

V. *Ueber die Leitkraft der Erde für Elektricität;
von A. Baumgartner.*

(Aus den Sitzungsberichten der K. Akademie der Wissenschaften
zu Wien, Mai 1849).

Seit der Zeit, als man durch Gray die ersten Begriffe über elektrische Leitung der Körper erlangt hatte, ward die Erde immer für einen Leiter der Elektricität gehalten; man hat es aber nicht versucht, ihr den Rang unter den Leitern nachzuweisen, oder gar ihre Leitungsfähigkeit in einem Zahlenwerthe auszudrücken, ohne Zweifel, weil man, bis vor ein Paar Decennien, die Mittel und Apparate, welche zu solchen Bestimmungen nöthig sind, nicht kannte, und jetzt, wo man sie kennt, dieselben nur verhältnißmäfsig wenigen Personen zu Gebote stehen.

Der Umstand, dafs mir bei der Einrichtung unserer ausgedehnten Telegraphenlinie die Oberleitung dieser Angelegenheit anvertraut ward, setzte mich in die Lage, einiges zur Lösung der vorgenannten wichtigen Aufgabe unternehmen zu können, und ich glaube, im Interesse der Wissenschaft, diese Gelegenheit benutzen zu müssen.

Erlauben Sie nun, dafs ich Ihnen das, was ich hierin unternommen habe, und zu welchen Resultaten es geführt, in Kürze mittheile.

Bekanntlich genügt es zum Behufe einer telegraphischen Correspondenz zwischen zwei Orten nur eine einzige Drahtleitung einzurichten und in jeder der beiden Endstationen das Drahtende in die Erde zu versenken; denn der in einer Station erregte elektrische Strom geht im Drahte hin und in der Erde wieder zurück, oder umgekehrt, und derselbe hat den Leitungswiderstand im Elektromotor, im Drahte und in der Erde zu überwinden.

Sind aber zwischen zwei Stationen zwei Leitungsdrähte gezogen, die an jeder Endstation mit ihren Enden leitend verbunden sind, so dafs sie eine in sich selbst zurückkeh-

rende leitende Kette bilden, so kann der an irgend einer Stelle dieser Kette erregte elektrische Strom in einem Drahte hin, im anderen zurücklaufen, und er hat auf seinem Wege außer dem Widerstande des Elektromotors nur den des Drahtes selbst zu gewältigen. Stehen einem aber beide Einrichtungen zugleich zwischen denselben Stationen zu Gebote, so kann man den in der Drahtleitung hinlaufenden Strom eines constanten Elektromotors einmal im Drahte, ein anderes Mal in der Erde zurückkehren lassen. Wird nun durch ein in die Drahtleitung eingeschaltetes geeignetes Mefsinstrument in beiden Fällen die Stromstärke gemessen, so kann man, nach den bekannten Gesetzen der Bewegung elektrischer Ströme, das Verhältniß der Leitungswiderstände in einer Längeneinheit des Drahtes und des zwischen beiden telegraphischen Stationen gelegenen Theiles des Erdkörpers numerisch bestimmen, und somit die Aufgabe lösen, welche ich vorher angedeutet habe.

Ich habe mich, um dieses durchzuführen, eines Theiles unserer nördlichen Telegraphenlinie bedient. Es geht nämlich vom Bahnhofe der Kaiser Ferdinands-Nordbahn eine aus Kupferdraht von einer Wiener Linie Dicke bestehende Leitung über Gänserndorf nach Brünn, Olmütz und Prag, und eine zweite ebenfalls über Gänserndorf nach Prefsburg, so, daß demnach zwischen Wien und Gänserndorf zwei Drahtleitungen gezogen sind. Ich schaltete in die Drahtleitung, welche mit einem Ende in Wien, mit dem anderen in Gänserndorf in die Erde versenkt ist, ein kleines Zink-Platin-Element mit amalgamirter Zinkplatte und angesäuertem Wasser und eine sehr empfindliche Sinusboussole ein, und beobachtete unter den bekannten Vorsichten, nachdem die Nadel der Boussole in Ruhe gekommen war, die Größe des Ableitungswinkels.

Hierauf liefs ich sowohl in Wien als in Gänserndorf die Drahtenden von ihrer Verbindung mit der Erde lösen und dagegen mit dem von Wien nach Prefsburg führenden Drahte leitend verbinden, jede andere Verbindung aber aufheben, und mafs abermals den Ableitungswinkel der

Magnetnadel. Bei drei hinter einander angestellten Versuchen erhielt ich nachstehende Ablenkungen:

	1. Versuch.	2. Versuch.	3. Versuch.	Durchschnitt.
I. Als der Strom im Drahte hin und her ging.	20°	22°	19½°	20° 30'
II. Als der Strom im Drahte hin, in der Erde zurück ging.	33°	32½°	31°	32° 10'

Bezeichnet man in I. die Gröfse des Ableitungswinkels mit A , den specifischen Leitungswiderstand in der ganzen Kette mit R , die elektromotorische Kraft mit E , ferner die gleichnamigen Gröfsen in II. mit a , r , e , so hat man:

$$\sin a = \frac{e}{r}, \quad \sin A = \frac{E}{R}$$

und weil $E=e$ ist

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{R}{r}.$$

Der Leitungswiderstand hängt bekanntlich bei gleicher Temperatur ab von der Natur des Widerstand leistenden Stoffes, von der Länge des Weges, den der Strom in demselben durchläuft, und von dem auf der Stromrichtung senkrechten Querschnitte des Leiters. Ist die Kette sehr lang und der Widerstand im Elektromotor sehr gering, wie dieses in den hier besprochenen Versuchen der Fall war, so kann man vom Leitungswiderstand im Elektromotor ganz absehen und den gesammten Widerstand als von der Drahtleitung und respective von der Erde abhängig betrachten. Nennt man nun die Drahtlänge, welche der elektrische Strom zu durchlaufen hat, wenn er im Drahte hin- und zurückgeht L , jene welche er durchströmt, wenn er blofs im Drahte hinliefst, aber in der Erde zurückkehrt l , ferner die Entfernung der zwei Stationen, welche zum Versuche ausgewählt werden, in gerader Linie λ , bezeichnet endlich M eine vom specifischen Leitungszustand des Drahtes und von seinem Querschnitte bei der Länge $= 1$ ab-

hängige Größe, m hingegen eine ähnliche für den vom elektrischen Strome durchflossenen Theil des Erdkörpers, so hat man:

$$R = ML, \quad r = Ml + m\lambda;$$

daher

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{ML}{Ml + m\lambda} \quad \text{und endlich} \quad \frac{M}{m} = \frac{\lambda \sin a}{L \sin A - l \sin a}.$$

Die von Wien nach Gänserndorf gezogene Drahtleitung ist 16100 Kl. lang, ferner ist eine Spirale von einem 0,19 L. dicken, 130 F. langen Kupferdraht eingeschaltet, die demnach denselben Widerstand leistete wie 1 Linie dicker Kupferdraht von 600 Kl. Länge. Es muß demnach die ganze Drahtleitung bezüglich ihres Leitungswiderstandes mit 16700° Länge angenommen werden. Man hat demnach

$$l = 16700; \quad L = 16700 + 16100 = 32800 \text{ Kl.}$$

Die gerade Entfernung der Station im Nordbahnhofe von der in Gänserndorf beträgt 14800 Kl. = λ . Wird daher in der letztgenannten Formel

$$A = 20^\circ 30' \quad a = 32^\circ 10'$$

gesetzt, so erhält man

$$\frac{M}{m} = \frac{14800 \sin(32^\circ 10')}{32800 \sin(20^\circ 30') - 16700 \sin(32^\circ 10')} = 3,14.$$

Es ist demnach der Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von der Länge = l und 1 Linie Dicke 3,14mal größer, als der eines gleich langen vom elektrischen Strome durchflossenen Theiles des Erdkörpers von unbekanntem Querschnitte.

Man wird mir einwenden; daß der gefundene Zahlenwerth wenigstens in seinen Bruchtheilen nicht genau sey, weil die Ergebnisse der drei Versuche, deren Durchschnittswerth in Rechnung genommen wurde, um $1\frac{1}{2}^\circ$ von diesem Durchschnitt abweichen, und ich erkenne dies willig an; zu meinem Zwecke würde aber selbst ein Resultat genügend seyn, das noch weniger scharf wäre als das hier erhaltene, weil ich nur darauf ausging, zu ersehen, ob denn wirklich der Widerstand in der Erde so klein sey, daß er

gegen den im Metallleiter vernachlässigt werden kann, wie man hie und da behaupten hört; sodann wünschte ich, einen Widerspruch aufzuklären, der zwischen der elektrischen Leitfähigkeit des Erdkörpers und jener seiner uns bekannten Bestandtheile besteht, und endlich wollte ich über den Gang eines elektrischen Stromes im Innern der Erde einige nähere Aufklärung gewinnen.

Das erhaltene numerische Resultat zeigt genügend, daß der Leitungswiderstand in der Erde nicht gar so unbedeutend sey, als man zu meinen scheint, und wiewohl ich Grund zu haben glaube, annehmen zu dürfen, es werde sich dieser Widerstand bei größerer Entfernung der Versuchstationen verhältnißmäßig kleiner darstellen, als er hier gefunden worden, so bleibt er doch immerhin von einer Gröfse, die, dem Widerstande im Drahtleiter gegenüber, nicht zu vernachlässigen ist.

Der Erdkörper, wenigstens der hier ins Spiel gekommene Theil desselben, erscheint als ein Leiter, der, wenn man nicht auf den Querschnitt des Stromkanals sieht, sogar einem gut leitenden Metall, dem Kupfer vorgeht.

Andererseits ist aber bekannt, daß die Stoffe, aus welchem die uns bekannte Erdrinde besteht, sehr unvollkommene Leiter seyen und an Leitkraft von den Metallen weit übertroffen werden; wir finden uns sogar bestimmt, anzunehmen, daß das Wasser der bestleitende Theil der Erdrinde sey (einzelne Metalladern können hier nicht in Rechnung kommen, da sie kein Continuum bilden) und wissen doch, daß destillirtes Wasser ein mehrere Millionenmal schlechterer sey als Kupfer.

Es muß also die Erde ihre elektrische Leitfähigkeit nicht sowohl der Beschaffenheit, als der Quantität ihrer Masse und eigentlich der Gröfse des Querschnittes, den sie einem Strom darbietet, verdanken.

Dieser Schluß führt aber wieder zu einer anderen, wie es auf den ersten Blick scheint, mit dem bekannten Gesetz der Bewegung der Elektrizität nicht vereinbarlichen Unzükömmlichkeit. Es ist nämlich der Querschnitt, den die Erde

einem in sie eindringenden Strome darbietet, so ungeheuer groß, daß selbst, wenn ihre spezifische Leitkraft sogar kleiner als die des Wassers wäre, ihr Leitungswiderstand gegen den der Metalldrähte völlig verschwinden müßte, was aber der Entfernung entgegen ist.

Man kann daher nicht umhin anzunehmen, daß sich ein elektrischer Strom, der in die Erde eindringt, in derselben nicht so ausbreite, wie dieses die Größe des Erdkörpers nach dem gewöhnlichen Leitungsgesetze gestatten zu müssen scheint, sondern daß er sich auf einen, wenn auch bedeutenden doch nur im Verhältniß zur Größe des Erdkörpers unbedeutenden Querschnitt beschränke.

Dieser Ansicht stehen auch die bekannten Leitungsgesetze nicht entgegen. So wie nämlich ein elektrischer Strom an irgend einer Stelle in den Erdkörper übergeht, löset er sich gleichsam in eine unendliche Anzahl divergirender Stromfäden auf, die sich bei der Annäherung an die Stelle, wo die Elektrizität die Erde verläßt, wieder in convergirenden Linien sammeln. Nun hat aber nur die Axe dieses Stromkegels, nicht aber der ganze Strom, den kürzesten Weg zwischen der Ein- und Austrittsstelle eingeschlagen und es überwiegt die Weglänge der einzelnen Elementarströme die Axe des Stromkegels um so mehr, in einem je größeren Querschnitte sich der Strom ergossen hat. Diese Verlängerung des Weges hat aber eine Vergrößerung des Leitungswiderstandes zur Folge und kann demnach nur so weit gehen, bis sie der Erleichterung der elektrischen Strömung, welche sich aus der Vergrößerung des Querschnittes ergibt, das Gleichgewicht hält.

Man könnte sogar die Größe des Querschnittes, dessen Grenzen der Strom nicht überschreitet, berechnen, wenn die spezifische Leitkraft der Erde bekannt wäre. Nimmt man diese Leitkraft gleich jener des mit $\frac{1}{20000}$ Salpetersäure versetzten Wasser an, so ergibt sich das Verhältniß der Leitkraft der Erde zu jener eines Kupferdrahtes bei gleichen Querschnitten und gleicher Weglänge, wie folgt: Nach Pouillet's Versuchen hat man:

Die specifische Leitkraft des mit $\frac{1}{20,000}$
 Salpetersäure versetzten Wassers
 verhält sich zu jener einer gesättig-
 ten Kupfervitriollösung wie 150 : 10,000
 die einer gesättigten Kupfervitriollö-
 sung zu jener des Platins . . . „ 1 : 2,546680
 die des Platins zu jener des Kupfers „ 22 : 100
 daher die specifische Leitkraft des an-
 gesäuerten Wassers zu jener des
 Kupfers wie 1 : 771,721212.

Da nun den hier besprochenen Versuchsergebnissen zu Folge die elektrische Leitkraft der Erde nicht nur kleiner, als jene des Kupferdrahtes, sondern sogar 3,14mal größer ist, so muß der mittlere Querschnitt des Stromkanals in der Erde $\frac{771721212}{314}$ mal größer seyn, als im kupfernen Lei-
 ter, mithin 65111 Q. F., d. h. ein Quadrat von 255 F. Seite, oder einen Kreis von 144 F. Radius ausmachen. Die wirkliche Verbreitung des Stromes wird, da er innerhalb der Fläche eines Kegels liegt und nicht in einem prismatisch-cylindrischen Kanal fortgeht, bedeutend größer seyn ¹⁾).

Allen diesen Betrachtungen liegt die Annahme zu Grunde, daß es gestattet sey, sich einen elektrischen Strom wie den einer körperlichen Flüssigkeit vorzustellen, er mag in einer fortschreitenden Bewegung, oder in einer solchen fortbestehen, wo die bewegten Theile die Lage ihres Gleichgewichts nur wenig verlassen, und ich habe geglaubt, hierzu darum berechtigt zu seyn, weil die Aufgabe der Naturforschung nach meiner Ansicht überhaupt darin besteht, Unbekanntes auf den Typus des Bekannten zurückzuführen.

1) Die Schlußfolgerungen des geehrten Hrn. Verf. dürften indeß wesentlich dadurch beeinträchtigt werden, daß die Platten, mittelst welcher der Strom durch die Erde geleitet wird, erfahrungsmäßig eine Polarisation erleiden. Diese Polarisation möchte wohl den Haupt-Antheil haben an der Schwächung des Stroms beim Durchgang durch die Erde.