu untersuchenden Röhren geschoben, die der Länge nach entweder ganz offen oder durch Löthung ganz metallisch geschlossen, oder auch nur so weit zusammengebogen waren, daß die Ränder des Blechs einander berührten. Als Material zu solchen Röhren, welche meistens 5 Zoll Höhe und 2 bis 4 Zoll Durchmesser hatten, wurde

1) Ann. Bd. 65, S. 637.

2) Ebend. Bd. 76, S. 285.

3) Monatsbericht 1855, S. 16. (Ann. Bd. 94, S. 295.)

benutzt: Platin, Kupfer, Neusilber, Zinn, Messing, Zink, Blei und Eisen.

Zur Unterbrechung des galvanischen Stroms diente ein Wagener'scher Hammer von eigenthümlicher Construction, um ihm einen möglichst leisen Gang zu verleihen, was nöthig war, damit er durch sein Geräusch nicht dasjenige verdeckte, welches Gegenstand der Beobachtung seyn sollte ¹⁾).

Die auf solche Weise angestellten Versuche haben nun zu folgendem allgemeinen Resultat geführt: *Alle Metalle, das Eisen ausgenommen, geben keinen Ton, wenn sie entweder als ganz offene oder als vollkommen geschlossene Röhren die Drahtrolle umgeben. Stoßen dagegen die Ränder der Röhren bloß aneinander, so lassen alle Metalle, auch das Eisen nicht ausgenommen, einen sehr deutlichen Ton vernehmen, der an Stärke und Klang verschieden ist nach den Dimensionen der Röhre, nach der Natur und Elasticität ihres Materials, nach der Intensität des Stroms, und auch nach anderen Umständen, deren sogleich gedacht werden soll.*

Das Eisen unterscheidet sich von den übrigen Metallen dadurch, daß es, — offenbar in Folge seiner Magnetisirbarkeit, — schon als ganz offene Röhre einen knisternden Ton giebt, nicht allein wenn diese die Drahtrolle umgiebt, sondern auch schon, wenn sie bloß daneben gestellt ist. Es ist offenbar derselbe, den man bereits früher beobach-

1) Dieser Hammer weicht von dem gewöhnlichen mit federnder Zunge dadurch ab, daß der Platinstift, gegen welchen die Zunge schlägt, ebenfalls von einer Feder getragen wird, die rechtwinklich gegen die erstere, in horizontaler Lage an einem zur Seite stehenden Ständer befestigt ist. Eine Schraube, getragen von einem unbeugsamen Arme desselben Ständers unterhalb der zweiten Feder, verhindert, daß diese nach unten schlage, und dient im Verein mit der Schraube, deren Ende der Platinstift bildet, zur Regulirung des Contacts, der durch diese einfache Vorrichtung nach demselben Principe ebenso verlängert ist, wie bei den Instrumenten von Sinsteden, Halske (Ann. Bd. 97, S. 641) und Stöhrer (S. 110 dieses Bandes), denen sie auch an Wirkung vollkommen gleichkommen, an Leise des Ganges vielleicht noch übertreffen möchte.

tete an Eisenblech, das in die Drahtrolle gelegt war. Aber dieser Ton ist weit schwächer als derjenige, welcher gehört wird, wenn die Ränder der Röhre sich berühren. Es scheint dann zu dem ersteren Ton noch ein zweiter hinzutreten.

Die Töne, welche man von Metallröhren mit einander berührenden Rändern erhält, werden offenbar hervorgerufen durch den Inductionsstrom, welchen die Wirkung des in der Drahtrolle unterbrochen circulirenden galvanischen Stroms in der Masse solcher Röhren erregt; denn sie werden verstärkt und geschwächt durch dieselben Umstände, welche einen derartigen Inductionsstrom stärker und schwächer machen würden.

So werden die Töne verstärkt, wenn man in die Drahtrolle einen Eisendrahtbündel schiebt, was daher bei den Versuchen des Verfassers auch immer geschah; und ebenso, obwohl natürlich in geringerem Grade, wenn man die Drahtrolle mit dem Condensator verbindet, was gleichfalls bei diesen Versuchen nie unterlassen ward.

In noch auffallenderer Weise läßt sich die Schwächung der Töne darthun. Es ist dazu nur erforderlich, in eine tönende Röhre eine andere vollkommen geschlossene Metallhülle von geringerem Durchmesser so zu stellen, daß sie die inducirende Drahtrolle umgiebt. So wie man sie hineinstellt, hört das Tönen der weiteren Röhre augenblicklich auf; so wie man sie herauszieht, fängt es sofort wieder an.

Selbst zwei des Tönens fähige Röhren von ungleichem Durchmesser liefern einen Beweis von dieser Schwächung. Gleichzeitig in einander um die Drahtrolle gestellt, tönen sie vereint schwächer, als jede einzeln für sich. Manchmal verstummt die eine ganz. Zwei tönende Röhren von gleichem Durchmesser, über einander um die Drahtrolle gestellt, stören dagegen einander nicht.

Statt der innern geschlossenen Röhre, die z. B. aus Zink oder einem anderen nicht merklich magnetisirbaren Metall bestehen kann, läßt sich auch eine *offene* Eisenröhre anwenden. Sie wirkt ebenfalls, je nach ihrer Höhe und Wand-

dicke, schwächend oder vernichtend auf die Töne, nicht weil sich in ihr, wie in der geschlossenen Zinkröhre, ein Inductionsstrom bildete, sondern weil sie durch die Drahtrolle umgekehrt wie das innere Drahtbündel magnetisirt wird, und somit diesem Bündel und der Rolle entgegen wirkt.

Der Zusammenhang der Tonbildung mit dem Inductionsstrom, wenn er noch eines ferneren Beweises bedürfte, geht auch daraus hervor, daß sie unabhängig ist vom Durchmesser der Röhren. Der Verfasser erhielt die Töne mit Röhren von 2, 4 und 8 Zoll Durchmesser, ohne dabei einen andern Unterschied in der Stärke derselben wahrzunehmen, als denjenigen, welcher sich aus den diesen Durchmessern nicht entsprechend vergrößerten Höhen der Röhren herleiten liefs. Bei angemessener Höhe würde sich offenbar ein Hohlcylin- der von jeglichem noch so großem Durchmesser eben so gut durch eine einzige Volta'sche Kette zum Tönen bringen lassen wie eine Röhre von nur Zollweite.

Ist nun nach Allem diesem klar, daß die in Rede stehenden Töne ihren Ursprung einem parallel den Windungen der Drahtrolle in der Röhre erregten Inductionsstrom verdanken, und fällt insofern diese Erregungsweise zusammen mit derjenigen, bei welcher der unterbrochene galvanische Strom direct durch einen Stahl- oder Eisendraht geleitet wird, so soll damit doch nicht gesagt seyn, daß die Tonbildung eine moleculare, ursprünglich in der ganzen Metallmasse vor sich gehende sey, wie es bei einem solchen Draht oder bei einer offenen Eisenröhre sicher der Fall ist. Im Gegentheil hält der Verfasser es für unzweifelhaft, daß die von ihm beobachtete Tonbildung zunächst ihren Sitz an der Stelle hat, wo die Ränder der Röhren einander berühren, daß von dort aus Erschütterungen erfolgen, welche die Röhre in tönende Schwingungen versetzen.

Die Töne sind auch nur ein secundäres Phänomen, welches fehlen kann, wenn das Material der Röhre wenig Elasticität besitzt, z. B. aus Blei besteht. Das Primitive der akustischen Erscheinung liegt in einem trockenen Geräusch,

einem dem Schlagen einer Taschenuhr einigermaassen vergleichbaren *Ticken*, welches sich an der Berührungsstelle der Röhrenränder synchron mit den Schlägen des stromunterbrechenden Hammers vernehmen läßt und niemals fehlt. Es entsteht, wie sich durch einzelne Unterbrechungen des galvanischen Stroms überzeugend darthun läßt, nicht beim Schliessen, sondern nur beim Oeffnen der Kette, und wahrscheinlich auch beim Aufhören des dadurch erregten Inductionstroms.

Dieses Ticken allein, nicht das Tönen, ist es, dessen Erforschung dem Gebiet der Elektrizitätslehre anheimfällt, und ich mir daher besonders zur Aufgabe machte, ohne jedoch bis jetzt eine vollständige Lösung derselben herbeigeführt zu haben.

Gleich dem Tönen, läßt sich das Ticken, wenn man vom Eisen absieht, bei einer der Länge nach durch Löthung vollkommen geschlossenen Röhre, und um so mehr also vermuthlich bei einem gegossenen Hohlcyylinder, nicht vernehmen. Selbst eine gelöthete Röhre, die man so weit aufgeschnitten hat, daß über dem Schlitz noch eine Brücke von etwa einer Linie Breite stehen bleibt, giebt, wenigstens bei den von mir ins Spiel gesetzten Kräften, das tickende Geräusch nicht.

Dies zeigt, daß eine gewisse Aufhebung des Zusammenhangs für das Entstehen dieses Geräusches nothwendig ist; denn daß die aneinander liegenden Ränder der Röhre sich nicht so innig berühren, wie die Theilchen im Innern der Masse, ist wohl vorweg klar und wird auch durch Erscheinungen in anderen Gebieten der Physik bestätigt. Unbedenklich kann man hier, auch bei scheinbar noch so guter Berührung, eine dünne Luftschicht zwischen den Röhrenrändern annehmen, wie man eine solche selbst für die schwarze Mitte der Newton'schen reflectirten Ringe anzunehmen genöthigt ist.

Bei dem Ticken zeigt sich der Einfluß des Abstandes, der somit zwischen den Röhrenrändern vorausgesetzt wird, zunächst dadurch, daß dasselbe, je mehr man die

Ränder aneinander drückt, desto mehr an Stärke abnimmt: ja es ist nicht unwahrscheinlich, dafs es bei hinreichend starker Compression, bei welcher sich die Theilchen nichtglasharter Metalle förmlich ineinander drücken, ganz verschwinden würde, wie es andererseits gewifs ist, dafs, wenn es recht laut auftreten soll, die Ränder nur lose aneinander liegen dürfen ').

Man könnte meinen, dafs mit verstärktem Druck auch die Zahl der Berührungspunkte vermehrt werde, und daraus die Abnahme des Geräusches entspringe. Allein, wenn diefs auch für gewöhnlich der Fall gewesen seyn mag, wo ich gröfsere, hervorspringende und nicht vollkommen geebnete Stücke der Röhrenränder aneinander brachte, so kann doch schwerlich im Allgemeinen die erwähnte Abnahme davon abgeleitet werden. Denn wenn man eine Steck- oder Nähnaedel winkelrecht gegen die Ränder zwischen dieselben einklemmt, so nimmt das Ticken, welches dann sehr laut ist, gleichfalls mit gesteigertem Druck ab, ohne dafs sich die Naedel nachher platt gedrückt erweist.

Uebrigens kann ein Theil der Röhrenränder in innigem Metallcontact stehen, ohne dafs das tickende Geräusch verschwindet, sobald nur andere Punkte dieser Ränder einander lose berühren. So geräth die erwähnte, theilweis aufgeschnittene Röhre ins Tönen, so wie man in deren Schlitz eine Naedel oder ein keilförmiges Stück Blech einklemmt.

Dadurch erklärt sich auch eine Erscheinung beim Zinn. Wenn man ein Zinnblech um die inducirende Drahtrolle herumbiegt und die Ränder desselben aneinander bringt, so

- 1) Bei Röhren von dicken Wänden, z. B. bei Zinkröhren von 1,5 bis 2,5 par. Lin. Wanddicke beobachtet man zugleich, dafs mit verstärktem Druck der Ränder gegen einander der Ton um mehrere Stufen in die Höhe geht, während das Ticken zwar schwächer wird, aber sein Tempo, wie natürlich, nicht verändert, da dieses von dem Gang des Hammers bedingt wird, mit ihm immer synchron bleibt. Bei solchen dickwandigen Röhren sind die Tonschwingungen offenbar blofs longitudinal oder peripherisch, während sie bei den dünnwandigen ganz oder theilweise transversal oder radial sind; denn erstere kann man ohne Störung des Tons mit der Hand anfassen, letztere nicht.

kleben sie sogleich an einzelnen Stellen zusammen, werden förmlich verlöthet. Dennoch zeigt sich das Ticken ausnehmend deutlich. Schmilzt man aber die benachbarten Ränder mit einer Löthrohrflamme solide zusammen, so hört dieses Geräusch auf.

Eine Hauptfrage bei dieser Untersuchung ist natürlich die: durch welchen Vorgang das tickende Geräusch an der Unterbrechungsstelle hervorgebracht werde.

Zunächst könnte man an das Ueberspringen von Funken denken, aber dieses ist sicher nicht die Ursache des Geräusches.

Allerdings sieht man Funken, wenn man die Röhrenränder von einander trennt, — wie es scheint, besonders dann, wenn es glückt, diese Trennung in dem Moment zu vollziehen, da der Hammer den galvanischen Strom unterbricht. Man sieht sie sogar, obwohl sehr klein, an einer Röhre, die wie die eben genannte, nur theilweise aufgeschnitten ist, wenn man den Keil in dem Spalt herauszieht.

Aber während die Ränder ruhig aneinander liegen, erblickt man selbst in vollkommener Dunkelheit keine Funken, trotzdem das Ticken ungestört fortgeht. — Ich habe die inducirende Hauptrolle mit ihrer tönenden Metallhülle ins Vacuum der Luftpumpe versetzt, aber auch dort geschah das Ticken, ohne daß der mindeste Lichtschein an der Unterbrechungsstelle der Röhre sichtbar war.

Ueberdies haben die erwähnten Funken eine äußerst geringe Schlagweite, wie das nicht anders als erwartet werden kann, wenn man bedenkt, daß hier der elektrische Strom in einer ganz metallischen Bahn von wenigen Zollen Länge erregt wird.

Bei einem leicht schmelzbaren Metall, wie Zinn z. B., sieht man freilich manchmal Funken einige Linien weit fortspringen; aber dies ist doch kein wahres Ueberspringen, sondern ein Fortschleudern von geschmolzenen, glühenden und vielleicht verbrennenden Metalltheilchen, denn es geschieht meistens ganz außerhalb der Richtung des elektrischen Stroms, bald nach dieser, bald nach jener Seite.

Ein wahres Ueberspringen von Funken kann es schon deshalb nicht seyn, weil die Spannung des Stroms ganz außerordentlich gering ist. Wie sehr ich auch die Ränder der Metallröhre, ohne sie in Berührung zu bringen, einander nähern mochte; — niemals sah ich Funken überspringen. Man kann den Zwischenraum mit angefeuchteten Fingern bedecken, kann es sogar wagen, die Zungenspitze zwischen die Röhrenränder zu schieben, ohne die geringste Empfindung zu verspüren.

Wenn Funken die Ursache des Tickens wären, so sollte man meinen, müßte dasselbe in einer leitenden Flüssigkeit verschwinden. Allein ich habe, bei horizontaler Lage einer Röhre, die Unterbrechungsstelle derselben in Brunnenwasser und in verdünnte Schwefelsäure getaucht, ohne dafs eine Abnahme des Geräusches wahrnehmbar gewesen wäre.

Nur als ein dünnes Stück Fließpapier, getränkt mit verdünnter Schwefelsäure, zwischen die Ränder geschoben, also der Metallcontact ganz unterbrochen wurde, hörte es auf.

Und ebenso verschwand es bei einer Zinkröhre, als deren Ränder so stark amalgamirt waren, dafs Quecksilbertropfchen daran hängen blieben, — offenbar, weil dann ein vollkommener Metallcontact hergestellt war.

Dagegen hörte das Ticken nicht auf, als die Berührungsstelle mit der Flamme einer Weingeistflamme stark erhitzt wurde; obwohl eine Schwächung allerdings bemerkbar war.

Wenn nun aber, allem diesem nach, Funken nicht die Ursache des Geräusches sind, — worin kann dann dasselbe begründet seyn?

Zunächst könnte man an jene Abstofsung denken, welche, wie Ampère gezeigt, in Richtung des Stroms zwischen den Theilchen desselben stattfindet. Sie würde, könnte man sagen, während der Strom entsteht, die Röhrenränder ein klein wenig von einander entfernen, und, wenn er aufhört, wieder gegen einander schnellen lassen. Allein abgesehen von allem Andern, scheint es, hat der schwache Strom, der hier auftritt, nicht Kraft genug, um einen solchen mechanischen

Effect auszuüben. Ich habe das Ticken bei Zinkröhren beobachtet, die etwa 2 Zoll im Durchmesser und über $2\frac{1}{2}$ Lin. in Wanddicke halten, und zu ihrem Zusammen-drücken einen sehr bedeutenden Kraftaufwand erfordern.

Ueberdies, so sehr man auch geneigt ist, das Geräusch von einem mechanischen Gegeneinanderstossen der Röhren-ränder herzuleiten, so hat doch die Beobachtung mir kei-nen Beweis dafür geliefert.

Für das bloße Auge scheinen diese Ränder absolut in Ruhe zu verharren, und selbst unter dem Mikroskop, frei-lich nur bei 100maliger Vergrößerung, die aber doch wohl schon etwas hätte zeigen müssen, war von einer Bewegung nichts wahrzunehmen. — Ebenso zeigten die Flüssigkeiten, in welche die tickenden Röhren getaucht waren, nicht die geringste Spur von einer Erzzitterung oder Wellenbewe-gung. Jedenfalls muß die Amplitude der tickenden und tönenden Schwingungen außerordentlich klein seyn.

Die natürlichste Ansicht über das in Rede stehende Phä-nomen möchte wohl die seyn, daß, trotz des scheinbaren Metallcontacts der Röhrenränder, dennoch keine gleichför-mige Leitung der Elektricität stattfindet, sondern zeitweise, in den Momenten der Unterbrechung des Stroms, eine plötz-liche Entladung erfolgt — und zwar ohne Funken.

Nur dieser Zusatz hat etwas Ungewöhnliches, aber es ist nicht einzusehen, daß er den bisherigen Erfahrungen widerspreche; denn aus keiner derselben scheint ein Beweis hervorzugehen dafür, daß der Durchgang der Elektricität durch eine Luftschicht von außerordentlicher Dünnhcit noth-wendig mit Funken verknüpft seyn müsse.

Im Gegentheil ließen sich Gründe anführen, welche das Erscheinen von Funken in einem solchen Falle zweifelhaft machen, um so mehr, als es andererseits auch noch fraglich scheint, ob wir in den Funken, da wo sie erscheinen, die Elektricität in Wahrheit substantiell überspringen sehen; — sie könnten ebensowohl nur begleitende Phänomen der vielleicht an sich dunklen unsichtbaren Elektricitäts-Entla-dung seyn; die relative Langsamkeit der Bewegung der

Funken in gewissen Fällen scheint dies nicht unwahrscheinlich zu machen.

Allein ich will mich nicht in Hypothesen verwickeln, sondern es lieber künftigen Beobachtungen überlassen, das in Rede stehende Phänomen weiter aufzuhellen.

II. *Ueber die Brechung und Reflexion des Lichts an Zwillingsflächen optisch einaxiger Krystalle;* *von Dr. J. Grailich,*

Privatdocent an der Wiener Hochschule und Assistent am k. k. physik. Institute.

Vor längerer Zeit machte ich die Erscheinungen, welche Zwillingskrystalle im durchfallenden und reflectirten Lichte zeigen, zum Gegenstand einer näheren Untersuchung. Ich fand bald, daß manche derselben ohne ein näheres Studium der Richtungs- und Intensitätsverhältnisse des gebrochenen und gespiegelten Lichtes nicht wohl zu erklären seyen und versuchte daher die Eigenthümlichkeiten der Erscheinung vorerst für den einfachsten Fall theoretisch zu ergründen, um dadurch für die verwickelten Phänomene, welche die Natur aufweist, den Schlüssel zu finden. In den Schriften der k. Akad. der Wiss. zu Wien erschien in Folge dessen eine Reihe von Aufsätzen, in welchem ich die Resultate der Untersuchung Schritt für Schritt wiederlegte und ich erlaube mir nun, nach dem Abschlufs des ersten (rechnenden) Theils derselben eine kurze Uebersicht der den optisch einaxigen Zwillingskrystallen eigenthümlichen Verhältnisse mitzuthemen.

1. Da an der Zwillingsfläche zwei doppeltbrechende Mittel sich begränzen, so muß eine einzige einfallende (ordentliche oder außerordentliche) Welle im Allgemeinen zwei reflectirte und zwei gebrochene Wellen geben. Eine kurze Ueberlegung zeigt, daß