

gensage zu einander sind \*) — während in der ersten die Verschiedenheit in der Stärke und Richtung des elektrischen Stromes bei jedem einzelnen Metalle von der Leichtigkeit abhängt, mit welcher sich die Wärme von der erwärmten Stelle aus nach beiden Seiten fortbewegt. — Wenn einem Metalle, z. B. Stahl, Eisen, durch schnelles Abkühlen mehr Härte und Sprödigkeit gegeben wird, so rückt es in der thermo-magnetischen Reihe höher hinauf. Auch behält die Reihenfolge ihren Werth nur für eine gewisse Gränze der Temperatur-Differenz. Die angeführte ist von Seebeck für mäßige Temperatur-Differenzen entworfen; bei stärkerer Erhitzung ändert sich das Verhalten der Metalle, und geht selbst in das entgegengesetzte über. Daraus erklärt sich die Verschiedenheit zwischen der Seebeck'schen und der von Cumming aufgestellten Reihe, in welcher letztern zwar auch Wismuth und Antimon an den Enden stehen, die übrigen Metalle aber zwischen beiden ganz andere Stellen einnehmen als in jener. —

§. 106.

Thermo-elektrische Kettenkette (Thermo-Säule). Weitere Wirkungen der thermo-elektrischen Ströme. Induktions-Phänomene beim Deffnen der Thermo-Säule.

Wenn man mehrere, aus je zwei zusammengelötheten Metallen bestehende, einfache thermo-elektrische Ketten so an einander fügt, daß immer zwei heterogene Metalle mit einander in inniger Berührung sich befinden: so erhält man eine thermo-elektrische Säule oder Kettenkette (Thermo-Säule), mit der sich, wenn durch gleichzeitige Erwärmung je zweier Junkturen (zwischen denen abwech-

\*) Dieß geht so weit, daß bei zwei sich berührenden Metallen die elektrische Spannung gleich 0 ist, wenn zwischen ihnen gar kein chemischer Gegensatz statt findet; während anderseits selbst zwei gleichartige (homogene) Metalle durch gegenseitige Berührung noch elektrisch werden, wenn sie nur durch Verschiedenheiten in ihrer Härte, in dem Grade ihrer Temperatur, in der Beschaffenheit ihrer Oberflächen, durch kleine Abweichungen in ihrem Mischungsverhältnisse, ja! selbst nur in ihrer Form Veranlassung dazu geben, daß das eine von dem Sauerstoff leichter angegriffen (oxydirt) werden kann, als das andere. (§. 35.)

selbst immer eine kalt erhalten wird) elektrische Ströme in ihr erweckt werden, so viel mal stärkere Wirkungen hervorbringen lassen, als einfache Ketten in ihr eingeschlossen sind. Derartige Säulen sind von Seebeck aus Antimon und Kupfer in Form eines Rechtecks, von Dersted und Fourier aus Antimon und Wismuth in Form eines Sechsecks von 3 Paar gleich langen Stäben construirt worden. Seebeck's einfachste Säule ist eine Doppeltette, die aus zwei 9" langen und  $\frac{1}{2}$ " dicken Antimonstangen **AB** und **CD** (Fig. 56.) und aus eben so breiten und  $3\frac{1}{2}$ " langen Streifen Kupferblech **AC** und **BD** besteht. Bei Erhitzung der Lötstelle **B** allein erhielt er eine Abweichung der in der Mitte der Säule balancirenden Nadel von  $10^\circ$ , die bei gleichzeitiger Erhitzung von **B** und **D** auf das Doppelte stieg. Von den beiden zuletzt genannten Gelehrten ist als Gesetz ermittelt worden, daß die Wirksamkeit der thermoelektrischen Säule im Verhältniß der Zahl der einfachen Ketten, aus denen sie combinirt wird, nur dann zunimmt, wenn die einzelnen Elemente aller Ketten ihrer Länge nach so klein genommen werden, daß der von ihnen gebildete ganze Kreis an Länge eine gewöhnliche einfache Kette nicht übertrifft, und daß (wegen des vermehrten Leitungswiderstandes, den eine längere Ausdehnung der Metalle der Bewegung eines Stromes von so schwacher Spannung wie der thermoelektrische, entgegensetzt, S. 95. \* und 96.), die Wirksamkeit der Thermo-Säule über die einer einfachen Kette sich nicht erhebt, wenn die einzelnen Ketten derselben in der Größe der einfachen Kette an einander gefügt werden, und also der Umfang der Säule in gleichem Verhältnisse mit der Zahl der Metallpaare sich vergrößert. Wegen der guten Leitungsfähigkeit des Kupfers, brachte selbst eine einfache Kette aus einer 9" langen und  $\frac{1}{2}$ " dicken Antimonstange, und einem 16" langen und  $\frac{1}{2}$ " breiten Kupferblechstreifen die Magnetnadel um  $1\frac{1}{2}^\circ$  mehr zum Abweichen, als Seebeck's aus zwei Ketten combinirte Säule (Fig. 56.) bei gleichzeitiger Erhitzung oder Abkühlung zweier Lötstellen. Von Nobili und Melloni wird aber die Behauptung Fourier's und Dersted's in Zweifel gezogen, indem sie in ihren Säulen-Apparaten für strahlende Wärme die Empfindlichkeit derselben bei einer Vermehrung der Zahl der einzelnen Ketten bis zu 62, mit gleichbleibender Länge der letztern, fortwährend zunehmen sahen.

Becquerel richtete eine sternförmige Säule ein (Fig. 57.),

indem er gleich lange Stäbe aus Wismuth und Antimon, die er mit ihren Enden zusammenlöthete, so in einem Kreise und im Zickzack ordnete, daß abwechselnd eine Löthungsstelle nach dem Mittelpunkte und die nächste in die Peripherie des Kreises zu liegen kam. Zuletzt bleiben die Enden eines Wismuthstabes und eines Antimonstabes (A und B) frei, die dann mit den Drahtenden eines Galvanometers verbunden werden. Erhitzt man durch eine in das Centrum des Kreises gestellte Spirituslampe alle innern Löthstellen (also die erste, dritte, fünfte u. s. w. der ganzen Kettenkette) auf Einmal, so erhält man einen verstärkten thermo-elektrischen Strom, der lebhaft die Galvanometer-Nadel anspricht. Eine Säule von gleich zweckmäßiger Einrichtung gab in Verbindung mit Nobili, welcher sie *pila a scatola* nannte, Melloni an. *Repert.* Bd. 1. S. 355.

Durch Versuche mit der Thermo-Säule hat man entdeckt, daß die Thermo-Electricität nicht nur die Magnet-Nadel richtet (S. 102.) und Rotationen wie durch Elektro-Magnetismus und Magnet-Electricität mit ihr sich ausführen lassen (S. 104.), sondern daß auch alle andern Wirkungen durch sie hervorgebracht werden können, wie durch die verschiedenen andern Arten elektrischen Ströme; daß die thermo-elektrischen Ströme folglich für ganz identisch mit diesen gehalten werden dürfen. Direkte Wirkungen des thermo-elektrischen Stromes auf das Elektrometer beobachtete zuerst Becquerel. Wir kommen später auf sie zurück. (S. 108.) Physiologische Wirkungen der Thermo-Säule erfahen Dersted und Fourier (bei Anwendung einer aus 13 einfachen Ketten von Antimon und Wismuth zusammengesetzten Säule) aus den Zuckungen der Schenkel eines präparirten Frosches, und Watkins (in London) aus der Geschmacksempfindung, die der Strom aus einer Kettenkette von 30 Gliedern auf der Zunge erregte. *N. Gehler*, Bd. 9. S. 798. Lange Zeit hindurch glaubte man, daß die thermo-elektrischen Ströme wegen der geringen Intensität ihrer Spannung durch (selbst gut leitende) Flüssigkeiten nicht hindurch gingen und keine chemischen Wirkungen äußerten. Dersted und Fourier fanden, daß eine Säule von 22 Stangen aus Wismuth und Antimon, schon durch eine ganz dünne Schicht von einer sehr gut leitenden Flüssigkeit, z. B. von einer Salmiakauflösung und verdünnter Salpetersäure, in ihrer Wirksamkeit unterbrochen und keine Schließung derselben her-

vorgebracht wurde; und Neef konnte selbst durch Vielfältigung einer Thermo-Säule bis zu 102 Elementen (an der die Temperatur-Differenzen durch Wasserdampf und kaltes Wasser bewirkt wurden) den elektrischen Strom nicht bis zu der Spannung steigern, daß er die geringste Flüssigkeitsschicht durchdrang und Wasser zer setzte, obschon er die Magnetnadel um  $56^\circ$  ablenkte. Allein der Durchgang des Stromes durch Flüssigkeiten ist neuerdings von Moser, und die chemische Kraft desselben von Watkins, Berzelius und Botto bestimmt nachgewiesen worden. Moser senkte zwei Kupferplatten,  $\frac{3}{8}$  Zoll von einander entfernt, mit 1 □ Zoll ihrer Oberfläche in verdünnte Schwefelsäure, und brachte sie in den Wirkungskreis einer Thermo-Säule von 24 Paaren Eisen und Platin, die mit einem Galvanometer verbunden war. Es erfolgte durch den, durch die Berührung des Kupfers mit der Säure (eine galvanische zweigliedrige Kette, S. 35.) erzeugten, hydro-elektrischen Strom eine geringe Ablenkung der Nadel, die sich immer gleich blieb. Als er hierauf eine Lötungsstelle der Säule mit einer Spirituslampe erhitzte, wich die Nadel sogleich noch weiter um  $10^\circ$  ab, — zum Beweise, daß der thermo-elektrische Strom durch die saure Flüssigkeit geleitet wurde. Bei Erhitzung einer andern geeigneten Junktur der Säule schlug die Nadel nach entgegengesetzter Seite aus. Eine Zersetzung von einer starken Jodkaliumlösung, die er bei Wiederholung dieses Versuches mittelst eines damit getränkten Blättchen Filispapiers, als leitende Flüssigkeit zwischen zwei auf obige Art in den thermo-elektrischen Kreis eingeschaltete hellpolirte Silberplättchen brachte, wurde von ihm nicht wahrgenommen; denn das Silber zeigte sich nach Beendigung des Versuches (der  $\frac{1}{2}$  Stunde dauerte) blank wie vorher. Glücklichere Resultate, bei ihren Versuchen an die Prüfung der chemischen Kraft der thermo-elektrischen Säule, erlangten dagegen Botto (in Turin), Watkins und Berzelius. Letzterer führt an, daß von zwei in eine Salmiaklösung getauchten Silberdrähten, womit er eine Nobili'sche Säule von 40 bis 50 Paaren Wisnuth und Antimon schloß, der eine (mit dem positiven Pol verbundene) anlief und, als er mit Wasser abgospült und ins Tageslicht gelegt wurde, sich schwärzte, — ein deutliches Zeichen, daß an ihm Chlor Silber sich gebildet hatte und durch Zersetzung der Salmiaklösung Chlor frei geworden war. Watkins in Pog. Ann. Bd. 46.

S. 496. Votto combinirte sich eine Säule von 120 Paaren Eisen- und Platindraht, wovon jedes einzelne Stück 1 Zoll lang und  $\frac{1}{4}$  Linie dick war, indem er die einzelnen Drähte abwechselnd an einander löthete, so daß er einen ganzen Streifen von 240" Länge erhielt. Diesen legte er schraubenförmig so um ein hölzernes Lineal, daß die einen Löthstellen an der einen Längenkante des Lineals, die andern an der entgegengesetzten Kante sich befanden, 4" von dem Lineal entfernt. Die beiden Enden der Kette wurden mit Leitungsdrähten von Platin versehen, diese in ein gesäuertes Wasser eingesenkt und so die Kette geschlossen. Als er hierauf die eine Reihe der Löthstellen durch eine Weingeisflamme erhitzte, resultirte eine Zersetzung des Wassers in seine beiden Gase. Wurden, statt der Leitungsdrähte von Platin, welche von Kupfer oder einem andern oxydirbaren Metalle angewendet: so zeigte sich die Zersetzung des Wassers noch lebhafter, aber mit dem Unterschiede, daß nur an dem einen Pole Gas (Wasserstoffgas) ausgeschieden wurde. — Lichterscheinungen (Funken) durch die Thermo-Säule hervorzubringen gelang Antinori und nach ihm vielen andern Physikern (Watkins, Munko, Wheatstone). Er erhielt die Funken aus einer Nobili'schen Säule von 25 Elementen, deren Strom er durch eine Spirale von 505 Fuß Länge führte. Sie erschienen bei plöglicher Unterbrechung des Stromes hell glänzend, und waren selbst am Tage sichtbar. Die Spirale lag um ein Hufeisen von weichem Eisen, welches dabei zugleich temporär magnetisch wurde, und dadurch den elektrischen Strom verstärkte und das Hervorbrechen des Funkens begünstigte. Bei einer einfachen Spirale aus einem nur 8 Fuß langen Draht zeigten sich die Funken bei Unterbrechung des Stromes nur im Dunkeln; bei einer Länge des Drahtes von 15 Zollen erschien er nur selten, und bei einer Länge des Drahtes von 8 Zollen nur dann, wenn die Säule verdoppelt wurde. Die Temperatur-Differenzen wurden durch schmelzendes Eis und kochendes Wasser bewirkt. Thermische Wirkungen sind mit einer thermo-elektrischen Batterie aus 18 Paaren prismatischer Wismuth- und Antimonstäbe von vier Zoll Länge von Watkins an dem Warmwerden eines feinen, von dem thermo-elektrischen Strom durchlaufenen, Platindrahtes beobachtet worden, welcher sich in der Kugel eines empfindlichen Harris'schen Luft-Elektro-Thermometers befand, und durch die Erhöhung seiner

Temperatur die, in der mit jener Kugel verbundenen Röhre befindliche, gefärbte Flüssigkeit zum Steigen brachte. Watkins war auch der erste, welcher weichem Eisen (durch eine Säule von 30 Paaren Wismuth und Antimon) Magnetismus ertheilte. Bald darauf wurden diese Versuche mit demselben Glücke von Munkke und Alexander wiederholt. Dieser machte durch 45 Drahtwindungen von 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> dickem Kupferdraht, die um ein Hufeisen von weichem Eisen mit 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> starken Schenkeln gelegt waren, dieses in dem Grade magnetisch, daß es nicht nur seinen Anker, sondern auch die Hälfte seines Gewichtes trug. Die Säule, welche den Strom dazu sandte, war aus 25 Paaren Antimon und Wismuth, die mit Zinn zusammen gelöthet waren, zusammengesetzt, und die Polenden derselben standen durch 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> dicke Kupferdrähte mit Quecksilbernapfchen in Verbindung, in welche andererseits die beiden amalgamirten Enden des um das Hufeisen gewundenen Drahtes eingetaucht waren. Die Temperatur-Differenz wurde durch Erkältung mittelst Eis, und durch Erhitzung mit einem heißen Eisen gegeben. N. Gehler, Bd. 9. S. 799. Munkke's thermo-elektrischer Apparat, mit dem er die magnetisirende Wirkung der Thermo-Elektricität zeigte, und mit dem sich außer der magnetischen auch alle andern Wirkungen der thermo-elektrischen Ströme gut anstellen lassen, ist eine Thermo-Säule von 81 Paaren 27 Linien langer, 5 Linien breiter und 4 Linien dicker Antimon- und Wismuth-Stangen, deren Wirkung durch Beihülfe eines Induktions-Multiplikators unterstützt wird; welcher hier in gleicher Weise einen Strom erregt, wie unter verwandten Umständen der Induktions-Strom an einer hydro-elektrischen Kette entsteht. (S. 95.) Die Stangenpaare sind in 9 Reihen, jede zu 9 Paaren, neben einander geordnet, die Zwischenräume mit Gyps ausgefüllt, und die einzelnen Reihen ebenfalls mittelst eines Ueberzuges von Gyps auf einander geklebt, so daß das Ganze, nachdem auch alle Außenflächen mit einer Gypslösung geebnet sind, einen vierkantigen Körper bildet, der 28 Lin. hoch, 5 Zoll 5 Lin. breit und 8 Zoll 3 Lin. lang ist. Um die Aufweichung des Gypses durch die Nässe zu verhüten, ist die Außenseite mit einem Ueberzuge von in Weingeist aufgelösetem Schellack versehen. An die beiden freien Enden einer Wismuth- und einer Antimonstange, welche die Pole der Säule bilden, ist jederseits ein Kupferdraht von nahe 1 Lin. Dicke, angelöthet. Die 9 Reihen sind

außerdem mittels 8 Verbindungsstangen durch Löthung mit einander vereinigt, so daß auf jeder der breiten Flächen des Apparates 90 Löthstellen vorhanden sind. Der dazu gehörige Induktions-Multiplikator besteht aus 20 zusammengelötheten, 15 Linien breiten Kupferstreifen, welche zusammen ein Continuum von 110 Fuß machen, und um einen 18 Linien hohen und 21 Linien im Durchmesser haltenden Cylinder von weichem Eisen, der vorher von einer dreifachen Lage dünnen Papiers und dann von einer hölzernen Kapsel von etwa 1 Linie Dicke umgeben worden ist, gewickelt sind. Die einzelnen Windungen sind durch Papier oder zwischengelegtes Seidenband von einander isolirt, und an die beiden Enden des Kupferstreifens Kupferdrähte aufgelöthet, deren Enden amalgamirt und in Quecksilbernapfchen eingetaucht sind, in welche auch die Polardrähte der Säule eingesetzt werden. Ist der Apparat auf diese Weise vorgerichtet, und werden die untern Löthstellen der Säule durch in einem mit 3 Linien hohem Rande versehenem Gefäße von Weißblech, wovon die Säule gesetzt wird, befindliches Wasser (dem zur Erniedrigung der Temperatur noch Eisstückchen beigemischt sind) abgekühlt, und die obern Juncturen zugleich sämmtlich durch eine darauf gestellte Kupferplatte, auf welcher glühende Kohlen liegen, erhitzt: so entsteht ein Strom, der den Eisencylinder in solchem Grade magnetisch macht, daß seine obere Fläche eine nebenstehende Magnethadel mit großer Festigkeit anzieht und so lange festhält, als die Kette geschlossen ist. Wird einer der Polardrähte aus einem Quecksilbergefäße herausgehoben und so die Kette wieder geöffnet, so springt die Spitze der Nadel sogleich wieder zurück, — wobei gleichzeitig ein knisternder, in grünlichem Lichte leuchtender Funke ausblitzt. Schließt man die Kette wieder und taucht zwei Kupferdrähte, die man zwischen den mit etwas gesäuertem Wasser benetzten Fingern hält, in die Gefäße ein: so empfindet man bei jedesmaligem Öffnen der Kette einen merklichen Erschütterungsschlag, der noch empfindlicher wird, wenn man die Zunge mit den reinen Enden der beiden Drähte berührt. Die Empfindlichkeit des Instruments ist überhaupt so bedeutend, daß, wenn nach Fortnahme des Induktions-Multiplikators die Polardrähte mit den Enden eines Nobilt'schen Multiplikators von nur 80 Windungen verbunden werden und der Apparat in einem geheizten Zimmer aufgestellt ist, durch den Temperaturwechsel

der Unterlage, worauf er steht, mit der umgebenden Luft, die Nadel des Multiplikators unausgesetzt um 40 bis 60° abgelenkt wird; ja! daß schon durch bloße momentane Berührung der einen Fläche der Säule mit der flachen Hand, oder nur mit einem Finger, oder durch Anhauchen derselben, vorübergehende Abweichungen der Nadel entstehen, und daß selbst mit größter Leichtigkeit ein kontinuierlicher Strom erregt werden kann, wenn man z. B. die eine Fläche an die Fensterscheibe eines geheizten Zimmers anlegt. Der Erfinder glaubt, daß, durch geschickte Benützung der Umstände, mit gleicher Leichtigkeit ein beständiger elektrischer Strom von gleichmäßiger Stärke durch die Säule erzeugt werden könne, wie er zur elektrischen Telegraphie erforderlich ist. Pogg. Ann. Bd. 47, S. 451.

§. 107.

Anwendung der Thermo-Säule als Wärmemesser. Das magnetische Thermometer und Pyrometer. **Becquerel's** und **Dutrochet's** Magneto-Thermometer zu Erforschung der Eigenwärme kaltblütiger Thiere und Pflanzen.

Da schon durch ganz schwache Erwärmung oder Erkältung der Lötstelle zweier Metalle, die in der thermo-elektrischen Spannungsreihe weit von einander liegen, ein Strom in diesen erweckt wird, der sich durch Wirkung auf ein empfindliches Galvanometer bemerklich macht (§. 105.): so giebt der Thermo-Magnetismus ein vorzügliches Mittel an die Hand, geringe Grade von Wärme, die durch die gewöhnlichen Thermometer wegen unzureichender Empfindlichkeit nicht mehr angezeigt werden, zu erforschen und zu messen. Die Erfahrung hat bestätigt, daß die thermo-elektrische Säule in dieser Hinsicht die Stelle eines jeden andern Differential-Thermometers ersetzen kann; indem die Empfindlichkeit derselben, wenn sie als magnetisches Thermometer benutzt wird, so groß ist, daß sie selbst Tausendtheile eines Centesimalgrades noch signirt. Nobili und Melloni (der sich dazu einer bessern Einrichtung der in §. 106. beschriebenen Becquerel'schen Säule bediente) machten auf diesem Wege höchst interessante Entdeckungen über Wärmestrahlung, die in Pogg. Ann. Bd. 20. u. 27, und in Schweigg. Journ. Bd. 53. mitgetheilt sind. Wird z. B. der Mittelpunkt der Becquerel'schen