

# **Der Betrieb langer submariner Kabel.**

Vortrag

gehalten in der zürcherischen naturforschenden Gesellschaft

von

**Dr. A. Tobler.**

---

## Einleitung.

Die grosse Verschiedenheit in der Construction einer gewöhnlichen oberirdischen Telegraphenleitung und derjenigen eines langen submarinen Kabels und die daraus hervorgehenden Eigenthümlichkeiten in der Fortpflanzungsweise der Elektrizität bedingen für den Kabelbetrieb die Verwendung besonders construirter Apparate.

Der leitende Kern, die Kabelseele, besitzt wie jeder metallische Leiter einen gewissen Widerstand; ein zweiter ungleich wichtigerer Factor, mit dem man zu rechnen hat, ist die Ladungscapacität des Kabels. Dasselbe bildet nämlich eine Leydenerflasche, d. h. einen Condensator von sehr bedeutender Oberfläche; die eine Belegung desselben wird durch den leitenden Kern, die Trennschicht durch die Guttaperchahülle und die äussere Belegung durch die Eisenarmatur des Kabels bzw. das sie umgebende Wasser gebildet. Die Ladung eines Kabels ist am grössten, wenn ein Ende desselben isolirt, das andere an eine Batterie, deren zweiter Pol mit der Erde verbunden ist, gelegt wird. Es tritt aber auch Ladung auf, wenn das

eine Erde nicht isolirt, sondern an Erde gelegt ist. Im letztern Falle wird, wenn ein Strom in's Kabel gesandt wird, ein Theil der Elektrizität zur Ladung des Kabels verwendet, er bleibt gleichsam an der Oberfläche der Kabelseele haften, so lange, als die Umstände, welche die Ladung bedingten, sich nicht ändern.

Man kann sich nach W. Siemens diesen Vorgang so vorstellen, als wenn man in ein langes, mit elastischen Wänden versehenes Rohr Luft pumpen wollte. In der Nähe der Pumpe erweitert sich das Rohr bei jedem Stosse und diese Erweiterung würde im abnehmenden Maasse bis zum andern offenen Ende des Rohrs fortschreiten und der Austritt der Luft würde erst ein continuirlicher, wenn das Rohr eine kegelförmige Gestalt angenommen hätte. Nach Vollendung des Pumpenstosses würde das Rohr sich wieder auf seinen normalen Durchmesser zusammenziehen und die überflüssige Luft aus dem entfernten Rohrende austreten; würde ein zweiter Kolbenstoss erfolgen, bevor die Ausströmung der Luft beendet ist, so hätte diess nicht mehr ein stossweises Ausfliessen, sondern ein continuirliches, wenn auch wechselnde und ungleiche Geschwindigkeit besitzendes Ausfliessen zur Folge.

Es stellt uns nun die Pumpe das Bild für die galvanische Batterie, das Rohr für das Kabel dar. Folgen in letztern die Stromimpulse zu rasch aufeinander, so lässt sich die Individualität der einzelnen Zeichen an dem zwischen dem entfernten Kabelende und der Erde eingeschalteten Empfänger nicht mehr wahrnehmen, da ein ununterbrochener, wenn auch kleine Schwankungen in seiner Stärke aufweisender Strom dort ausfliesst.

W. Thomson hat schon 1854 gezeigt <sup>1)</sup>, dass, wenn ein Kabel an seinem einen Ende durch einen Empfänger hindurch an Erde liegt und man das andere mit einer Batterie verbindet, eine messbare Zeit vergeht, bis im Empfänger eine Wirkung wahrnehmbar wird <sup>2)</sup>. Diese Zeit, die wir  $a$  nennen wollen, ist

$$a = 0,000000029 r. c. l^2, \quad (1)$$

wobei  $l$  die Länge in Seemeilen,  $r$  den Widerstand in Ohm und  $c$  die Capacität per Längeneinheit bedeutet. Capacität eines Kabels oder Condensators nennt man diejenige Grösse, welche das Verhältniss zwischen aufgenommener Elektrizitätsmenge und ladender elektromotorischer Kraft angibt, als praktische Einheit hat man das Mikrofarad gewählt, was ungefähr der Capacität von 3 Seemeilen (1 Seemeile = 1855 Meter) eines submarinen Kabels entspricht. Setzt man in (1) an Stelle der Grössen  $r$  und  $c$  die Grössen  $R$  und  $C$ , welche sich auf die ganze Länge beziehen, so hat man

$$a = 0,000000029 R. C. \text{ Secunden.} \quad (2)$$

Für das französische atlantische Kabel von 1869 hat man:  $R = 7571$  Ohm,  $C = 1111$  Mikrofarad, folglich

$$a = 0,245 \text{ Secunden,}$$

d. h. wenn in Brest die Batterie an das Kabel gelegt wird, so verstreichen 0,245 Secunden, bevor in Newfoundland überhaupt eine Stromwirkung wahrnehmbar wird. Dieser Strom ist aber zu schwach, um den Empfänger in Thätigkeit zu setzen, erst nach Abfluss einer Zeit, sagen wir 1,5 bis 2  $a$ , hat ersterer eine Stärke erreicht,

<sup>1)</sup> Thomson. Phil. Magazine. Februar 1856.

<sup>2)</sup> Eine mehr populäre Theorie der Kabelerscheinungen gibt O. Frölich, Handbuch der Elektrizität. 2. Aufl. Berlin 1887.

welche den Empfänger befähigt, das empfangene Zeichen sichtbar zu machen. Entfernt man in Brest die Batterie und legt das Kabel an Erde, so beginnt die Entladung und die Stromstärke am entfernten Ende sinkt allmähig auf 0 herab. Thomson hat gezeigt, dass man diese Verhältnisse graphisch darstellen kann, indem man die Zeiten  $a$  als Abscissen, die Stromstärken als Ordinaten aufträgt; man erhält so die »Curve des ankommenden Stromes«. Die weiter unten zu besprechenden, verbesserten Apparate gestatten eine Sprechgeschwindigkeit von  $1,38 a$  per Zeichen = 60 Buchstaben = 12 Worte per Minute, das Wort zu 5 Buchstaben gerechnet. Es sei noch bemerkt, dass eine Verstärkung der zum Telegraphiren benutzten galvanischen Säule kein rascheres Ansteigen der Curve, also keine Erhöhung der Sprechgeschwindigkeit bewirkt.

#### Geschichtliches.

Ueber den Betrieb des ersten atlantischen Kabels, welches nur sehr kurze Zeit funktionirte (vom 10. August bis 1. September 1858), ist nichts Genaues bekannt geworden. Nach Mittheilungen, die ich dem Herrn de Sauty in Gibraltar, welcher zu jener Zeit als Chef der Kabelstation in Newfoundland thätig war, verdanke, wurde ein vom Elektriker der Atlantic Telegraph Company, W. O. Whitehouse, angegebener rotirender Stromwender benutzt. Die Wechselströme setzten am entfernten Ende den Anker eines polarisirten Relais in Oscillation, so dass auf dem in den Localstromkreis eingeschalteten chemischen Schreiber eine Reihe von kurzen Strichen entstand. Durch Druck auf Tasten konnte je nach Wunsch die eine oder andere Stromesrichtung unterdrückt werden, was auf dem Papierstreifen entweder eine grössere Lücke als das nor-

male Intervall oder aber eine zusammenhängende Linie hervorrief, wodurch die Zeichen des Morse'schen Alphabets gebildet wurden. Dieser Apparat vermochte seinen Zweck nur unvollkommen zu erfüllen, d. h. er arbeitete viel zu langsam und man erreichte mit Mühe eine Geschwindigkeit von 2 Worten in der Minute.

Weit vollkommener war der Apparat beschaffen, den Thomson und Varley für das atlantische Kabel von 1865, dessen Legung bekanntlich missglückte, vorschlugen. Der Empfänger war das Thomson'sche Marine-Galvanometer, welches schon in den letzten Lebenstagen des Kabels von 1858 gute Dienste geleistet hatte und welches Dank seiner Empfindlichkeit auf einen kleinen Bruchtheil des ankommenden Stromes reagierte <sup>1)</sup>. Der Geber, Curb Key genannt <sup>2)</sup>, sandte beim Niederdrücken der einen Taste selbstthätig 5 Ströme in's Kabel, deren Vorzeichen und Zeitdauer wie folgt bemessen war:

$$+ 0,7 - 1,14 + 0,7 - 0,26 + 0,06;$$

es hatte diese Combination zum Zwecke, ein rasches Ansteigen und Fallen der Stromcurve am empfangenden Ende zu bewirken, d. h. alle diese Ströme erzeugten einen kurzen Ausschlag nach links im Galvanometer, einem Punkt des Morse'schen Alphabetes entsprechend. Drückte man auf die andere Taste, so wurden sämtliche Vorzeichen der 5 Ströme umgekehrt, was einen Ausschlag nach rechts gleich einem Strich des Morse'schen Alphabetes bewirkte. Während der Kabellegung gelang es mit Hülfe dieses Apparates 5 Worte in der Minute zu telegraphiren.

<sup>1)</sup> Elektrotechn. Zeitschrift. Berlin. Bd. 8. S. 542.

<sup>2)</sup> Engl. Patent Nr. 1784. 1865.

Eine wesentliche Verbesserung bezw. Vereinfachung weist die von Thomson, Varley und Willoughby Smith für das Kabel von 1866 eingeführte Betriebsmethode auf. Es wurde nämlich am gebenden Ende die Batterie und ein einfacher als Stromwender dienender Doppeltaster eingeschaltet, am empfangenden Ende führte das Kabel in die eine Belegung eines Condensators von grosser Capacität (80 bis 120 Mikrofarad), dessen andere Belegung durch ein stark gedämpftes sogen. Sprechgalvanometer an Erde lag. Beim Druck auf die eine dem Punkt entsprechende Taste geht ein positiver Strom in's Kabel, ladet dasselbe und zugleich die eine Belegung des Condensators, was eine Ablenkung des Galvanometers nach links hervorruft; lässt man die Taste gleich wieder los, so wird das Kabel auf der gebenden Station an Erde gelegt und entladet sich, ebenso der Condensator, dessen Entladungsstrom aber, bei passend gewählter Dauer des Stromschlusses, lediglich die Rückkehr der Galvanometernadel in ihre Ruhelage beschleunigt, ohne ein Ueberschreiten derselben nach der negativen Seite zu veranlassen<sup>1)</sup>. Ein Druck auf die andere Taste sendet einen negativen Strom in's Kabel und bewirkt einen Nadelausschlag nach rechts. Die Einschaltung des Condensators erzeugt ein erheblich rascheres Steigen und Fallen der Curve des ankommenden Stromes, entzieht auch das Kabel bezw. den Empfänger bis zu einem gewissen Grade der Wirkung der Erdströme, die zwischen England und Amerika sehr oft mit grosser Heftigkeit auftreten.

---

<sup>1)</sup> Vgl. Elektrot. Zeitschrift. Bd. 5. S. 74 ff.

## Einrichtung der Kabelstationen.

Der Betrieb der atlantischen Kabel geschieht gegenwärtig zum Theil mittels des oben erwähnten Spiegelgalvanometers, zum Theil wird auch der weiter unten zu besprechende Syphon Recorder verwendet. Das sogen. Sprechgalvanometer besitzt eine einzige, auf einem Fusse von Holz oder Ebonit montirte, in einer Messingkapsel enthaltene Drahtrolle und eine einfache d. h. nicht astatische Nadel. Letztere ist an der Rückseite eines Hohlspiegelchens von 8—12 mm Durchmesser befestigt und mittels ganz kurzer Coconfäden in einer metallenen Röhre, welche in die Galvanometerrolle geschoben wird, eingespannt. Ein oberhalb der Rolle angebrachter kräftiger halbkreisförmiger Stahlmagnet gibt der Nadel die nöthige Richtung. In einiger Entfernung vom Galvanometer steht eine Petroleumlampe mit kupfernem Cylinder, welcher der Kante der Flamme gegenüber einen länglichen viereckigen Ausschnitt besitzt; zwischen Lampe und Galvanometer befindet sich ferner eine Linse, um die Lichtstrahlen aufzufangen und concentrirt dem Spiegel zuzusenden. Der vom Spiegel reflectirte Lichtstrahl steht in der Ruhelage in der Mitte einer mit Papier bezogenen Scale und wird je nach der Richtung eines das Galvanometer durchlaufenden Stromes nach links (•) oder rechts (—) abgelenkt. Die Röhre, in der der Spiegel schwebt, ist mit verdünntem Glycerin gefüllt, welche Anordnung von C. F. Varley schon 1867 benutzt <sup>1)</sup>, eine sehr wirksame Dämpfung ermöglicht.

Der Zeichengeber, Doppelschlüssel, besteht aus zwei nebeneinander liegenden, möglichst leicht gearbeiteten

---

<sup>1)</sup> Proceedings Royal Institution. Febr. 15. 1867.

Morsetastern, das Lager des einen ist mit dem Kabel, das des andern mit der Erde verbunden, die beiden vordern (Arbeits-) Contacte communiciren mit dem Kupfer-, die beiden hintern (Ruhe-) Contacte mit dem Zinkpol der Batterie. Ausserdem ist noch ein Kurbelumschalter mit drei Contacten vorhanden. Das Kabel ist beständig mit der Kurbel in leitender Verbindung; beim Geben steht die Kurbel auf dem zum Schlüssel führenden Contact, während das Galvanometer und der Condensator ausgeschlossen sind. Ist das Geben beendet, so wird durch Drehen der Kurbel das Kabel mit dem Galvanometer und Condensator verbunden, wobei die Kurbel über den an Erde liegenden dritten Contact weggleitet und dadurch das Kabel vollständig entladet.

Es sei noch bemerkt, dass die beim Kabelbetriebe benutzten Condensatoren aus Staniolblättern mit Zwischenlagen von feinem, mit Paraffin getränktem Papier bestehen, jeder Condensator enthält in der Regel 10 Mikrofarad, die in einer Kiste von  $60 \times 56 \times 15$  cm enthalten sind; wie schon erwähnt, kommen 100 bis 120 Mikrofarad, also 10 bis 12 solcher Kisten zur Anwendung. Die Batterie bestand früher meist aus (15 -- 20) Minotto-Elementen, denen man wegen ihrer sehr constanten elektromotorischen Kraft den Vorzug gab; freilich musste man ihren hohen inneren Widerstand, der einen ungünstigen Einfluss auf die Sprechgeschwindigkeit ausübt, mit in den Kauf nehmen; gegenwärtig benutzt man vielfach grossplattige Bunsenelemente mit Kaliumbichromat bei der Kohlenelektrode, die bei hoher elektromotorischer Kraft einen sehr geringen Widerstand haben.

In neuester Zeit wird als Empfangsapparat häufig der von Thomson schon 1867 angegebene, seither erheb-



lich verbesserte Syphon Recorder oder Heberschreiber benutzt, welcher dem Sprechgalvanometer gegenüber den grossen Vorzug besitzt, bleibende Zeichen zu hinterlassen. Das Princip, auf welchem dieser sinnreiche, aber complicirte und kostspielige Apparat beruht, ist folgendes: <sup>1)</sup>

In einem äusserst intensiven, durch zwei mächtige Elektromagnete gebildeten magnetischen Felde schwebt, an einem Coconfaden aufgehängt, ein kleiner, aus vielen Windungen eines ganz feinen isolirten Kupferdrahtes hergestellter rechteckiger Rahmen. Von den beiden untern Ecken desselben gehen zwei Fäden aus, die durch zwei Gewichte so gespannt werden, dass der Rahmen in der Ruhelage senkrecht steht und ihm eine bestimmte Richtung d. h. parallel zur Verbindungslinie der Magnetpole, ertheilt wird. Der Telegraphiestrom durchläuft die Windungen des Rahmens, wodurch dem letztern, je nach der Stromrichtung, eine kleine Drehung im einen oder andern Sinne ertheilt wird. Diese Bewegungen überträgt ein System von Fäden auf einen äusserst leichten Glasheber, dessen kürzerer Schenkel in ein Gefäss mit Anilinblaulösung taucht und dessen längerer über dem (von oben nach unten bewegten) Papierstreifen schwebt. So lange der Rahmen in Ruhe bleibt, entsteht auf dem Papier eine gerade Linie; eine Ablenkung nach links oder rechts erzeugt die bekannte wellenförmige Schrift, wobei eine Ausbiegung nach links einem Punkt, eine solche nach rechts einem Strich des Morsealphabets entspricht. Den Papierstreifen bewegt eine elektromagnetische Maschine, mouse mill genannt; dieselbe hat zugleich die Aufgabe, behufs Elektrisirung der Farbflüssigkeit hoch-

<sup>1)</sup> Patent No. 2147. 1867. Neuere Form Elektrot. Zeitschr. Bd. 6. S. 285 u. a. a. O.

gespannte Elektrizität zu erzeugen, welche das Ausströmen aus der äusserst feinen das Papier nicht berührenden Heberspitze ermöglicht. Die Dämpfung des beweglichen Drahtrahmens wird durch eine regulirbare Nebenschliessung erzielt. Die Erregung der grossen, das magnetische Feld bildenden Elektromagnete geschieht durch eine grossplattige Säule, eine Abänderung des Daniell'schen Elementes, tray battery genannt; dieselbe liefert in der Regel einen Strom von 1 bis 1,2 Ampère.

In den letzten Jahren hat sich, unterstützt durch das Erlöschen des Thomson'schen Patentes, das Bestreben geltend gemacht, den eben beschriebenen Apparat thunlichst zu vereinfachen. Während diese Abänderungen bei den für lange Kabel bestimmten Instrumenten, bei welchen wie schon erwähnt der Heber das Papier nicht berühren darf, um die Empfindlichkeit nicht zu beeinträchtigen, in dem Ersatz der »mouse mill« durch sogenannte Vibratoren <sup>1)</sup> gipfeln, ist in den auf Kabeln von geringerer Länge arbeitenden Heberschreibern ein aus mehreren Lamellen zusammengesetzter Stahlmagnet an die Stelle der Elektromagnete getreten. So werden z. B. die drei Marseille-Algier Kabel seit einigen Jahren mittels solcher von James White in Glasgow gebauter Apparate betrieben. Der Heberschreiber, den Sie hier in Thätigkeit sehen, ist von dem bekannten Pariser Mechaniker Carpentier entworfen und für Kabel von 500 bis 700 Seemeilen Länge bestimmt; er zeichnet sich durch einfachen Bau, geringes Gewicht und mässigen Preis aus <sup>2)</sup>. Das magnetische Feld wird durch kräftige Stahlmagnete ge-

<sup>1)</sup> Elektrot. Zeitschrift Bd. 7, S. 501.

<sup>2)</sup> Ausführlich beschrieben in Elektrot. Zeitschrift Band 9, S. 393.

bildet; um die Empfindlichkeit ungeachtet der nicht grossen Dimensionen der Letztern möglichst zu erhöhen, ist die Windungszahl bis zur äussersten zulässigen Grenze vermehrt worden, nämlich 800, bei einem Drahtdurchmesser von bloss 0,06 mm und einem Widerstande von 640 Ohm. Die Drehungen des Rahmens werden direct auf den Heber übertragen, indem letzterer an ihm befestigt ist, die Heberspitze berührt das Papier und es sind verschiedene sehr zweckmässige Vorrichtungen, welche eine genaue Einstellung des Hebers ermöglichen, am Apparate angebracht. Dieser Heberschreiber arbeitet auf meinem künstlichen Kabel von 6000 Ohm Widerstand und 190 Mikrofara Capacität mit 8–10 Leclanché-Elementen ganz vortrefflich.

Die Einschaltung des Recorders entspricht im Wesentlichen derjenigen des Spiegelgalvanometers, hie und da lässt man einen kleinen Bruchtheil des abgehenden Stromes durch den eigenen Empfänger gehen, um eine Controlle der abgesandten Zeichen zu erlangen. Seit der stets zunehmenden Einführung des sinnreichen Apparates hat auch die Doppeltelegraphie, das telegraphische Gegenprechen auf Kabellinien grosse Fortschritte gemacht; ein Eingehen jedoch auf diese weitgehenden, in ihrer Wirkungsweise complicirten Verbesserungen würde dem Zwecke meines heutigen Vortrages nicht entsprechen.

---