

IV. "An Account of some Experiments made with the Submarine Cable of the Mediterranean Electric Telegraph."
By CHARLES WHEATSTONE, F.R.S. Received March 29, 1855.

The following results were obtained between May 24 and June 8 in last year, with the telegraphic cable manufactured by Messrs. Kuper and Co. of East Greenwich, for the purpose of being laid across the Mediterranean sea, from Spezia on the coast of Italy to the island of Corsica. The manufacturers, in conjunction with Mr. Thomson the engineer of the undertaking, kindly afforded me every facility in carrying on the experiments. The short time that elapsed between the opportunity presenting itself and the shipping of the cable for its destination, prevented me from determining with sufficient accuracy some points of importance, respecting which I was only able to make preliminary experiments, but the following, which I was able to effect with the means at hand, may possess sufficient interest to be made public. They present perhaps nothing theoretically new, but I am not aware that experimental verifications of some of these points have been made before. I assume that the reader is acquainted with the experiments of Dr. Faraday described in the *Philosophical Magazine*, N. S., vol. vii. p. 197.

The cable was 110 miles in length, and contained six copper wires, one-sixteenth of an inch in diameter, each separately insulated in a covering of gutta percha one-tenth of an inch in thickness. The whole was surrounded by twelve thick iron wires twisted spirally around it, forming a complete metallic envelope one-third of an inch in thickness. A section of the cable presented the six wires arranged in a circle of half an inch diameter, and one-fifth of an inch from the internal surface of the iron envelope.

The cable was coiled in a dry well in the yard, and one of its ends was brought into the manufactory. The wires were numbered 1, 2, 3, 4, 5, 6, and the ends in the well were indicated by an accent; the ends 1'2, 2'3, 3'4, 4'5, 5'6 were connected by supplementary wires, so that the electric current might be passed in the same direction through all the six wires joined to a single length, or through

any lesser number of them, the connexions being made at pleasure in the experimenting room.

The rheomotor employed was an insulated voltaic battery consisting of twelve troughs, each of twelve elements, which had been several weeks in action.

First Series.

The following experiments show that the iron envelope of the compound conductor gives rise to the same phenomena of induction which occur when the insulated wire is immersed in water, as in Dr. Faraday's experiments.

Exp. 1. One end of the entire length, 660 miles, was brought in connexion with one of the poles of the battery, the other end remaining insulated. The wire became charged with negative electricity when its end touched the zinc pole, and with positive electricity when it communicated with the copper pole. A current, indicated by a galvanometer placed near the battery, existed as long as the charge was going on, and ceased when it arrived at its maximum. [The feeble current attributed to imperfect insulation, which continues as long as the contact with the battery remains, is here left out of consideration.] When the wire was charged, and the discharge effected by a wire communicating with the earth, the current produced was in the same direction, whether the discharge was made near the battery or at the opposite end; *i. e.* the current in both cases proceeded from the wire to the earth in the same direction.

Exp. 2. On bringing one end of the wire in contact with one of the poles of the battery, the other pole having no communication with the earth, the wire remained uncharged. A very slight and scarcely perceptible tremor was observed in the galvanometer needle interposed between the battery and the wire.

Exp. 3. To each of the poles of the battery was attached a wire 220 miles in length, and similar galvanometers were interposed between the two wires (the remote extremities of which remained insulated) and the battery. So long as one wire alone was connected with the battery no charge was communicated to it, but on connecting the other wire with the opposite pole both wires were instantaneously charged, as the strong deflection of both needles rendered evident. On bringing the free end of one of the wires in communi-

cation with the earth it alone was discharged, the other wire remaining fully charged.

Second Series.

Exp. 4. One pole of the battery was connected with the earth, and the other with 660 miles of wire, which had an earth communication at its opposite end; three galvanometers were interposed in the course of the conductor; the first near the battery, the second in the middle of the wire, *i. e.* 330 miles from each extremity, and the third at the remote end near the communication with the earth. When the connexion of the battery with the wire was completed, the galvanometers were successively acted upon in the order of their distances from the battery, as in the experiments recorded by Dr. Faraday. When the earth connexion at the remote extremity of the wire, on the contrary, was completed, the disturbance of equilibrium commenced at this end, and the galvanometers successively acted in the reverse order, *i. e.* the galvanometer which was the most distant from the battery was the first impelled into motion. In the latter case, before the completion of the circuit the needles of the galvanometers had assumed constant deflections to a limited extent, owing to a feeble current arising from the uniform dispersion of the static electricity along the wire.

Exp. 5. The two extremities of the 660 miles of wire were brought into connexion with the opposite poles of the battery. When one of the ends previously disconnected from the battery was united therewith, the galvanometers at the extremities of the wire, and consequently which were at equal distances from the poles of the battery, were immediately and simultaneously acted upon, while that which was in the middle of the wire was subsequently caused to move. When the wire disconnected in the middle instead of near one of the poles of the battery was again united, the middle galvanometer, which was the most remote from the battery, was the first acted upon, and those near the poles subsequently.

The comparison of the two above-mentioned experiments show that the earth must not be regarded simply as a conductor, which many suppose to be the case. Since in the first experiment there were not many yards' distance between the two earth terminations, did the extent of ground between them act only as a conductor, the two

galvanometers at the extremities of the wire should have acted simultaneously, as in the second experiment, and as would have been the case had a short wire united the two extremities which proceeded to the earth.

Third Series.

Exp. 6. One pole of the battery was connected with the earth, and the opposite pole with one extremity of the 660 miles of wire, the other end remaining insulated; a delicate galvanometer was interposed near the battery. Notwithstanding there was no circuit formed, the needle showed a constant deflection of $33\frac{1}{2}^{\circ}$; the feeble current thus rendered evident is not so much to be attributed to imperfect insulation, as to the uniform and continual dispersion of the static electricity with which the wire is charged throughout its entire length, in the same manner as would take place in any other charged body placed in an insulating medium. The strength of the current thus occasioned appears to be nearly, if not exactly, proportional to the length of the wire added, as the following table will show: the first column indicates the number of miles of wire subjoined beyond the galvanometer, and the second the corresponding deflections of the needle:—

miles.	°
0	0
110	$6\frac{1}{2}$
220	12
330	18
440	$23\frac{1}{2}$
550	28
660	31

Exp. 7. One end of the 660 miles of wire was now allowed to remain constantly in contact with one of the poles of the battery; but the galvanometer was successively shifted to different distances from the battery. The strength of the current was now shown to be inversely as the distance of the galvanometer from the battery, becoming null at its extremity, as shown in the following table. The first column shows the distance from the battery at which the galvanometer was placed, and the second column the corresponding deflection of the needle.

miles.	°
Near the battery	33½
110	31
220	25
330	15
440	12
550	5
660	0

The deflections of the needle of the galvanometer employed in these experiments were, when they did not surpass 36° , very nearly comparable with the force of the current. This I ascertained in the following way. I took six cells of the small constant battery described in my paper "On new Instruments and Processes for determining the Constants of a Voltaic Circuit," printed in the Philosophical Transactions for 1843, and placed in the circuit formed of the 660 miles of wire, the earth, and the galvanometer, successively 1, 2, 3, 4, 5 and 6 cells. Leaving out of consideration the resistances in the cells themselves and in the earth, which were very inconsiderable in comparison with that in the long wire, the force of the current should be approximately proportionate to the number of the elements; and since the deflections of the needle nearly indicated this proportionality, as the following table will show, it may be assumed that the force of the current, when the deflection of the needle did not surpass 36° , nearly corresponded with the angular deviation.

cell.	°
1	6
2	14
3	19
4	28
5	32
6	36

From the preceding experiments (6. and 7.) it seems to result, that whatever length of wire is connected with the battery, if a galvanometer is placed at the farther extremity of the wire and a constant length added to the other termination of the galvanometer, its indication remains always nearly the same. Thus the galvanometer indicated $6\frac{1}{2}^\circ$ when it was placed close to the battery and 110 miles

ANNALEN
DER
PHYSIK UND CHEMIE.

BAND XCVI.

XII. *Einige Versuche mit der für den elektrischen Telegraphen im Mittelmeer bestimmten submarinen Kabel; von Charles Wheatstone.*

(Aus den *Proceedings der Roy. Society im Philosoph. Magaz.* 1855. Juli p. 56).

Die folgenden Resultate wurden erhalten zwischen dem 24. Mai und 8. Juni des vorigen Jahres mit der von den HH. Kuper & Comp. zu East-Greenwich verfertigten telegraphischen Kabel, welche von Spezzia, an der italiänischen Küste, nach Corsica durch das Mittelmeer geführt werden soll. Die Verfertiger, nebst Hrn. Thomson, dem Ingenieur des Unternehmens, gewährten mir gütigst jede Erleichterung beim Anstellen der Versuche. Die kurze Zeit zwischen der sich darbietenden Gelegenheit und der Einschiffung der Kabel für ihre Bestimmung hinderte mich an der hinreichend genauen Bestimmung einiger Punkte von Wichtigkeit, über welche ich nur vorläufige Versuche zu machen vermochte; doch glaube ich, werden die folgenden, die ich mit den bei der Hand habenden Mittel ausführen konnte, Interesse genug besitzen, um veröffentlicht zu werden. Sie zeigen theoretisch vielleicht nichts Neues, allein ich weiß nicht, dafs bisher experimentelle Bestätigungen einiger dieser Punkte gemacht worden wären. Ich setze voraus, dafs der Leser mit den vom Dr. Faraday in *Philosoph. Magazine, Ser. IV. Vol. VII p. 197* ¹⁾ beschriebenen Versuchen bekannt sey.

Die Kabel war 110 (engl.) Meilen lang und enthielt sechs Kupferdrähte von einem Sechszehntel-Zoll im Durchmesser; jeder war isolirt durch einen Guttapercha-Ueberzug von einem Zehntel-Zoll Dicke. Das Ganze war umgeben von 12 dicken schraubenförmig herumgedrehten Eisendräh-ten, die eine vollständige metallische Hülle von einem Drittel-Zoll Dicke bildeten. Ein Querschnitt der Kabel zeigte

1) Siche *Annal.* Bd. 92, S. 152.

die sechs Drähte in einem Kreise von einem halben Zoll Durchmesser liegend und ein Fünftel-Zoll von der inneren Fläche der Eisenhülle entfernt.

Die Kabel war aufgewickelt in einem trocknen Brunnen im Hofe, und das eine ihrer Enden war in die Fabrik geführt. Die Drähte waren mit 1, 2, 3, 4, 5, 6 nummerirt, und die Enden in dem Brunnen mit einem Accent bezeichnet; die Enden 1'2, 2'3, 3'4, 4'5, 5'6 wurden durch Hilfsdrähte verbunden, so das der elektrische Strom entweder durch alle sechs zur einfachen Länge verbundene Drähte oder durch eine geringere Zahl derselben in gleicher Richtung gehen konnte, wobei die Verbindungen in dem Experimentirzimmer nach Belieben vollzogen werden konnten.

Der Rheomotor war eine isolirte Volta'sche Batterie, bestehend aus 12 Trögen, jeder von 12 Elementen, die mehrere Wochen in Thätigkeit gewesen waren.

Erste Reihe.

Die folgenden Versuche zeigen, das die Eisenhülle des zusammengesetzten Leiters zu denselben Erscheinungen Anlaß giebt, wie der in Wasser eingetauchte isolirte Draht bei Faraday's Versuchen.

Versuch 1. Ein Ende der ganzen Länge von 660 engl. Meilen wurde mit einem der Pole der Batterie verbunden, und das andere isolirt gelassen. Der Draht wurde mit negativer Elektricität geladen, wenn er den Zinkpol berührte, und mit positiver, wenn er mit dem Kupferpol verbunden war. Ein nahe bei der Batterie befindliches Galvanometer zeigte einen Strom an, der so lange dauerte, als die Ladung vor sich ging, und der aufhörte, als sie ihr Maximum erreichte. (Der schwache, von unvollkommener Isolation herrührende Strom, welcher so lange anhält, als der Contact mit der Batterie unterhalten ward, ist hier aufser Betracht gelassen.) Als der Draht geladen war und die Entladung durch einen mit der Erde verbundenen Draht bewerkstelligt wurde, hatte der erzeugte Strom gleiche Richtung, es mochte die Entladung nahe bei der

Batterie oder am entgegengesetzten Ende geschehen, d. h. in beiden Fällen ging der Strom von dem Draht zu der Erde in derselben Richtung.

Versuch 2. Brachte man das eine Ende des Drahts mit einem der Pole der Batterie in Berührung, während der andere Pol nicht mit der Erde verbunden war, so blieb der Draht ungeladen. An der Nadel des zwischen die Batterie und den Draht eingeschalteten Galvanometers ward ein sehr schwaches, kaum wahrnehmbares Zittern beobachtet.

Versuch 3. Jeder der Batteriepole wurde mit einem Draht von 220 Meilen Länge verknüpft und zwischen jeden der beiden Drähte (deren andere Enden isolirt blieben) und die Batterie ein ähnliches Galvanometer eingeschaltet. So lange als einer der Drähte allein mit der Batterie verbunden war, empfing er keine Ladung; so wie aber der zweite Draht mit dem anderen Pol verknüpft ward, wurden augenblicklich beide Drähte geladen, wie aus der starken Ablenkung beider Nadeln hervorging. Brachte man den einen Draht mit seinem freien Ende in Verbindung mit der Erde, so wurde er allein geladen; der andere Draht blieb gänzlich ungeladen.

Zweite Reihe.

Versuch 4. Der eine Pol der Batterie wurde verbunden mit der Erde und der andere mit den 660 Meilen langen Draht, dessen entgegengesetztes Ende mit der Erde in Gemeinschaft stand. In den Draht waren drei Galvanometer eingeschaltet, das erste nahe bei der Batterie, das zweite in der Mitte des Drahts, also 330 Meilen von jedem Ende, und das dritte an dem entfernten Ende, nahe bei dessen Verbindung mit der Erde. Als die Verknüpfung der Batterie mit dem Draht vollzogen wurde, erfolgte die Einwirkung auf die Galvanometer successive nach Ordnung ihrer Abstände von der Batterie, wie bei den Versuchen des Dr. Faraday. Wenn dagegen die Verbindung der Erde mit dem entfernten Ende des Drahtes hergestellt wurde, so begann die Störung des Gleichgewichts an die-

sem Ende, die Galvanometer wurden in umgekehrter Ordnung afficirt, d. h. das von der Batterie entfernteste Galvanometer wurde zuerst in Bewegung gesetzt. Im letzten Falle hatten die Galvanometernadeln vor der Schließung der Kette eine constante Ablenkung von beschränkter Größe angenommen, herrührend von einem schwachen Strom, der aus der gleichförmigen Zerstreuung der statischen Elektrizität längs dem Drahte entsprang.

Versuch 5. Die beiden Enden des 600 Meilen langen Drahtes wurden mit den beiden Polen der Batterie verbunden. Als man eins der Enden von der Batterie ablöste und darauf wieder mit ihr verband, wurden die an den Enden des Drahtes, also in gleichen Abständen von den Batteriepolen, befindlichen Galvanometer sogleich und gleichzeitig afficirt, das in der Mitte des Drahtes befindliche aber später. Als man den Draht, statt nahe bei den Batteriepolen, in seiner Mitte unterbrach und darauf wieder vereinigte, wurde das mittlere Galvanometer, also das von der Batterie entfernteste, zuerst ergriffen, und die nahe bei den Polen später.

Der Vergleich der beiden eben erwähnten Versuche zeigt, daß die Erde nicht einfach als Leiter betrachtet werden darf¹⁾, wie es Manche annehmen. Da bei dem ersten Versuche nur ein Abstand von wenigen Ellen zwischen den beiden in den Erdboden gesteckten Enden vorhanden war, so würden, hätte der Boden zwischen ihnen nur als Leiter gewirkt, die beiden Galvanometer an den

1) Deutlicher ist dies schon von P. Riefs am Schlusse seines Aufsatzes in diesen Ann. Bd. 80, S. 224 (Monatsbericht d. Akad. 1850 S. 140) ausgesprochen, wo es heißt: Hiernach ist der Volta'sche Strom im elektrischen Telegraphendraht als ein getrennter Strom, und die Erdschichten an den Enden des Drahtes sind als zwei für sich wirkende Ableitungen anzusehen, bei welchen es gleichgültig ist, daß sie Theile des zusammenhängenden Erdkörpers sind.

Es verdient hier auch wohl in Erinnerung gebracht zu werden, daß Hr. Guillemin mit der isolirten Volta'schen Säule im ungeschlossenen Zustande einen galvanischen Strom erhielt, als er sie mit einem Condensator verband (Siche Annal. Bd. 79, S. 333). P.

Enden des Drahtes gleichzeitig afficirt worden seyn, wie bei dem zweiten Versuch, und wie es der Fall gewesen wäre, wenn ein kurzer Draht die beiden in die Erde gesteckten Enden verbunden hätte.

Dritte Reihe.

Versuch 6. Der eine Pol der Batterie wurde mit der Erde verbunden und der andere mit dem einen Ende des 660 Meilen langen Drahtes, dessen zweites Ende isolirt blieb; nahe bei der Batterie war ein empfindliches Galvanometer eingeschaltet. Ungeachtet keine Schließung stattfand, zeigte doch die Nadel eine constante Abweichung von $33\frac{1}{2}^{\circ}$; der dadurch nachgewiesene schwache Strom ist nicht so sehr einer unvollkommenen Isolation zuzuschreiben, als vielmehr dem Umstand, dafs die statische Elektrizität, mit welcher der Draht seiner ganzen Länge nach geladen ist, eine gleichförmige und stete Zerstreung erfährt, gleich wie sie bei jedem anderen geladenen Körper in einem isolirenden Medium stattfinden würde. Die Stärke des dadurch veranlafsten Stromes schien beinahe, wenn nicht genau, der Länge des angesetzten Drahtes proportional zu seyn, wie folgende Tafel zeigen wird. Die erste Spalte enthält die jenseits des Galvanometers hinzugefügte Drahtlänge und die zweite die entsprechenden Ablenkungen der Nadel.

Drahtlänge.	Ablenkung.
0 Meilen	0°
110 »	$6\frac{1}{2}^{\circ}$
220 »	12°
330 »	18°
440 »	$23\frac{1}{2}^{\circ}$
550 »	28°
660 »	31°

Versuch 7. Das eine Ende des Drahtes von 660 Meilen wurde nun beständig mit einem der Batteriepole in Berührung gelassen, allein das Galvanometer successive in verschiedene Abstände von der Batterie gebracht. Die

Stromstärke verhielt sich nun umgekehrt wie der Abstand des Galvanometers von der Batterie, und wurde an deren Ende Null, wie die folgende Tafel zeigt. Die erste Spalte giebt den Abstand des Galvanometers von der Batterie, und die zweite die entsprechende Ablenkung von der Nadel.

Abstand.	Ablenkung.
0 Meilen	$33\frac{1}{2}^{\circ}$
110 "	31°
220 "	25°
330 "	15°
440 "	12°
550 "	5°
660 "	0°

Bei dem zu diesen Versuchen angewandten Galvanometer waren die Ablenkungen der Nadel, wenn sie nicht 36° überstiegen, sehr nahe der Stromstärke proportional. Ich ermittelte dies folgendermaßen. Ich nahm sechs Zellen der kleinen constanten Batterie, die in meinem Aufsatz: *On new Instruments and Processes for determining the Constants of a Voltaic Circuit* beschrieben ist¹⁾, und stellte in die Schließung, gebildet von den 660 Meilen Draht, der Erde und dem Galvanometer, successive 1, 2, 3, 4, 5 und 6 Zellen. Lassen wir den Widerstand der Zellen selbst und den der Erde, welche beide sehr unbedeutend im Vergleich zu dem des langen Drahtes waren, außer Betracht, so würde die Stromstärke annähernd proportional seyn der Anzahl der Elemente; und da die Ablenkungen der Nadel diese Proportionalität beinahe ergaben, wie die folgende Tafel zeigen wird, so kann man annehmen, daß die Stromstärke bis zu einer Ablenkung von 36° dem Ablenkungswinkel proportional ist.

Zellen 1	Ablenkung 6°
" 2	" 14°
" 3	" 19°
" 4	" 28°
" 5	" 32°
" 6	" 36°

1) *Philosoph. Transact. f. 1843* (Diese Ann. Bd. 62, S. 499).

Aus den Versuchen 6 und 7 scheint hervorzugehen, daß wie lang der Draht auch sey, durch welchen man das eine Ende eines Galvanometers mit der Batterie verbindet, doch die Ablenkungen desselben nahe gleich bleiben, wenn man dem anderen Ende einen Draht von constanter Länge hinzufügt. So zeigte das Galvanometer $6\frac{1}{2}^{\circ}$, wenn es sich dicht bei der Batterie befand und jenseits desselben 110 Meilen Draht hinzugefügt waren, und 5° , wenn sich zwischen ihm und der Batterie 550 Meilen Draht befanden, und jenseits wieder die 110 Meilen angesetzt waren. In ähnlicher Weise betrug die Ablenkung des Galvanometers 12° , es mochte dicht neben der Batterie befindlich oder durch 440 Meilen Draht von ihr getrennt seyn, wenn nur jenseits stets 220 Meilen Draht hinzugefügt waren. So betrug die Ablenkung 18° bei Hinzufügung von 330 Meilen, und 15° bei Einschaltung von 330 Meilen und Hinzufügung von 330. Ich zweifle nicht, daß die Uebereinstimmung noch größer gewesen wäre, wenn die Batterie keine Schwankungen erlitten hätte.

Aus Obigem erhellt, daß wenn ein Draht, wie lang er auch sey, mit einem Pol der isolirten Batterie verbunden wird, er sich seiner ganzen Länge nach in gleichem Spannungsgrade ladet, so daß ein anderer Draht, der an sein freies Ende angesetzt wird, genau dieselben Erscheinungen in Art und Größe zeigt, wie wenn er unmittelbar mit dem Batteriepol verbunden wäre. Es ergeben sich hieraus einige wichtige practische Folgerungen, die ich indess für jetzt nicht entwickeln will, da ich noch nicht Gelegenheit gehabt, sie durch den Versuch zu prüfen.