tiefe und hohe Töne gleich gut wahrnimmt. Diefs ist der Fall bei den meisten Personen. Wir beschäftigen uns hier nicht mit der verschiedenen Hörfähigkeit der beiden Ohren Eines Individuums oder der Ohren verschiedener Individuen. Wir haben die Aufgabe nur auf den einfachsten und, unserer Meinung nach, wichtigsten Fall zurückführen wollen, um sicherer zu einer klaren und sauberen Lösung zu gelangen.

XIV. *Ueber das elektro-magnetische Chronoskop;
von Hrn. Wheatstone.*

(*Compt. rend. T. XX, p. 1554.*)

Aus den *Compt. rend.* der Acad. der Wissenschaften ersehe ich, daß in der Sitzung vom 20. Jan. eine Mittheilung von Hrn. Breguet vorgelesen worden ist, in welcher er Hrn. Capitain v. Konstantinoff und sich selber die Erfindung des elektro-magnetischen Chronoskops zuschreibt¹⁾, eines Instruments, welches ich vor mehren Jahren erfunden und angefertigt habe, um rasche Bewegungen und besonders die Geschwindigkeit von Geschossen zu messen.

Es war zu Anfange des Jahres 1840, als ich dießs Instrument erfand. Mein Chronoskop bestand damals aus einem Uhrwerk mit Zeiger, der ging oder still stand, je nachdem ein Elektromagnet auf ein Stück weiches Eisen wirkte, es anzog, so wie ein Strom den Schraubendraht dieses Magneten durchlief, oder es losliels, so wie der Strom aufhörte, ganz wie in meinem elektro-magnetischen Telegraphen, von dem diese Erfindung als eine Ableitung angesehen werden kann. Die Dauer des Stroms

1) Vergl. Ann. Bd. 64, S. 459.

wurde sonach durch die Gröfse des von jenem Zeiger durchlaufenen Bogens gemessen.

Zwischen der Dauer des Stroms und der der Bewegung des Geschosses war auf folgende Weise eine Beziehung errichtet. Ein Holzring umfasste die Mündung einer geladenen Kanone, und ein ausgespannter Metalldraht verband zwei gegenüberliegende Punkte dieses isolirenden Ringes, ging somit vor dem Lauf querüber. In einer gehörigen Entfernung war ein Ziel aufgestellt, solchergestalt, dafs die geringste Bewegung, die ihm eingeprägt ward, eine kleine Metallfeder mit einem anderen Metallstück in bleibende Berührung setzte. Der Metalldraht des Elektromagneten war an einem Ende mit einem der Pole einer kleinen Volta'schen Batterie verknüpft, und am anderen Ende des Elektromagneten waren zwei Metalldrähte befestigt, von denen der eine zu der kleinen Feder des Ziels, und der andere zu einem der Enden des vor der Kanonenmündung ausgespannten Drahtes führte. Vom andern Pol der Batterie gingen ebenfalls zwei Drähte aus, von denen einer zu dem festen Unterstück des Ziels und der zweite zum andern Ende des vor dem Kanonenlauf ausgespannten Drahtes führte. Somit war, vor dem Abfeuern der Kanone, zwischen dieser und dem Ziele eine ununterbrochene Drahtschliefsung hergestellt, von welcher der Draht vor der Mündung der Kanone einen Theil ausmachte. So wie die Kugel an das Ziel schlug, war die Kette abermals geschlossen; aber während das Geschofs durch die Luft flog, und nur während dieser Zeit, waren die beiden Schliefsungen unterbrochen, und die Dauer dieser Unterbrechung ward durch's Chronoskop angezeigt.

Schon hatte ich durch meinen elektro-magnetischen Telegraphen gezeigt, dafs die Magnete, bei zweckmäfsiger Vorrichtung, durch eine sehr schwache Batterie zur Wirksamkeit gebracht werden können, selbst wenn die Drahtschliefsung eine Länge von mehren (engl.) Meilen

hat. Folglich können Kanone, Ziel und Chronoskop beliebig weit von einander aufgestellt werden. Vermöge der großen Schnelligkeit, mit welcher, wie meine Versuche in den *Philosophical Transactions* f. 1834 bewiesen¹⁾, die Elektricität fortgepflanzt wird, kann aus ihrer Bewegung kein merkbarer Fehler entspringen.

Während eines Besuchs, den ich Brüssel im September 1840 abstattete, beschrieb ich diesen Apparat meinem Freunde, Hrn. Quetelet, der darüber am 7. October der dortigen Academie der Wissenschaften eine Mittheilung machte, deren auch im *Bulletin* von jener Sitzung erwähnt ist.

Bei einem späteren Aufenthalte in Paris (Mai 1841) erklärte und zeigte ich in Abbildungen diesen Apparat mehreren Mitgliedern der Pariser Academie der Wissenschaften, die zu mir nach dem *College de France* gekommen waren, wo ich, durch die Gefälligkeit des Hrn. Regnault, Gelegenheit erhalten hatte, vor mehreren von ihnen meine elektro-magnetischen Versuche zu wiederholen. Unter ihnen war auch Hr. Pouillet gegenwärtig, der mich um die Erlaubniß bat, meine Zeichnungen copiren zu dürfen, was ich bereitwillig zugestand. Im verflossenen December erfuhr ich von ihm, daß diese Zeichnungen noch in seinem Besitze seyen.

Bei meiner Rückkehr nach England hegte mein Freund Chapman, Capitain in der Königl. Artillerie²⁾, überzeugt von dem Nutzen dieses Instruments, den Wunsch, daß es bei der Artillerie zu Woolwich eingeführt werde, und gab

1) S. Ann. Bd. 34, S. 464.

2) Schon seit langer Zeit unterhielt ich mit dem Capitain Chapman einen Briefwechsel über diesen Gegenstand. In einem seiner Briefe, vom 27. August 1840, nachdem er mir seine Ansichten über die Ausführungsweise dieser Versuche mitgetheilt, sagt er: „Wir werden somit die Geschwindigkeit des Geschosses in jedem Querschnitt seiner Bahn erhalten, und ich wage zu glauben, daß wir zu einer Kenntniß von der Wirkung der Schwerkraft auf das Geschöß gelangen, die weit genügender ist als Alles, was man bisher erhalten hat.“

sich viel Mühe, dieß zu erlangen. Wir hatten zu dem Ende mit dem verstorbenen Lord Vivian, damals Chef der Artillerie (*Master general of Ordnance*, Generalfeldzeugmeister), eine Unterredung, und am 17. Juli 1841 setzte ich in der K. Artillerieschule die Construction und verschiedenartigen Anwendungen des Instruments auseinander. Zweiundzwanzig Officiere wohnten dieser Sitzung bei, von welcher das Protokoll (das ich noch besitze) sagt, daß mein Chronoskop $\frac{1}{77700}$ Secunde anzeigte, und daß mein Zweck wäre, die Anwendung desselben zum practischen Gebrauche zu zeigen, d. h. »zur Bestimmung der Zeit, die ein Geschofs zur Durchfliegung verschiedener Stücke seiner Bahn gebraucht, und zu der seiner Anfangsgeschwindigkeit.«

In derselben Sitzung zeigte ich »ein Chronoskop, bestimmt zur Messung der Geschwindigkeit von Blitzen, wie sie durch Entzündung von Schießpulver erzeugt werden.« Dieß Instrument, das einzige, welches Hr. Breguet mir zuschreibt, hatte nichts mit elektrischen Strömen gemein, wie er es voraussetzt. Es war nichts als eine Reihe von Rädern, die auf drei Axen leichte Papierscheiben, jede von etwa 1 Zoll Durchmesser, trugen. Die Umlaufszeiten derselben verhielten sich wie 1 : 10 : 100, und es machte also die am schnellsten umlaufende Scheibe 200 Umdrehungen in der Secunde. Auf jeder Scheibe war ein Radius gezogen. Wenn sie vom elektrischen Funken beleuchtet wurden, erschienen alle diese Radien in Ruhe, und zwar wegen der außerordentlich kurzen Dauer dieses Lichts (wie in meiner Abhandlung: *Ueber die Geschwindigkeit der Elektricität und die Dauer des elektrischen Lichts*, *Philosoph. Transact. f.* 1834 ¹⁾ auseinandergesetzt ist); wenn sie aber von einem Blitz, dessen Dauer ein Zweihundertel einer Secunde betrug, beleuchtet wurden, so erschien die dritte Scheibe in gleichförmigem Farbenton, während die zweite Scheibe einen

1) Ann. Bd. 34, S. 464.

Schattensector von 36° zeigte. Wenn der Blitz nur ein Zweitausendstel einer Secunde dauerte, kam auf der dritten Scheibe ein ähnlicher Sector zum Vorschein.

Aus mehren Gründen wurden meine Versuche mit dem elektro-magnetischen Chronoskop nicht fortgesetzt zu Woolwich. Im J. 1842 machte ich die Bekanntschaft von Hrn. v. Konstantinoff, Artillerie-Hauptmann in der K. Russ. Garde und Adjutant des Generals v. Winspaer. Er nahm viel Interesse an dieser Angelegenheit, bezeugte lebhaft den Wunsch, einen vollständigen Apparat zu besitzen, um bei seiner Rückkehr nach Rußland eine solche Reihe von Versuchen zu unternehmen, wie ich beabsichtigt hatte. Da ich selbst nicht Zeit hatte, diese Versuche zu verfolgen, und da in England keine geschicktere oder besser hierzu gestellte Person einen Wunsch zu deren Fortsetzung zeigte, so willigte ich gern ein, hoffend, daß daraus einige wichtige Resultate für die Wissenschaft hervorgehen möchten. Die einzige Bedingung, die ich zu meiner Einwilligung machte, war die: daß Hr. v. Konstantinoff keine Beschreibung von dem Apparat veröffentliche, bevor ich selbst es nicht gethan hätte. Das Instrument, welches ich Hrn. v. Konstantinoff lieferte, und welches im Januar 1843 nach Paris an ihn abgesandt wurde, war anders als das zuvor beschriebene construirt, doch im Wesentlichen nach demselben Princip.

Ich fand durch Versuche, daß wenn ein Stück weiches Eisen durch einen Elektromagneten angezogen worden war, und der Strom alsdann aufhörte, dasselbe, obwohl es sogleich abzufallen schien, doch noch eine Zeit hindurch im Contact blieb, die mehrmals einen bedeutenden Bruch von einer Secunde betrug. Die Dauer dieser Adhärenz nahm zu mit der Stärke des Stroms und mit der Schwäche der Reactionsfeder. Um sie auf ein Minimum zurückzuführen, war es nöthig, einen sehr schwachen Strom anzuwenden und den Widerstand der Kette

so weit zu vernehren, daß die Anziehungskraft des Magneten nur noch um eine sehr geringe Gröfse die Reactionskraft übertraf. Allein alsdann hatte der Magnet nicht Kraft genug, das Eisen anzuziehen, wann das Geschofs an das Ziel schlug. Indefs überwand ich die Schwierigkeit auf folgende Weise:

Ich ordnete die Drähte der Schließung so an, daß, bevor die Kugel aus der Kanone flog, der Strom eines einzigen, sehr kleinen Elements, der mittelst eines auch in die Kette eingeschalteten Rheostats ¹⁾ gehörig abgeglichen war, auf den Elektromagneten wirkte, daß aber, wenn die Kugel an's Ziel schlug, sechs Elemente, ohne den Widerstand des Rheostaten, zugleich auf denselben wirkten. Allein selbst bei dieser Vorrichtung, wiewohl sie bis zu einem gewissen Grade wirksam war, ging noch Zeit verloren, sowohl während der Anziehung des Eisens durch den Magnet, als auch während seiner Adhärenz nach Aufhebung des Stroms. Der Unterschied dieser beiden Fehler machte Approximationen von $\frac{1}{300}$ bis $\frac{1}{1000}$ Secunde ganz unsicher. Indefs kann der aus dieser Quelle entspringende Fehler leicht bis auf weniger als $\frac{1}{80}$ oder $\frac{1}{100}$ Secunde reducirt werden, und meiner Meinung nach ist ein Chronoskop, welches die Secunde in 60 Theile theilt, und erweislich niemals zu einem Fehler größer als ein solcher Theil Anlaß giebt, vorzüglicher als ein Instrument, welches kleinere Theile zu messen verspricht, aber dabei Fehler von einer guten Anzahl dieser Theile macht.

Geleitet von diesen Erfahrungen, ward ich in Stand gesetzt, ein sehr einfaches und sehr wirksames Chronoskop zu construiren. Ein sehr einfaches Echappement wurde bewegt durch ein Gewicht; dieses hing an dem Ende eines Drahtstücks, welches auf einem an der Axe eines Hemmrades befestigten Cylinder zu einer hohlen Schraube aufgewickelt war. An dieser Axe war auch ein Zeiger angebracht, welcher also bei jeder Auslösung einen

1) Ann. Bd. 62, S. 508.

Theilstrich vorrückte. Wenn es nöthig war, die Zeit des Versuches zu verlängern, wurden das Hemmrad und der Cylinder auf zwei verschiedenen Axen angebracht, und durch ein Getriebe und ein gezahntes Rad mit einander verknüpft; in diesem Fall waren zwei Zeiger angebracht. Mittelst dieser Construction vermeidet man die Beschleunigung der Bewegung, welche stattgefunden hätte, wenn kein Echappement dagewesen wäre, und der Zeiger durchsprang jede Abtheilung in gleicher Zeit. Das Gewicht war so eingerichtet, daß es sich reguliren liefs; und der Werth einer Abtheilung wurde erhalten, indem man die Zeit des ganzen Falls dividirte durch die Anzahl der während derselben durchsprungenen Abtheilungen. Allein es lassen sich noch genauere Methoden anwenden.

Mittelst dieses Instruments mafs ich die Zeit, welche eine Pistolenkugel bei verschiedenen Ladungen zur Durchfliegung verschiedener Weiten gebrauchte. Die Wiederholung dieser Versuche gab leidlich constante Resultate, einen Unterschied von mehr als einer Abtheilung des Chronoskops¹⁾. Ich mafs auch den Fall einer Kugel von verschiedenen Höhen herab, und das Gesetz der beschleunigten Geschwindigkeiten ergab sich mit mathematischer Strenge. Mit dem Apparat, dessen ich mich zu diesem letzteren Versuch bediente, konnte ich den Fall einer Kugel, von der Höhe eines Zolls herab, messen. Es würde ohne Zeichnungen schwer seyn, eine Idee von den verschiedenen Einrichtungen zu geben, die ich wählte, um das Instrument zu verschiedenen Reihen von Versuchen anwendbar zu machen; allein ich kann erwähnen, daß ich unter andern vorhabe, dasselbe zur Messung der Geschwindigkeit des Schalls in Luft, in Wasser und in festem Gestein anzuwenden, und eine Annäherung erwarten, wie man sie bisher noch nie erhalten hat.

Aufser dem Instrument, welches ich Hrn. v. Kon-

1) Diese Versuche, denen Sir James South und der berühmte Waffenschmied Hr. Purday beiwohnten, geschahen im October 1842 auf dem Grundstück der Sternwarte zu Camden-Hill.

stantinoff im April 1843 lieferte, liefs Hr. Prof. Christie eius für das physikalische Cabinet der Militär-Academie zu Woolwich anfertigen, und ein anderes wurde um dieselbe Zeit für Hrn. Addams gemacht, der sich desselben seitdem beständig bei seinen Vorlesungen im *United service Museum* bediente.

Eine für gewisse Versuche wichtige Abänderung des Apparats will ich noch erwähnen. Sie besteht darin, daß man, statt die Kette zu öffnen und wieder zu schließen, wie zuvor gesagt, den Elektromagneten mittelst zwei gleicher und entgegengesetzter Ströme in Gleichgewicht hält, und darauf den ersten und den zweiten Strom unterbricht. Der zweite Strom wird durch eine Kugel unterbrochen, die einen Rahmen durchfliegt, der in parallelen, dicht zusammen liegenden Linien mit einem in der Kette befindlichen, sehr feinen Metalldraht überzogen ist. Diese Vorrichtung liefert die Mittel zur Anwendung eines von dem ersten ganz verschiedenen Chronoskop. Zwei Pendel, von denen das eine halbe Secunden schlägt, und das andere einen etwas schnelleren Gang hat, werden jedes an dem Ende ihres Schwingungsbogens durch einen Elektromagneten gehalten. Wann die Kugel aus dem Gewehr fliegt, wird das eine Pendel in Freiheit gesetzt, und wann sie den Metalldraht des Rahmens zerreißt, geschieht es mit dem andern. Man zählt alsdann die Schwingungen eines der Pendel, bis seine Bewegung mit der des andern zusammen fällt, und hienach bestimmt man leicht die Zeit, welche die Anfänge der ersten Schwingungen beider Pendel trennte.

Die Instrumente, welche ich wirklich construirte, hatten keinen andern Zweck, als die Zeit zwischen dem Anfange und dem Ende der Bewegung einer abgeschossenen Kugel anzugeben. Hr. v. Konstantinoff wünschte ein Instrument zum Messen der Zeit, die den successiven Stücken der Bahn entspräche. Obgleich ich damals glaubte, und noch jetzt glaube, daß es besser sey sie mittelst

successiver Schüsse zu bestimmen, so erdachte ich doch einen Apparat zu diesem Behufe, aber ich unternahm die Construction desselben nicht, wegen seines hohen Preises und seiner großen Zusammengesetztheit, obwohl dasselbe häufig der Gegenstand unserer Unterredungen war. Nach seiner Abreise von England und während seines Aufenthalts in Paris wandte sich Hr. v. Konstantinoff zur Verwirklichung seiner Ideen später an Hrn. Breguet, um von der Geschicklichkeit und dem Erfindungstalent dieses Künstlers zu profitiren. Ich bin vollkommen überzeugt, daß Hr. v. Konstantinoff niemals die Absicht hatte, sich diese Erfindung zuzuschreiben, und daß es ganz ohne seine Genehmigung und sein Vorwissen geschah, daß Hr. Breguet es that¹⁾).

Was das von Hrn. Breguet beschriebene Instrument betrifft, so halte ich es für viel weniger genau, für viel complicirter und kostspieliger, als irgend eins der zuvor von mir erfundenen. Bloß wenn es die Anfangs- und die Endgeschwindigkeit einer Kugel bestimmen soll, ist das Instrument des Hrn. Breguet mit fünf Elektromagneten und deren Mechanismen versehen, wogegen das meinige dasselbe Resultat mit einem einzigen Elektromagnet erreicht; und wenn die verschiedenen Stücke einer Trajectorie untersucht werden sollen, schlägt Hr. Breguet noch einen Hilfsmagnet vor, und macht andere Zusätze zu jeder der Scheidewände, welche die Kugel durchschlagen muß. Wäre Herr Breguet besser von den Mitteln unterrichtet gewesen, durch welche ich eine Reihe successiver Messungen an einer selben Trajectorie erhalten mußte, so würde er gefunden haben, daß das, was er, selbst mit einem Dutzend Elektromagnete, zu erhalten

1) Bevor Hr. v. Konstantinoff London verließ, gab er mir ein Schreiben, worin es unter andern heißt: „Da Hr. Wheatstone die Gefälligkeit gehabt, für mich ein von ihm erfundenes Instrument zur Messung des Falls der Körper, der Anfangsgeschwindigkeiten von Geschossen anfertigen zu lassen, so mache ich mich verbindlich u. s. w.“

suchte, auf eine wirksamere Weise mit einem einzigen zu erhalten seyn würde. Mein Plan war folgender:

Ein Cylinder dreht sich um eine Schraube, solcher-
gestalt, daß er bei jedem Umgang einen Viertelzoll vor-
rückt; an einem Ende des Cylinders sitzt ein gezahntes
Rad von etwas größerem Durchmesser als der Cylinder;
dasselbe greift in ein Getriebe, dessen Länge gleich ist
dem ganzen Axenstück, um welches der Cylinder bei sei-
sen successiven Umdrehungen sich verschiebt. Das Ge-
triebe ist verbunden mit dem Räderwerk, welches in Be-
wegung gesetzt wird durch ein Gewicht; letzteres hängt
an einem Faden, der sich um einen Cylinder schlingt;
und das Räderwerk ist versehen mit einem Regulator,
der die Bewegung abgleicht. Ein Bleistift, befestigt am
Ende eines kleinen Elektromagneten, wird mit dem Cy-
linder in Contact gehalten, und zieht darauf eine Schrau-
benlinie, die jedesmal unterbrochen wird, wenn der Strom
aufhört.

Ich entlehnte die Idee zum chronoskopischen Theil
dieses Apparats von einem zur Messung sehr kleiner Zeit-
räume bestimmten Instrument, welches von dem verstor-
benen Thomas Young erfunden, und in seinen *Lectures on Natural philosophy* abgebildet ist. Man wird
nach dem bereits Angeführten leicht begreifen, auf wel-
che Weise Anfang und Ende der Bewegung eines Ge-
schosses durch dieses Instrument angezeigt werden. Die
intermediären Perioden werden auf folgende Weise regi-
strirt. An den festgesetzten Punkten der Bahnlinie des Ge-
schosses errichtet man Rähme, überzogen mit einem Netz
von Metalldraht; das Geschoss zerreißt die Drähte, in-
dem es durch die Rähme fliegt; man gebraucht so viele
Volta'sche Batterieen als es Paare von Rähmen giebt,
deren Drähte übrigens mit den Polen dieser Batterien
und mit dem Draht des Elektromagneten verknüpft sind,
dergestalt, daß der elektrische Strom den Schraubendraht
des Elektromagneten durchläuft oder zu durchlaufen auf-

hört, je nachdem das Gleichgewicht durch das successive Zerreißen der Drähte auf den Rähmen abwechselnd zerstört oder wiederhergestellt ist. Um dieses Resultat zu erhalten, ist es nöthig, daß der Widerstand der verschiedenen Drähte in gehöriges Verhältniß gebracht worden sey.

Schließlich füge ich noch hinzu, daß die Anwendung meines elektro-magnetischen Telegraphen, um damit die Zahl der Umdrehungen einer Maschine oder irgend einer anderen periodischen Bewegung aus der Ferne zu registriren, schon seit mehreren Jahren von mir unter sehr verschiedenartiger Form ausgeführt worden ist. Einen Apparat dieser Art, der bis auf zehn (engl.) Meilen registriert, sieht man seit 1840 im physikalischen Cabinet des *Kings-College*, und ich zeigte ihn Hrn. v. Konstantinoff während seines Aufenthalts in London¹⁾.

XV. *Von den Gesetzen der elektro-chemischen Zersetzung; von Hrn. E. Becquerel.*

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XI, p. 162 et 257.*)

Freier Auszug.

Faraday hat gezeigt, daß wenn ein und derselbe elektrische Strom durch Auflösungen verschiedener Metalle geleitet wird, die an den negativen Polen abgeschiedenen

- 1) Obiger, für Hrn. Breguet eben nicht schonend geschriebener Aufsatz hat von Seiten Dieses zu einer Erwiderung Anlaß gegeben, aus der wir hier nur den Umstand hervorheben wollen, daß derselbe sagt, er habe Hrn. Wheatstone, als er sich im December 1844 in Paris aufgehalten, eine detaillirte Zeichnung von seiner Maschine gezeigt, ohne daß der englische Physiker sich irgend wie eine Bemerkung erlaubte (*Compt. rend. T. XX, p. 1712*). Wir können natürlich in dieser Angelegenheit keinen Urtheilsspruch wagen; es scheint uns indess, daß wenn Hr. v. Konstantinoff ein Recht hatte, eine von Hrn. Wheatstone angeregte Maschine anfertigen zu lassen, auch