No.	Θ beob.		Θ ber.	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
1	22,00	22,00	22,00	—	—	—	—	—
2	19,03	18,53	18,62	0,2804	0,8059	0,7196	0,1941	0,5255
3	18,26	18,07	18,19	0,3614	0,7497	0,6386	0,2503	0,3883
4	14,98	14,87	15,10	0,3311	0,6725	0,6689	0,3275	0,3414
5	13,63	13,45	13,98	0,3578	0,6298	0,6422	0,3702	0,2720

Die Rechnung stimmt mit den Beobachtungen genügend überein, und bestätigt zugleich bei der getroffenen Verbindung des feinen Platindrahts mit dem stärkeren Kupferdraht die Richtigkeit der ganzen Lösung des Problems.

Meiningen, den 1. März 1846.

XIII. Ueber die Vibrationen, welche ein galvanischer Strom in weichem Eisen hervorruft; von W. Wertheim.

(Comp. rend. T. XXII, p. 336.)

Mehre Physiker haben sich neuerlich mit den Tönen beschäftigt, welche Stäbe oder Drähte von weichem Eisen im Moment des Schließens oder Oeffnens einer galvanischen Kette hören lassen, deren Strom man entweder durch eine den Stab oder Draht umgebende Drahtrolle, oder auch durch den Stab oder Draht selber gehen läßt. Diese Erscheinung, von Hrn. Page entdeckt und von Hrn. Marrian bestätigt, ist seitdem von den HH. de la Rive und Matteucci mit besonderer Sorgfalt studirt worden ¹⁾. Diese Physiker haben gelehrt, auf welche Weise man den Ton recht deutlich erhalte, und sie stimmen darin überein, ihn einer Art von Zerren (*tiraillement*) im Innern des Stabes oder einer neuen Anordnung der Eisentheilchen zuzu-

1) S. Ann. Bd. 65, S. 637. — Seitdem ist von Hrn. de la Rive ein weitläufigerer Aufsatz über diesen Gegenstand in den *Archives de l'Electr. T. V, p. 200*, erschienen, wo sich auch (*T. V, p. 389*) die Notiz des Hrn. Matteucci befindet. P.

schreiben. Allein über die Art der Erzitterungen sind sie verschiedener Ansicht. Hr. de la Rive hält sie für transversale, Hr. Matteucci für longitudinale Schwingungen.

Es schien mir daher vor Allem nöthig, die Natur dieser Schwingungen zu untersuchen. Zu dem Ende befestigte ich einen Stab aus weichem Eisen von 2 Meter Länge und 1 Centim. Seite wohl in seiner Mitte. Jede Hälfte dieses Stabes befand sich in einem Glasrohr von hinreichender Weite, um darin frei schwingen zu können, und diese Röhren waren ihrer ganzen Länge nach mit Kupferdraht von 1 Millimeter Dicke umwickelt. Ein Fernrohr mit Fadenkreuz war an dem einen, aus dem Rohre hervorragenden Ende des Stabes aufgestellt. Der Strom kam von einer Säule aus zwanzig Bunsen'schen Elementen, und die Unterbrechungen geschahen mittelst eines Rheotoms, der, um alles Geräusch und jede fremdartige Bewegung zu entfernen, sich in einem Nebenzimmer befand. Nachdem das Fadenkreuz des Fernrohrs auf einem sehr feinen Punkt am Stabe eingestellt worden, schloß man die Säule. Augenblicks hörte man sehr deutlich den longitudinalen Ton, und man sah das Merkzeichen nicht allein im Sinne der Länge des Stabes sich bewegen, sondern auch in einer darauf winkelrechten Richtung. Diese Seitenbewegung, welche immer von sichtbaren Transversalschwingungen begleitet war, blieb dieselbe, welche eine Lage der Stab auch gegen den magnetischen Meridian haben mochte; allein sie ging, je nach den verschiedenen Lagen der Röhren, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite, oder vielmehr nach oben oder nach unten.

Um diese Bewegungen besser zu studiren, ersetzte ich die beiden Spiralen, deren erwähnt wurde, durch eine große Drahtrolle, welche Hr. Breguet so gut war mir zu leihen. Dieselbe hat 19 Centimeter inneren Durchmesser, und besteht aus 1336 Meter Kupferdraht von $2^{\text{mm}},5$ Durchmesser. Nachdem diese Rolle so gelegt worden, daß ihre Axe horizontal war und mit der Axe des Stabes zusammenfiel, schloß man die Säule. Der longitudinale Ton, obwohl

schwach, war dennoch vernehmbar; der Stab verrückte sich ein wenig im Sinne der Axe, und es zeigten sich weder transversale Verschiebungen noch transversale Vibrationen; so wie man ihn aber außerhalb der Mitte legte, wurde er, im Moment des Schließens der Kette, von dem nächsten Punkt der Drahtrolle angezogen, und er kam nicht eher wieder in seine frühere Lage, als bis man den Strom unterbrach; zugleich vibrirte er transversal um jede dieser beiden Lagen.

Man sieht also, daß man den Stab, wenn man ihn den entsprechenden Punkten des Umfangs der Drahtrolle nähert, horizontal oder vertical oder in irgend einer intermediären Richtung biegen kann.

Wahrscheinlich ist dieses bei einem Versuch geschehen, welcher der Academie von Hrn. Guillemin mitgetheilt wurde. Bei diesem Versuch sah Hr. Guillemin einen (horizontalen), von einem Schraubendraht umgebenen und an einem Ende mit Gewichten belasteten Eisenstab sich beim Schließen des Stroms sichtbar geradrichten. Hr. Guillemin schreibt diese Bewegung einer durch den Strom bewirkten Zunahme der Elasticität des Eisens zu. Nach den Versuchen, die ich früher über denselben Gegenstand angestellt habe ¹⁾, nimmt aber der Elasticitätscoefficient keineswegs zu, sondern ab durch Wirkung der Magnetisirung. Ueberdies kann die Aenderung des Pfeils aus dieser Ursache niemals so bedeutend seyn, als sie in diesem Falle beobachtet wurde. Der Versuch erklärt sich dagegen ohne Schwierigkeit durch die eben gemachten Beobachtungen. Denn der Stab, durch das Gewicht gekrümmt, mußte sich aus der Axe des Drahtgewindes entfernen; er wurde also von einem Theil dieses Gewindes angezogen oder abgestoßen. Dies macht zugleich die Größe dieser Bewegung begreiflich; denn wenn man den Stab der Wand der Drahtrolle etwas nahe bringt, erhält man leicht einen Krümmungspfeil von mehren Millimetern.

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XII, p. 610.* (Annalen, Ergänzungsband II, S. 99.)

Es blieb zu wissen, ob die longitudinale Bewegung des Merzeichens von einer wirklichen Verlängerung der einen Hälfte des Stabes oder von einer Verschiebung des ganzen Stabes abhing, in welchem letzten Fall der Schraubstock, worin er eingespannt war, etwas gewichen seyn mußte. Zu dem Ende und um den Stab die größtmögliche Beweglichkeit zu geben, legte ich ihn auf zwei Glaszylinder. Im Moment der Herstellung des Stroms wurde der Stab lebhaft von der Drahtrolle angezogen und wenigstens um ein Millimeter verschoben. Es ist also klar, daß die Drahtrolle einen starken Zug auf den Stab parallel mit seiner Axe ausübt, und daß dieser Zug den Stab zu verlängern trachtet. Ist er aber so stark, daß er eine sichtbare Verlängerung ausüben kann? Diefes hoffe ich bald entscheiden zu können mittelst eines mikroskopischen Apparats, dessen Anfertigung Hr. Breguet so gut war zu übernehmen.

Ich wiederholte hierauf die Versuche, die schon gemacht wurden, um Töne in Eisendrähten hervorzubringen. Zu dem Ende spannte ich einen weichen Eisendraht auf einem longitudinalen Sonometer mit bronzenen Zwingen aus. So vorgerichtet, giebt er leicht einen Longitudinalton durch Reiben, und derselbe Ton wird auch vernehmbar, wenn man den Strom entweder direct durch den Draht oder durch eine ihn umgebende Spirale leitet. Nur ist im ersten Fall der Ton etwas tiefer. Den Transversalton habe ich nicht unterscheiden können, selbst wenn ich den Draht außerhalb der Mitte der Spirale anbrachte. Dagegen hört man mehre, wenn man sich eines gewöhnlichen Sonometers bedient; allein bei diesen Instrumenten ist das Stück der Saite, welches schwingen soll, nicht genau abgegränzt, die Wirbel geben nach, der Kasten geräth in Schwingungen, und man hört ein verworrenes Geräusch, ein Glockenspiel von Tönen, wie sich Hr. de la Rive ausdrückt.

Alle diese Versuche scheinen mir durch die magnetische Wirkung der Spirale selbst leicht erklärlich, und ich glaube sogar, daß sie dazu dienen können, die Lage der Pole in einem den galvanischen Strom leitenden Drahtgewinde und

die Gesetze von dessen magnetischer Kraft genauer zu studiren, als es bisher geschehen.

In der That, im Augenblick, da man den Strom herstellt, werden Stab und Drahtgewinde zu Elektromagneten, die sich wechselseitig anziehen. Ich habe keinen Fall von Abstossung bemerkt, es sey denn in einem Versuch mit Eisenfeilicht, den ich nach Hrn. de la Rive wiederholt habe. Ein Theil des auf eine Glasplatte gestreuten Feils nähert sich der Mitte im Moment, da man die Platte, winkelrecht auf die Axe der Drahtrolle, in diese einführt.

Uebrigens bliebe das Resultat sich gleich, wenn statt der Anziehung eine Abstossung stattfände. Die Anziehung, welche jedes Element des Drahtgewindes auf den Stab ausübt, läßt sich in zwei Kräfte zerlegen, deren eine parallel und die andere winkelrecht zur Axe ist. Zerlegt man so die Anziehungen, die von allen Elementen einer ganzen Windung der Drahtrolle herrühren, so sieht man, daß alle winkelrechten Componenten sich gegenseitig compensiren, während die parallelen Componenten sich addiren; und es ist einerlei, aus wie vielen Windungen die Spirale besteht. Befindet sich also der Stab in der Mitte des Gewindes, so kann er im Moment der Herstellung des Stroms weder nach der einen, noch nach der anderen Seite ausweichen, vielmehr wird er im Sinne der Axe gezogen. Dieser plötzliche Zug, welcher den Stab zu verlängern oder zu verkürzen sucht, verursacht den Ton auf eine ganz mechanische Weise, eben so wie es das Reiben oder ein in dieser Richtung gegebener Schlag thun würde. Man kann sogar mechanisch durch eine einzige Spannungsänderung einen trocknen und kurzen Ton hervorbringen, der vollkommen identisch mit dem aus der Wirkung des Stroms entspringenden ist. Man braucht nämlich nur auf einem Longitudinal-Sonometer eine Metallsaite etwas stark auszuspannen und hierauf eine der beiden Zwingen sanft aufschrauben; im Moment, wo der Draht plötzlich abgespannt wird, läßt er den eben erwähnten Ton hören, und diese Erzeugungsweise desselben

ben scheint mir vollkommen analog der, welche im Moment der Unterbrechung des Stroms stattfindet.

Wenn man zwei gleiche Spiralen superponirt und von einem selben Strom in entgegengesetztem Sinne durchlaufen läßt, compensiren sich die horizontalen Componenten, so gut wie die auf der Axe winkelrechten, folglich entsteht kein T_{0n} mehr.

Bringt man nun den Stab oder den Draht aufserhalb der Mitte der Spirale, so können die horizontalen Componenten einander nicht mehr compensiren, und der Stab, ungeachtet er seinen Longitudinalton giebt, wird gegen die Spirale gezogen, durch eine Kraft, die abhängt von der Stärke des Stroms, dem Gesetz der Anziehung und den Abstand des Stabes von der Mitte. Sind die Dimensionen und der Elasticitätscoëfficient des Stabes bekannt, und ist der Ablenkungswinkel durch den Versuch gegeben, so wird man die Stärke der Resultante ohne weiteres in Gewicht ausdrücken können. Offenbar vermag dieser Seitenzug einen Transversalton hervorzubringen, der neben dem Longitudinalton bestehen wird. Endlich erklärt sich auch auf analoge Weise die Entstehung des Tons bei hindurchgeleittem Strom. Zufolge der Versuche des Hrn. de la Rive bedarf es zu derselben, daß der Draht einen gewissen Leitungswiderstand darbiete; er wird sich also im Moment, wo man den Strom durchsendet, vermöge seiner Erwärmung und der Schwächung seiner Elasticität, plötzlich abspannen, und, wenn man den Strom unterbricht, eben so seine frühere Spannung wieder annehmen. In beiden Fällen muß er einen Longitudinalton geben, und das geschieht auch wirklich ¹⁾.

1) Einige durch diesen Aufsatz veranlaßte Discussionen folgen wo möglich im nächsten Heft. P.