

V.

Der Thermo-Magnetismus. Die Thermo-Elektricität.

§. 102.

Begriff des Thermo-Magnetismus *). **Seebeck.**
von Jelin.

Wir lernten oben Verhältnisse der Wärme zu dem Magnetismus und der Elektricität kennen, welche sich durch einen Einfluß derselben auf die Wirkungskraft der magnetischen und elektrischen Polarität charakterisirten. In anderer Beziehung gelangt der Wärmestoff, wenn er in Bewegung ist, als Erregungsmittel elektrischer Polarität zu unserer sinnlichen Wahrnehmung — indem durch Aufhebung des Gleichgewichts der Temperatur fast in allen guten Elektricitäts-Leitern, vorzugsweise aber in Metallen, ähnliche elektrische, vorzüglich leicht durch ihre Wirkung auf die Magnetnadel sich bekundende, Strömungen erregt werden, wie durch Berührung von Metallen und andere Erregungsmittel der Elektricität. Die erste Bekanntschaft mit dieser neuen, bis zum Jahre 1823 noch unbekanntem, Eigenschaft des Wärmestoffs verschafften uns die Physiker Seebeck (in Berlin) und v. Jelin (in München), welche gleichzeitig mit Hülfe des magnetischen Galvanometers, das für diese kleinen Spannungen von Elektricität ein eben so empfindliches Prüfungsmittel ist wie für die subtilsten elektrischen Zustände der Contact-Elektricität (§. 32. 33.), die Entdeckung machten, daß in zwei verschiedenartigen Metallen,

*) Von dem Griechischen η *θερμη*, die Wärme, Hitze.

welche sich an zwei von einander entfernten Stellen genau berühren, sobald die eine von diesen Berührungsstellen erhitzt oder beträchtlich unter die Temperatur der Umgebung erkaltet wird, ein elektrischer Strom erwacht, durch welchen die Magnetnadel eben so aus ihrer natürlichen Richtung abgezogen wird, wie durch die Entladung eines Volta'schen Apparates (§. 73.)^{*)}. *Gilb. Annal.* 1823. Bd. 73, S. 361. Man begreift diese durch Temperatur-Differenz erzeugten Störungen des natürlichen elektrischen Gleichgewichts in den Metallen gewöhnlich unter dem Namen Thermo- oder Pyro-Elektricität; bezeichnet sie aber, weil sie sich hauptsächlich, wenigstens mit den geringsten Umständen, unter der Form der magnetischen Polarität (durch Einfluß auf den Stand der Magnetnadel) äußern, nicht unangemessen auch durch den Ausdruck Thermo-Magnetismus, d. h. Magnetismus durch Wärme vermittelt, oder richtiger, Magnetismus angesprochen durch Thermo-Elektricität. Auch führen diese thermo-magnetischen Erscheinungen und die ihnen zum Grunde liegenden Ströme zum Unterschiede von den gewöhnlichen galvanischen, welche man des Gegensatzes wegen hydro-elektrische nennt, den Namen thermo-elektrische. — Die Stärke dieser Strömungen hängt theils von der Größe der Temperatur-Differenz der Stellen, an welchen die Metalle mit einander vereinigt sind, theils von der Natur der zusammengeführten Metalle ab. Durch beide Umstände wird auch die Richtung der Ströme bedingt. Diese ist bei der Erwärmung alle Mal derjen-

^{*)} In den meisten Fällen ist die Spannung der durch Temperatur-Differenz erregten Elektricität so gering, daß sie nur schwach den Condensator afficirt, und die Bewegung ihres Stromes dieser geringen Spannung wegen so langsam, daß sie schon durch geringe Hindernisse in ihrer Fortleitung gehemmt wird und weder chemische Zersetzen (elektro-chemische Wirkungen) hervor zu bringen, noch auch die Temperatur selbst der feinsten Drähte, durch die man ihren Strom leitet, merklich zu erhöhen vermag; obgleich durch Versuche bethätigt ist, daß sie in Hinsicht der Menge, in welcher sie sich anhäuft, selbst der Galvanischen Elektricität, die hierin der durch Reibung entstandnen bekanntlich noch vorgeht, überlegen ist. Desto auffallender giebt sich ihr Erscheinen durch die Wirkung auf die Magnetnadel zu erkennen, welche daher in neuer Zeit, besonders wenn die Wirkung durch Hülfe des Multiplikators verstärkt wird, als das empfindlichste und sicherste Reagens, selbst ganz leiser, elektrischer Ströme mit Recht geschätzt ist.

gen entgegengesetzt, welche man bei der Abkühlung beobachtet. Seebeck legte seine Beobachtungen nieder in den Abhandlungen der Berl. Akad. der Wissensch. von 1822 und 1823, und in Schweiggers Journal., neue N., Bd. 16, Heft 1.

§. 103.

Die thermo-magnetische Kette und der thermo-magnetische Multiplikator.

Die einfachste Art, bei welcher die thermo-elektrischen Erregungen zugleich am anschaulichsten in ihrem Einflusse auf die Magnetnadel sich vergegenwärtigen, ist die: daß man die zu Erregern (Magneto- oder Elektro-Motoren) bestimmten Metalle in Form eines Kreises oder Bogens zu einem fest geschlossenen Ganzen zusammensfügt, oder eine sogenannte thermo-magnetische (thermo-elektrische) Kette bildet. Man verbinde mit den beiden blank geriebenen Enden einer aus Wismuth gegossenen, 6 bis 8 Z. langen, $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Z. breiten und 1 bis 2 Linien dicken Stange **AB** (Fig. 54.) einen in die Form eines Bogens oder auf beliebige Art gebogenen, eben so breiten und dünnen Streifen von Kupferblech, oder statt dessen auch einen möglichst dicken Kupferdraht **ADEB**, dadurch, daß man ihn entweder mit seinen, ebenfalls (durch Schmirgelpapier oder eine feine Feile) blank geriebenen Enden einige Mal um die Wismuthstange windet oder (noch besser, da der thermo-elektrische Strom wegen der schwachen Kraft, mit der er sich fortbewegt, durch das unbedeutendste Hinderniß an der Berührungsstelle der beiden Metalle aufgehalten wird, und eine innige Berührung derselben an ihren Verbindungsstellen daher Hauptsache ist) an diese auf die §. 76. * beschriebene Art löthet oder auch gleich beim Gießen der Stange mit einschmilzt — und stelle diesen Apparat, den Bügel des Kupfers nach oben gerichtet, mit der Längenaschse in den magnetischen Meridian: so werden, wenn eine der Verbindungsstellen des Wismuths mit dem Kupfer durch eine untergehaltene Weingeistlampe erhitzt wird, sogleich elektrische Ströme in den Metallen rege, welche durch die von ihnen gebildete Kette fließen und eine in **g**, **f** oder **h** schwebend aufgestellte Magnetnadel auf eine der Richtung ihres Strömens entsprechende Weise aus ihrer Stellung ablenken. Wird z. B. die nach Süden gefehrte Verbindungsstelle **A** erhitzt, so fließt der + elektrische Strom von dem

Wismuth aus in der Richtung von **ADEB** und kehrt nach **A** zurück, und es wird die innerhalb des Kupferbogens in **f** befindliche Nadel mit ihrem Nordpol nach Westen und die außerhalb des Bogens in **g** oder **h** befindliche nach Osten abgelenkt. Eben so wirken diese thermo=elektrischen Ströme auch auf die Inklination einer Magnetnadel: befindet sich diese während der Erhitzung von **A** an der Ostseite von **AB** oder an der Westseite von **DE**, so wird der Nordpol gehoben; befindet sie sich aber an der Ostseite von **DE** oder an der Westseite von **AB**, so wird der Südpol gehoben. Die Ablenkungen der Nadel sind die entgegengesetzten, wenn statt des südlichen das nördliche Ende der Stange erhitzt wird. Sonst erfolgen sie nach Obigem (S. 102.) um so stärker, je weiter die Erhitzung getrieben wird, und im Maximo stellt sich bei der Declination die Achse der Nadel (wie unter der Einwirkung eines galvanischen Stromes) auf die Richtung des Stromes senkrecht. (S. 73.) Construiert man die thermo=magnetische Kette (statt der Wismuthstange) aus einer Stange von Antimon und dem beschriebenen Kupferbogen: so stellen sich die Erscheinungen in entgegengesetzter Art dar, und es weicht nun die Nadel, indem der + elektrische Strom seinen Weg von dem Kupfer zu dem Antimon, in der Richtung von **ABED** nach **A**, nimmt, innerhalb des Bogens östlich und außerhalb desselben westlich ab, so wie auch an den Seiten des Bogens dort, wo vorher der Nordpol der Nadel in die Höhe gezogen wurde, nun der Südpol emporsteigt. Dieselben Erscheinungen zeigen sich, wenn statt der Erhitzung eine Berührungsstelle der beiden Metalle künstlich erkältet wird, etwa dadurch, daß man Schwefelnaphtha auf sie tröpfelt und auf ihr verdunsten läßt, oder daß man sie mit Eis oder einer kalt machenden Mischung (wozu Seebeck eine Mischung von 2 Thl. Schnee und 3 bis 5 Thl. gepulvertem salzsauren Kalk empfiehlt) umgibt; — nur daß dann die Abweichungen der Nadel ebenfalls entgegengesetzt sich verhalten. Am stärksten aber tritt die Abweichung der Nadel dann hervor, wenn zugleich die eine Berührungsstelle erwärmt und die gegenüber liegende in einer Frostmischung abgekühlt wird, da in diesem Falle die Ungleichheit in der Temperatur am größten ist *).

*) Nach Seebeck lassen sich auch aus 3, 4 und mehr Metallen 3, 4 und mehrgliedrige thermo=magnetische Ketten combiniren, in denen

Stärker als an einem bloßen Bogen, wie der eben beschriebene, zeigen sich die thermo-magnetischen Erscheinungen, wenn man die Nadel in der Achse einer aus den magneto-motorischen Metallen gebildeten Spirale aufstellt, wo sodann (wie beim Elektromagnetismus) eine rechts gewundene die umgekehrte Wirkung von einer links gewundenen leistet — oder wenn man die Strömung durch die Windungen eines Schweigger'schen Multiplikators führt, in dessen Mitte man die Nadel balanciren läßt. Dieser Verstärkung durch den Multiplikator bedient man sich vorzugsweise zur Erforschung der allerschwächsten thermo-elektrischen Ströme, und bei Metallen, die nur in einzelnen Körnern vorkommen, und deshalb nicht in die Form eines Bogens oder Kreises gebracht werden können. Es ist jedoch nicht jeder Multiplikator zur Wahrnehmung dieser Ströme geschikt; die Erfahrung hat vielmehr gelehrt, daß durch Multiplikatoren, welche die galvanischen oder hydro-elektrischen Ströme sehr gut anzeigen, die Intensität der thermo-elektrischen Ströme nicht verstärkt, sondern im Gegentheil geschwächt wird, wovon die Ursache in dem großen Leitungswiderstande zu suchen ist, den viele Windungen aus sehr feinem Drahte diesen Strömen von so schwacher Spannung entgegensetzen. Man hält daher allgemein zur Darstellung derselben Multiplikatoren von Stäben oder dickem Drahte und von nur wenigen Windungen, die (3, 4 bis 6 Mal) parallel neben einander geschlungen sind, für die besten. Colladon bemerkte bei Anwendung eines Multiplikators von 100 Windungen eine starke Ablenkung der Magnetnadel, bei 500 Windungen hingegen gar keine; und Fechner fand, daß zwei gleich breite und 3 Fuß lange Streifen von Zink und Kupfer, die nach Art seines aus nur Einer Metallplatte bestehenden Multiplikators rechtwinklig gebogen (S. 77.), und mit ihren Enden metallisch innig verbunden waren, durch bloße Anlegung der Hand elektrische Erregung zeigten, und bei Erhitzung durch eine Weingeistlampe eine constante Abweichung der Nadel von 59° erzeugten, während ein guter Spiral-Multiplikator diese nur bis auf 55° brachte. Es liegt hierin eine Bestätigung der zuerst von Fechner über die Wirkung elektrischer Multiplikatoren ausgesprochenen Ansicht, daß über-

die ungleiche Erwärmung der Verbindungsstellen nach besondern Gesetzen thermo-elektrische Spannungen hervorrufft. N. Gehler, Bd. 9, S. 757.

haupt jede elektrische Kette, auch die hydro-elektrische nicht ausgenommen, nach ihrer Art und Größe ihren eignen Multiplikator, in Bezug auf Dichte des Drahtes und die Zahl seiner Windungen erfordert, wenn das Maximum ihrer Wirkung erreicht werden soll. Schweig. Journal. N. R. Bd., 15, S. 60. Biot, a. a. D., Bd. 2, S. 254.

§. 104.

Rotation der thermo-elektrischen Kette unter dem Einflusse des Magnetismus. Thermo-magnetische Rotations-Apparate.

Die thermo-elektrische Polarität giebt sich auch, analog der elektro-magnetischen, durch Achsendrehung (Rotation) zu erkennen, wenn man den thermo-elektrischen Bogen leicht beweglich macht und gleichzeitig den Pol eines Magnetes ins Spiel bringt. (S. 82. u. 83.) Darauf gründen sich die thermo-magnetischen Rotations-Apparate, wie sie unter andern von Cumming und Marsh angeordnet worden sind. Wird z. B. ein Rektangel, wie **ABED**, (Fig. 55.) das aus einem Bogen von Silberdraht **DE** und aus einem geraden Platindraht **AB** combinirt ist, und welches auf einem, durch eine in der Mitte des Platindrahtes angebrachte Oeffnung gesteckten Träger, der oben ein Achtschälchen zur Aufnahme der Spitze **C** hat, äußerst leicht beweglich ist, in der Berührungsstelle **B** durch eine Weingeisillampe erhitzt, während man dieser Stelle zugleich den Nordpol eines Magnetes nahe hält: so stellt sich dasselbe, indem es erst mit seinem Ende **A** sich rechts bis zu der Lampe dreht, und sodann wieder links oscillirt, rechtwinklig auf seine vorige Lage der Ruhe. Erwärmt man bei unveränderter Stellung des Magnets die Stelle **A**, so oscillirt das Rektangel, bevor es die bezeichnete Richtung eingeht erst links, statt rechts, mit **A** nach **B**. Wird der Nordpol des Magnetes in **A** oder sein Südpol in **B** angehalten, so erfolgen die Bewegungen umgekehrt. Hält man gleichzeitig den Nordpol eines Magnetes an **B** und den Südpol eines andern in **A**: so fängt, je nachdem die Lampe unter **B** oder **A** gestellt wird, der Apparat langsam an, sich rechts oder links zu drehen, und fährt damit so lange fort, als die Erwärmung fortgesetzt wird. Lebhafter wird diese Drehung, wenn man, statt eines einfachen Rektangels, deren zwei in Ge-

stalt eines Kreuzes mit einander verbindet, so daß sie an der Stelle, wo sie sich durchschneiden, mit einer gemeinschaftlichen Spitze auf dem Achatschälchen des Trägers spielen. Bei starker Erwärmung erfolgen dann gegen 30 Umdrehungen in der Minute, wobei jedoch die Löthungsstellen leicht durch Schmelzung sich von einander trennen. Da die Rotation um so besser vor sich geht, je leichter der Apparat ist: so giebt man der längern Seite der Rektangel höchstens eine Länge von 2 Z., und der kürzern eine von 1 Z. Dem Silber und Platin kann auch Antimon und Kupfer, Wismuth und Kupfer, oder Wismuth und Antimon substituirt werden. Auch kann die Combination der beiden Metalle von der Art seyn, daß man die eine Hälfte des Rektangels z. B. aus Platindraht, die andere aus Silberdraht, bestehen läßt, die man dann an den entgegengesetzten Enden zusammenlöthet. Marsh hing auf jeden Pol eines dazu vorbereiteten, mit feinen Schenkeln aufwärts gerichteten Hufeisenmagnets ein Kreuz von zwei solchen Rektangeln mit seiner Spitze auf, und brachte beide Kreuze dadurch zum Rotiren in entgegengesetzter Richtung um die Magnetpole, daß er eine Weingeistlampe zwischen die Schenkel des Magnets stellte, wodurch fortwährend die Löthungsstelle einer untern Ecke der Rektangel erhitzt wird, während die entgegengesetzte obere kühl bleibt. Schweigg. Jour. N. R. Thl. 10, S. 321.

S. 105.

Thermo=elektrische Spannungsreihe der Metalle.

Metalle von starkem krystallinischem Gefüge, wie Wismuth, Antimon, Arsenik, Tellur, Bleiglanz, Zink, wirken, der Erfahrung nach, am stärksten thermo=elektrisch (thermo=magnetisch). Seebeck hat in dieser Hinsicht die Metalle nach ihrer verschiedenen Natur in eine bestimmte Reihe, die thermo=elektrische Spannungsreihe, zusammengestellt, in welcher sie so auf einander folgen, daß jedes Metall, mit einem ihm vorstehenden Metalle zu einer thermo=elektrischen Kette verbunden, die Nordspitze der im Innern derselben schwebenden Magnetnadel nach Osten, mit einem ihm nachstehenden verbunden, hingegen nach Westen ablenkt. Sie ist folgende: Wismuth, Nickel, Neusilber (Pactong), Kobalt, Palladium, Platin (reines), Uran, Kupfer (reines), Mangan, Titan, Messing, Gold (reines), Quecksilber, Blei,

Zinn, Chrom, Molybdän, Rhodium, Iridium, Silber, Zink, Wolfram, Cadmium, Stahl, Eisen (reines), Arsenik, Tellur, Antimon *). Wismuth und Antimon bilden, wie man sieht, die Endglieder dieser Reihe; jenes ist nach Seebeck das östliche oder negative, dieses das westliche oder positive Endglied der Reihe. Je weiter die zu einer Kette bestimmten Metalle in dieser Reihe von einander absteigen, desto stärker ist, bei gleicher Temperatur-Differenz, der in ihnen (durch stellenweise Erwärmung oder Erkältung) erzeugte elektrische Strom, und somit ihre Wirkung auf die Magnethadel. Daher geben Wismuth und Antimon, als die äußersten Glieder der Spannungsreihe, die stärkste thermo-elektrische Kette, in der also die Nadel am weitesten abgelenkt wird. Eine Kette von diesen beiden Metallen äußert, schon bei Erwärmung einer Berührungsstelle mit der bloßen warmen Hand, thermo-magnetische Wirkungen, wenn sie vorher bis nahe auf den Eispunkt abgekühlt wird. Zu Ketten, die einer hohen Temperatur ausgesetzt werden sollen, wählt man Platin und Eisen, oder statt des erstern, der Wohlfeilheit wegen, Neusilber. — In der thermo-elektrischen Reihe folgen, wie man bei einer flüchtigen Vergleichung findet, die Metalle ganz anders auf einander, als in der hydro-elektrischen oder galvanischen, wo Zink und Blei die Endglieder abgeben, und zwischen diesen Blei, Zinn, Eisen, Wismuth, Arsenik, Kupfer, Antimon, Platin, Gold, Quecksilber, Silber und Braunstein, in der hier angeführten Ordnung sich an einander reihen. (§. 36.) In letzterer wird nämlich die Ordnung durch die chemische Natur der Metalle und ihr Verhalten zu dem flüssigen Leiter bestimmt; indem zwei Metalle im Kontakte um so mehr Electricität erregen und eine um so kräftigere galvanische Kette geben, je mehr sie in Hinsicht auf ihre Verwandtschaft zum Sauerstoffe oder auf ihre Drydiebarkeit im Ge-

*) Wenn die Metalle mit andern Metallen legirt oder überhaupt mit fremden Körpern verunreinigt sind, so wird dadurch auch ihre Stellung in der obigen Reihe verändert. Man glaubt deshalb in dem Thermo-Magnetismus ein Mittel zu besitzen, Metalle auf ihre Reinheit prüfen zu können. Dieses ist besonders für den Techniker, der mit Geräthschaften von Platin arbeitet, wichtig, welches Metall, wenn es rein ist, dem östlichen, und wenn es unrein, z. B. mit Arsenik vermischt ist, dem westlichen Ende der Spannungsreihe nahe steht.

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° , 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-Elektricität nicht nur die Magnet-Nadel richtet (S. 102.) und Rotationen wie durch Elektro-Magnetismus und Magnet-Elektricität 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° 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 Löhungsstelle der Säule mit einer Spirituslampe erhitzte, wich die Nadel sogleich noch weiter um 10° 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 abgespült und ins Tageslicht gelegt wurde, sich schwärzte, — ein deutliches Zeichen, daß an ihm Chlorsilber 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 Weingeistflamme 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, Munkce, 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 Funken 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^u dickem Kupferdraht, die um ein Hufeisen von weichem Eisen mit 1^u 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^u dicke Kupferdrähte mit Quecksilbernäpfschen 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, wozu die Säule gesetzt wird, befindliches Wasser (dem zur Erniedrigung der Temperatur noch Eisstückchen beigemischt sind) abgekühlt, und die obern Junktur 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 continuirlicher 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

Säule, wo die einen Löthstellen nahe bei einander liegen, in den Brennraum eines Hohlspiegels gebracht, und dieser den verschiedenen Wänden eines Zimmers zugekehrt: so zeigt die mit jener in Verbindung stehende Galvanometer-Nadel, von dem dadurch erregten thermo-electrischen Strome afficirt, genau die Verschiedenheit der strahlenden Wärme an, welche von den Wänden ausgestrahlt wird. Eben so wird die Nadel auch bewegt, wenn durch ein Linsenglas Wärme in die Convergenzstelle der einzelnen Ketten concentrirt wird. Eine aus Bismuth und Spiesglanz zusammengesetzte Säule diente den genannten Gelehrten auch zu Experimenten über die eigenthümliche Lebenswärme der Insekten. Andere Apparate zu dergleichen Wärmestrahlungsverfuchen sind in dem Repert. v. D. u. M. Bd. 1, S. 356. aufgeführt. Eine zwar weniger empfindliche Batterie, als eine aus Antimon und Bismuth gebildete, die aber leichter anzufertigen und zu einem Differential-Thermometer sehr gut brauchbar ist, giebt eine Combination von etwa 24 Paaren ganz dünnen und $1\frac{1}{2}$ " langen Stücken Platin- und Eisendraht, die der Länge nach an einander gelöthet und in der §. 106. gedachten Methode Votto's um ein Lineal gebogen werden. Da nämlich, bei manchen Versuchen dieser Art, der Eindruck einer sehr schnell vorübergehenden Wärmeerregung bestimmt werden soll: so kommt es weniger auf eine große Empfindlichkeit und auf eine weite Ablenkung der Galvanometer-Nadel, als vielmehr darauf an, daß in dem magnetischen Thermometer durch die Einwirkung der zu prüfenden Wärme schnell genug ein constanter Strom sich erzeuge, durch den auch die Nadel bald (und nicht erst nach langem Traversiren) in eine constante Ablenkung gebracht wird *) und daß nach Entfernung der Wärmequelle eben so schnell das magnetische Thermometer auf seine ursprüngliche Temperatur (zur Wärme-Indifferenz) und die Nadel in ihre Ruhelinie zurückkehre. Diesen

*) Bei sehr empfindlichen magnetischen Thermometern ist dieses nicht der Fall, und die Nadel nimmt bei diesen erst nach vielen Oscillationen eine stationäre Ablenkung an. Um dieses zu verhindern, ist vorgeschlagen worden, die Schwingungen der Nadel durch eine darunter angebrachte Kupferscheibe zu beeinträchtigen (§. 100.); allein es wird dadurch dem Uebelstande nur theilweise abgeholfen. Melloni suchte daher die Brauchbarkeit seines Instrumentes dadurch herzustellen, daß er den Grad der einfließenden Wärme nach dem Verhältniß der Größe des Bogens, um welchen die Nadel bei dem ersten Impuls abwich, zu dem, den sie bei der bleibenden Ablenkung machte, durch Rechnung bestimmte.

Vorthheil gewährt der eben beschriebene Apparat aus Platin- und Eisendraht. Gewöhnlich schon nach zwei Minuten nimmt die zu ihm gehörige Magnetnadel eine feste Stellung an, und eben so bald tritt sie, wenn der Wärmequell entfernt wird, auf 0 zurück; besonders, wenn die Entfernung des erstern nicht zu plötzlich, sondern allmählich erfolgt, und dadurch größere Schwingungen der Nadel vermieden werden. — Ein ebenso schätzbares Mittel bietet das Magneto-Thermometer zur Untersuchung der Temperatur an Orten dar, wohin unsere gewöhnlichen Thermometer nicht gebracht werden können, z. B. von dem Wasser in tiefen Brunnen und in der Tiefe des Meeres, von der Luft in Bergwerken und in andern Tiefen des Erdbodens. Eine einfache Kette aus einem Stück Eisen- und Kupferdraht, die mit ihren einen Enden zusammengelöthet und mit den andern Enden mit den Drahtenden eines Multiplikators innigst verbunden sind, ist dazu geeignet. Man senkt die Löthstelle derselben z. B. bis zu der zu untersuchenden Meeres-tiefe ein, während die Verbindungsstellen der Kette mit dem Multiplikator außerhalb durch künstlichen Frost abgekühlt werden — wo dann die Magnetnadel durch den Bogen ihrer Abweichung die Temperatur der untersuchten Stelle anzeigt. Becquerel hat durch diese Methode die Temperatur der See bis zu einer Tiefe von 1000 Fuß genau bestimmt. Peltier brauchte, um die Temperatur eines tiefen Brunnens zu untersuchen, eine thermoelektrische Kette, die aus einem 42 Meter langen Eisenz- und aus einem eben so langen Kupferdraht bestand. Die eine der Löthstellen ward in den Brunnen eingesenkt, die andere blieb in dem Zimmer des Beobachters, wo ein in die Kette eingeschalteter Multiplikator die Anzeige machte, welche Strömung die vorherrschende war. Die obere Löthstelle wurde in eine Flüssigkeit getaucht, und die Temperatur der letztern so lange gesteigert oder vermindert, bis die Nadel in dem Multiplikator auf 0 zu stehen kam, und dadurch das Zeichen gab, daß die Temperatur beider Löthstellen gleich war. Durch ein in die Flüssigkeit gehaltenes Thermometer erfuhr er dann den Grad der Temperatur des Brunnenwassers. Mit Hilfe einer ähnlichen Kette, deren eine Junktur sich über den Firsten seiner Wohnung befindet, erforscht derselbe Physiker die Temperatur der Atmosphäre in einer Höhe von 23 Meter über der Oberfläche der Erde, und knüpft an das Gelingen dieser Versuche selbst die Hoffnung, sie mittels eines

kleinen Aërostaten in noch weit größeren Höhen messen zu können. Wenn bei dem Messen der Temperatur von Wässern die Beobachtung nicht fehlerhaft werden soll; so darf eine Vorsichtsmaßregel nicht versäumt werden, die gegen die mögliche Einwirkung eines hydro-elektrischen Stromes gerichtet ist, welcher durch die ungleiche Wirkung der Flüssigkeit auf die verschiedenen Metalle erregt werden kann. Man hat dazu empfohlen, die Metalldrähte mit Ueberzügen von Theer oder Harz zu versehen. Da aber dergleichen Hüllen leicht schadhast werden können, so räth Peltier, die Metalldrähte lieber zu verzinnen, dadurch ihnen Homogenität zu geben und nur die zusammengelötheten Enden der Drähte bloß zu lassen, und diese selbst in Glasröhren hermetisch zu verschließen. —

Durch einen in der Form von den bisherigen Magneto-Thermometern abweichenden thermo-magnetischen Apparat sind von Dutrochet und Becquerel mittels subtiler Versuche auch sehr dankenswerthe Aufschlüsse in Bezug auf die selbstständige innere Lebenswärme der kaltblütigen Thiere und der Pflanzen-Organismen gegeben worden. Es hat dieser Apparat entweder die Form von Fig. 58. a, und besteht dann in zwei metallenen Nadeln **KE**, **KE**, wovon eine jede aus einem gleich langen Stück Eisens- und Kupferdraht durch Löthung (bei **e** und **d**) zusammengesetzt ist. Die freien Enden **a** und **b** der Eisendrähte sind mit einem bogenförmigen Eisendraht **A**, und die freien Enden **e** und **f** der Kupferdrähte mit den Endstücken eines Galvanometers von nur wenigen Windungen und mit Nobil'schen Magnetsnadeln in Verbindung. Die Löthstellen **c** und **d** werden bei dem Experimentiren in das Innere der Pflanzen, deren Temperatur-Differenz ermittelt werden soll, gebracht, indem man mit den Nadeln bis zu ihren Löthstellen dieselben von einer Seite zur andern durchsticht. Oder er hat besser, besonders bei seiner Anwendung auf thierische Organismen, die Form von Fig. 58. b, wo die Eisendrähte **EE** mit dem Eisendrahtbogen **A** ein Continuum ohne Löthung bilden, und an den freien Enden **c** und **d** des Drahtes jederseits ein gleich starker und langer Kupferdraht **K** und **K** angelöthet ist*), so daß folglich die Löthstellen der Nadeln

*) Zu feinen Experimenten ist die genaueste Uebereinstimmung in der Stärke und Länge der Metalldrähte, in den Nadeln und in der Art ihrer Löthung,

sich nicht in der Mitte, sondern an den Enden befinden. Diese stumpfspitzigen Löthstellen, welche fein genug seyn müssen, um leicht und ohne Zerstörung der Lebenshätigkeit der Organismen in diese eingestochen werden zu können — zu welchem Zwecke die an ihnen zusammenstoßenden verschiedenen Drähte ganz nahe an einander liegen, und fast parallel eine Strecke weit neben einander hinlaufen, nur durch eine Lackschicht getrennt (welche theils sie gegenseitig isoliren, theils eine etwaige Drydation und die Mitwirkung eines fremden elektro-chemischen Stromes verhüten soll) — werden beim Gebrauche des Apparates einige Linien tief in die Körper eingesenkt, deren Temperatur man mit einander vergleichen will; und dann die Enden e und f der Kupferdrähte mit dem Galvanometer in Verbindung gesetzt, in welchem das Nobili'sche Nadelpaar sodann die geringste Differenz der Temperatur der beiden Löthstellen nach der Größe des dadurch erzeugten elektrischen Stromes durch seine Abweichung anmeldet, und so auf indirektem Wege die Wärme mißt. Bei den Versuchen auf die Eigenwärme der Pflanzen wurden von Dutrochet Stengel von lebenden und von ebenso dicken, durch 5 Minuten langes Ein-tauchen in 50° C. heißes Wasser getödteten Pflanzen gewählt, welche ganz nahe bei einander, um die Einmischung einer Temperatur-Veränderung durch ungleiche Verdunstungskälte in dem todten und lebenden Pflanzen-Organismen entfernt zu halten, in einer Glasglocke standen, deren Luft durch von dem Boden derselben verdunstendes Wasser so mit Wasser gesättigt wurde, daß die Ausdünstung sowohl der todten als der lebenden Pflanze aufgehoben war. Die eine Löthspitze c des Apparates (Fig. 58. h) wurde in die noch vegetirende, die Spitze d in die getödtete Pflanze so tief eingeführt, daß die Löthstelle just sich in der Achse derselben befand — und als Resultat nach einer großen Zahl von Experimenten gewonnen, daß alle Vegetabilien

ein wesentliches Erforderniß. Man muß daher dieselben vor ihrer Anwendung darauf prüfen; was nach Dutrochet so geschieht, daß man die beiden Spitzen der Löthstellen gleich tief neben einander in ein mit Del gefülltes Gefäß taucht, das man ein wenig über die Temperatur der umgebenden Luft erwärmt hat. Sind die Nadeln in allen ihren Verhältnissen gleichstimmend, so behält die Nadel in dem Multiplikator ihre Ruhelage bei; ist dieses nicht der Fall, so weicht die Nadel nach der einen oder der andern Seite ab, und ist daher nicht brauchbar.

einen geringen Grad von ihnen eigner Lebenswärme besitzen, welche einem täglichen Parorysmus unterworfen ist, und des Tages über mehrere Mal steigt und fällt. Bei den Untersuchungen über die Eigenwärme im Innern kaltblütiger Thiere (z. B. der Insekten, Frösche, auf die besonders Becquerel vielen Fleiß verwendete) wurde, analog mit dem obigen Verfahren, die eine Löthspitze in den Körper (in das Abdomen) eines lebenden Thieres, die andere in den eines mit heißem Wasser getödteten von gleicher Art und Größe eingebracht, welche ebenfalls in einer mit Wasser gesättigten Luft enthaltenden Glasglocke, auf Stäbchen festgebunden, sich befanden, und dadurch der durch Verdunstung bewirkten Abkühlung entzogen waren. Als Resultat dieser Forschungen, für welche übrigens Becquerel noch keine Vollständigkeit vindicirt, ergab sich, daß auch den Thieren mit kaltem Blute eine die Temperatur des sie umgebenden Mediums übersteigende Lebenswärme eigen ist; aber auch diese in viel geringeren Graden, als bisher von andern Beobachtern, z. B. von Spallanzani, Berthold, Davy (die, um die kleine Kugel eines Thermometers in den Körper der zu untersuchenden Insekten bringen zu können, diese bedeutend verwunden mußten, und die Temperatur derselben daher nicht in ihrem natürlichen Zustande, sondern in dem schmerzhaften einer Verwundung untersuchten) bei Versuchen mittels des gewöhnlichen Thermometers ausgemittelt worden war. —

Um den Schmelzpunkt von Metallen, die nur bei sehr starker Hitze schmelzen, z. B. des Silbers, Goldes und Stahls, zu bestimmen, hat Pouillet ein magnetisches Pyrometer angepriesen, welches ein Flintenlauf mit zwei angelötheten Platindrähten ist, die mit einem Multiplikator aus 25 Windungen eines ganz schmalen und dünnen Kupferstreifens in Verbindung sind. Eine in diesem schwebende Magnemadel zeigt durch die Größe ihrer Ablenkung den Schmelzpunkt des zu prüfenden Metalles, wenn eine Löthstelle der Kette in dieses gebracht wird, in Graden eines gewöhnlichen Thermometers an *).

*) An eine andere nützliche Anwendung der thermo-elektrischen Kette, nämlich zur Prüfung der Metalle auf ihre Reinheit oder Vermischung mit andern Metallen, ist (§. 105. *) erinnert worden.

S. 108.

Gegenwirkung des Thermo = Magnetismus mit dem Galvanismus. Das thermo = magnetische Kreuz

Peltier's.

Durch das magnetische Thermometer wurde Peltier zu der Wahrnehmung geführt, daß der thermo = elektrische Strom auch einer eigenthümlichen Gegenwirkung mit dem hydro = elektrischen Strome unterworfen ist; indem die Lötstellen einer thermo = elektrischen Kette, wenn ein schwacher galvanischer Strom durch sie streicht, je nach der Richtung dieses Stromes erwärmt oder abgekühlt werden. Erwärmt wird die Lötstelle durch denjenigen Strom, welcher sich entgegengesetzt zu dem thermo = elektrischen Strom verhält, welcher sonst durch Erwärmung der Lötstelle erregt worden seyn würde; abgekühlt dagegen durch denjenigen, der dem thermo = elektrischen Strome entgegengesetzt ist, welcher durch Erkältung der Lötstelle entstanden seyn würde. Die entstandene Temperatur = Differenz wird durch das magnetische Thermometer (S. 107.) gemessen, indem dasselbe mit seiner Lötungsstelle in die zu prüfende quer durchbohrte Stelle des thermo = magnetischen Bogens eingeschoben wird. Zur genauen Untersuchung solcher Temperatur = Veränderungen durch den galvanischen Strom eignet sich am besten Peltier's thermo = magnetisches Kreuz, welches aus zwei Streifen von ungleichartigen Metallen, z. B. Antimon und Wismuth, besteht, die in Form eines Kreuzes über einander gelegt, und an ihrer Durchkreuzungsstelle zusammengelötet sind. Zwei Enden dieses Kreuzes werden mit dem Strome einer galvanischen Kette, der so schwach sein muß, daß die Metalleitungen nicht erglühen können, in Verbindung gesetzt, so daß dieser folglich durch die Lötungsstelle geht. Es entspringt daraus eine Erwärmung oder Abkühlung in dieser, welche an dem Galvanometer deutlich wahrnehmbar wird, wenn man bald, nachdem der galvanische Strom unterbrochen wurde, dieses mit den beiden andern Enden des Kreuzes in Berührung bringt. Weiter verfolgt sind Peltier's Untersuchungen von Moser in dem Repertorium, Bd. 1. S. 349. u. flg. Höchst interessant ist unter anderm das Verfahren, welches derselbe in Bezug auf die erwärmende und erkältende Kraft des durch die Becquerel'sche Kette (S. 36.) erregten galvanischen Stromes, auf die Lötstelle des Peltier'schen Kreuzes, anem-

pfiehlt. Man bedient sich dabei, um die Versuche öfters wiederholen zu können, einer Becquerel'schen Kette nach einem größern Maasstabe, als die in §. 76. angegebene. Der äußere Behälter besteht nämlich aus einer mit ihrer Oeffnung aufwärts gestellten Glasglocke, welche 10 Zoll hoch und $4\frac{1}{4}$ Zoll weit, und deren Boden mit feinem Thon bedeckt ist. In diesen wird ein an beiden Enden offener Glaszylinder, der 8 Zoll Höhe und $3\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser hat, fest eingedrückt, und hierauf in denselben eine starke Lösung von Aetzkali gegossen. Die Glocke selbst wird mit concentrirter Salpetersäure gefüllt. In jede der beiden Flüssigkeiten ist eine Platinplatte von 6—7 □ Zoll Fläche, an die ein Platindraht angelöthet ist, eingetaucht. Moser fand, als er die Platte im Aetzkali mit dem Wismuthstreifen, und die in der Säure mit dem Antimonstreifen des Kreuzes eine Minute lang in leitende Verbindung gesetzt, hierauf die Verbindung wieder aufgehoben und das Kreuz anderseits mit dem Galvanometer geschlossen hatte, daß die Nadel des letztern um $+9^\circ$ abwich und durch ihre Bewegung eine Erwärmung zeigte. Als er das Verfahren umkehrte, und die Platinplatte im Aetzkali mit dem Antimon und die andere in der Säure mit dem Wismuth verband, zeigte die Nadel in dem Multiplikator nach Verlauf einer Minute eine Erkaltung an, und wich um -6° aus ihrer Lage. — Von Lenz ist die Kälteerzeugung durch den galvanischen Strom an Peltier's Kreuze selbst bis zur Eisbildung gesteigert worden. —

§. 109.

Thermo=elektrische Ströme in einem einzigen Metalle. Thermo=elektrische Ringe und Stangen. Thermo=Electricität in einzelnen, **dehnbaren**, Metallen. **Becquerel's** Ansicht über die Entstehungsart der thermo=elektrischen Erregung. Wirkung der einfachen Thermo=ette auf das Elektrometer.

Nach Seebeck lassen sich selbst in einem einzigen Metalle durch ungleiche Erwärmung elektrische Ströme erwecken, welche sich wenigstens durch ihre Wirkung auf die Compagnadel darthun — und zwar wiederum am leichtesten in solchen Metallen, in deren Textur stellenweise Ungleichheiten zugegen sind, die der gleichmäßigen Fortbewegung des Wärmestoffs ein Hinderniß setzen, wie dieß z. B.

in dem Wismuth, Antimon und Zink der Fall ist, welche, wenn sie geschmolzen werden, beim Erstarren an manchen Stellen schneller erkalten als an andern, und dadurch zum Theil (sternförmig) krystallinisch werden, während die Theile, welche schneller abgekühlt werden, eine dichte und feinkörnige Masse bilden. Doch ist bei Magneto- motoren von nur Einem Metalle zu Erregung elektrischer Ströme ein höherer Grad von Ungleichheit in ihrer Temperatur erforderlich, als bei Erregern von zwei Metallen. Seebeck goß sich $\frac{1}{2}$ Zoll dicke und 5 bis 6 Zoll weite Ringe von Wismuth und Antimon, und fand, daß diese bei stellenweiser Erwärmung an manchen Stellen eine starke magnetische Polarisation, an andern Stellen dagegen gar keine oder nur eine sehr schwache zeigten. Diese magnetischen und magnetisch-indifferenten Stellen ließen sich aber nicht voraus bestimmen, sondern mußten durch Versuche ausgemittelt werden. In einem Ringe von Antimon (Fig. 59^a.) trat die magnetische Polarität im Maximo an dem Punkte **E** (dem Eingusspunkte des Ringes) oder **D** auf, wenn der eine oder der andere dieser Punkte einzeln durch eine schmale Weingeistlampe erhitzt wurde; an zwei andern Punkten **e** und **d** dagegen fehlte bei ihrer einzelnen Erhitzung dieselbe ganz oder zeigte sich im Minimo. Wurden die Punkte **E** und **D** gleichzeitig und gleich stark erwärmt, so wurde gar keine Spur von magnetischer Polarität bemerkt. Einzeln erwärmte Punkte zwischen **E** und **D** gaben sich um so stärker oder um so schwächer polarisch, je näher sie entweder **E** und **D** oder **e** und **d** lagen. Die Entstehung des Magnetismus wird in dem scheinbar homogenen Metalle offenbar durch die Ungleichheit seiner Textur befördert, die es beim Festwerden durch ungleiche Abkühlung erlangt hat, und vermöge welcher der Ring als aus zwei ungleichartigen Hälften bestehend zu betrachten ist, wovon die eine **EeD** ein westliches, die andere **Edd** ein östliches Metall aus der thermo-elektrischen Reihe vorstellt. (S. 105.) Bei einem zweiten Ringe, den Seebeck aus demselben Metalle goß, hatten die zwei Punkte der größten Polarität und der elektrischen Indifferenz eine ganz andere Lage unter einander und gegen den Eingusspunkt des Ringes. In einem aus Wismuth gegossenen Ringe (Fig. 59^b.) lagen die Punkte der stärksten Polarität sich diametral gegenüber in **E** und **D**, in gleichem Abstände von dem Eingusspunkte des Ringes, der in **a** war, und die Indifferenzpunkte in **e** und **d**.

Es verhielten sich dann die gleichen Hälften **EeD** und **Edd** durch die Verschiedenheit in ihrem krystallinischen Gefüge als westliches und östliches oder als positives und negatives Metall zu einander. — Ähnliche Resultate geben einfache Cylinder und prismatische Stangen von krystallinischem Gewebe. Erhitzt man z. B. eine 6 bis 8" lange und $\frac{1}{2}$ bis 1" starke aus Wismuth gegossene vieredrige Stange, die man unter oder über einer empfindlichen Magnetnadel in die magnetische Mittagslinie gestellt hat, durch die Flamme einer Weingeistlampe an irgend einem ihrer Enden: so wird man, wenn die Stange langsam um ihre Achse gedreht wird, finden, daß die Nadel, sobald ihr eine Kante der Stange zugekehrt ist, aus ihrer Richtung abgelenkt wird, daß sie aber bei der nächsten Kante ruhig bleibt, dann bei der dritten wieder sollicitirt wird, indem sie nach der andern Seite abweicht, und bei der vierten abermals sich ruhig verhält — woraus hervorgeht, daß die Stange durch die Erwärmung magnetisch geworden ist, und sich an zwei diametral entgegengesetzten Kanten die entgegengesetzte Polarität gebildet hat, während die zwei dazwischen liegenden indifferent geblieben sind. Wiederholt man den Versuch mit einer cylindrischen Stange von demselben Metalle: so zeigen sich bei der Umdrehung derselben ebenfalls mehrere von Electricität durchströmte Stellen, welche die Magnetnadel richten, und von denen je zwei immer eine indifferent sich verhaltende zwischen sich haben. Schweigg. Journ. Bd. 37. S. 21.

Daß selbst einzelne, **dehnfame** Metalle, die dem Anscheine nach einer besondern krystallinischen Textur erbrechen, wie z. B. Kupfer, Eisen, durch Temperatur = Veränderung elektrisch werden können, vermuthete man schon früher aus der Wirkung erhitzter Metalle auf den Condensator. Hält man das eine Ende eines zugespitzten Eisendrahtes, den man, um ihn isolirt fassen zu können, vorher in der Mitte mit Siegellack überzogen oder mit Seide umwunden hat, in eine Lichtflamme, während das andere Ende desselben mit dem auf seiner Basis ausliegenden Collector eines gewöhnlichen Condensators in Berührung ist: so zeigt sich, wenn nach Verlauf von einigen Sekunden der Draht isolirt entfernt und der Collector aufgehoben wird, an einem mit ihm verbundenen Electroscopie Electricität frei, die jener von dem durch die Erwärmung elektrisirten Drahte empfangen hatte. Eben so giebt sich auch ein

kleines isolirt stehendes Feuerbecken, in das man lebhaft glühende Kohlen geworfen hat, an dem Condensator nach einigen Minuten elektrisch. Indessen ist wahrscheinlicher die Quelle der Electricität in diesen Fällen eine chemische, und durch den Verbrennungsproceß angefaßt. (S. 22.) Wissenschaftlich aufgefaßt und magnetomotorisch nachgewiesen wurde die Thermo-Electricität einfacher dehnbaren Metalle, mit Bestimmtheit und durch überzeugende Versuche, erst durch v. Yelin, der zu diesem Zwecke einen dicken Kupferdraht in ein Viereck, wie Fig. 60., zusammenbog und das Ende **D** desselben bei **C** durch Niete auf das Innigste verband (und, um die etwaige Einwirkung eines zweiten Metalles zu umgehen, absichtlich nicht zusammen löthete). Wenn das hervorragende Ende **A** des Drahtes durch die schmale Flamme einer Spirituslampe erhitzt, und die Stelle **B** zu gleicher Zeit mit Eis abgekühlt wird, so wird sogleich eine im Innern des Drahtbogens schwebende Magnetnadel unruhig und weicht aus ihrer Richtung. Will man die thermo-magnetischen Erscheinungen an einem dehnbaren Metalle mit Beihülfe eines Multiplikators sich vergegenwärtigen: so darf man nur das eine von Seide entblößte Ende eines aus nicht zu vielen (S. 103.) Windungen bestehenden Multiplikators von dickem Kupfer-, Platin- oder Silberdrahte bis zum Glühen erhitzen, und dasselbe mit dem andern Ende entweder durch genaues Andrücken oder dadurch, daß man es mit ihm zusammen haft, in genaue Berührung bringen, wo alsbald ein elektrischer Strom in dem Multiplikator eintreten wird, der von dem heißen zu dem kalten Ende, also mit der Wärme, geht und der in den Multiplikator gestellten Magnetnadel seiner Richtung nach einen Ausschlag ertheilt. Ist der Multiplikator-Draht nicht dick genug, so bleibt die Erscheinung manchmal aus, wo man sich dann, nach Becquerel's Vorschlag, dadurch hilft, daß man, um die Metallmasse zu concentriren, die beiden von Seide bloßen Endstücken in eine dichte Spirale aufrollt und, um die Berührungspunkte zugleich zu vermehren, die eine Spirale in die andere einwindet. Die Erhitzung muß dann an einem Ende der Spirale angebracht werden *).

*) Selbst an einem ganz gewöhnlichen Multiplikator von 100 Windungen feinen Kupferdrahtes, der nach Fig. 22. eingerichtet war und dessen Drahtenden eine kurze Spirale von wenigen Windungen bildeten, wurde von mir noch eine Ablenkung der (nicht astatischen) Nadel von 3 bis 5°

Werden die Drahtenden des Multiplikators zusammen gelöhnet, oder bringt man die Wärmequelle zu weit von dem Berührungspunkte der beiden Drahtenden an, so bleibt die Magnetnadel ebenfalls in Ruhe, zum Beweise, daß kein elektrischer Strom eingetreten ist; bringt man aber mit dem Drahte in der Nähe der Erhitzungsstelle ein größeres kaltes Stück desselben Metalles in Berührung, so thut sich sogleich die Erregung eines elektrischen Stromes durch die Traversirung der Nadel kund. Eben so bleibt ein Stück Platindraht, dessen Enden man mit den Drähten eines Galvanometers verbindet, elektrisch-indifferent, wenn man es an einer Stelle erhitzt; es macht sich dagegen sogleich ein thermo-elektrischer Strom in ihm durch die Bewegung der Nadel bemerklich, wenn man einen Knoten in den Draht schlingt und in dessen Nähe ihn erhitzt. Bei ähnlichen Manipulationen entquellen auch andern homogenen Metallen thermo-elektrische Ströme, wenn man zwei Stücke derselben von gleicher Beschaffenheit in Form von kleinen Scheiben, Platten oder von Drähten, mit den Endstücken des Multiplikators in Verbindung bringt, und dann die eine Platte oder das eine Drahtstück, nachdem man es stark erhitzt hat, an das andere kalt gebliebene andrückt. Indessen macht sich in allen diesen Fällen der elektrische Strom nur für einen Augenblick in seiner ganzen Stärke auf das Galvanometer bemerkbar, indem sich die Wärme-Differenz in den beiden Metallen durch die Berührung sehr schnell ausgleicht. — Becquerel schöpfte aus diesen und ähnlichen Thatsachen einen Hauptbeweis dafür, daß es bei Erregung des Thermo-Magnetismus nächst der Erhitzung hauptsächlich darauf ankommt, daß der Wärmestoff auf beiden Seiten der erhitzten Stelle nicht gleichmäßig, sondern nach der einen Seite schneller als nach der andern fortgepflanzt wird. So wird ein Eisendraht, den man vorher an irgend einer Stelle bis zum Rothglühen erhitzt hat, wenn er nach dem Erkalten nahe bei der ausgeglühten Stelle mit der Flamme einer Spirituslampe erhitzt wird, thermo-elektrisch, und richtet, mit einem empfindlichen Galvanometer in Verbindung, die Nadel in die-

beobachtet. Waren die Drahtenden nur hakenförmig umgebogen, so wurde die Nadel wenigstens unruhig, wenn das eine erhitzte in das andere kalt gelassene Ende eingehakt wurde.

sem; weil die ausgeglühte Stelle durch die starke Hitze eine Veränderung in ihrem Gefüge oder in der Art ihres Zusammenhanges erlitten hat, durch welche die gleichmäßige Fortleitung der nachher hier einwirkenden Wärme nach entgegengesetzten Seiten verhindert wird. Selbst durch eine kleine Verschiedenheit in der Härte oder Politur eines Metalles, wird die zur Erregung eines thermo-elektrischen Stromes erforderliche Bedingung ungleichmäßiger Fortbewegung der Wärme erfüllt. Ein hufeisenförmiges Stück Eisen z. B. wird thermo-elektrisch, wenn der eine Schenkel gehärtet, der andere Schenkel weich angelassen und die Mitte seines Bogens erhitzt wird. Das Gleichgewicht der beiden natürlichen Elektricitäten wird bei der Einwirkung der Wärme in den Metallen aufgehoben und jene von einander getrennt (S. 13), wo dann die positive Elektricität auf die kältere Stelle des Metalles zu — die negative von ihr wegströmt. Ginge nach beiden Seiten die Bewegung des Wärmestoffs mit derselben Schnelligkeit, so würden elektrische Ströme gleicher Art in entgegengesetzter Richtung auftreten, welche sich bei ihrem Begegnen einander aufheben und daher ohne Wirkung bleiben. Wird aber die Wärme auf beiden Seiten der erhitzten Stelle ungleichmäßig fortgeleitet, so wird auch der elektrische Strom an einer Seite lebhafter als an der andern, und tritt sodann mit dem Ueberschusse seiner Inten-
sität über die des entgegengesetzten Stromes thätig auf, lenkt die Galvanometer-Nadel ab u. s. w. Zur Erregung dieses Vorganges ist nicht die Fortbewegung des Wärmestoffs durch die ganze Länge des Metalles erforderlich, sondern schon ausreichend, wenn durch die Wärme die Zerlegung der beiden Elektricitäten nur an Einer Stelle angeregt wird, indem diese dann auf die übrige Masse des Metalles sich von selbst weiter fortsetzt.

Becquerel bestimmte den thermo-elektrischen Strom eines homogenen Metalles, des Platins, mit Hülfe des Multiplikations-Princips und des Condensators selbst zur Wirkung auf das gewöhnliche Elektrometer. Er steckte einen Draht von diesem Metalle in eine Glasröhre, deren anderes Ende zugeschmolzen war, so daß der Draht aus der offenen Mündung der Röhre etwas hervorragte. Das zugeschmolzene Ende der Röhre wurde mit einem Platinsaden spiralförmig umwunden, der mit der Erde in leitender Verbindung war, und das hervorstehende Ende des in der Glasröhre eingeschlosse-

nen Drahtes mit der Condensatorplatte eines condensirenden (Ben-net'schen) Elektrometers, welche er vorher (um die Erregung einer Kontakts-Elektricität, durch die Berührung der beiden heterogenen Metalle, außer Spiel zu bringen) mit einer gut leitenden Scheibe von feuchtem Papier belegt hatte, in Berührung gebracht. Als er hierauf die Spirale nebst dem von ihr eingeschlossenen Theile der Glasröhre bis zum Rothglühen erhitzte, zeigte sich die Kollektorplatte mit einem Ueberschusse von positiver Elektricität geladen. Das glühende Glas wirkt hier als guter Leiter, und führt den durch Erhitzung der Spirale erregten und in gleicher Richtung mit der Wärme sich bewegenden elektrischen Strom dem innern Drahte, und durch diesen dem Condensator zu, während der schwächere negative Strom in den Erdboden abgeführt wird.

Am deutlichsten tritt, wie bei einer zweigliedrigen Kette (S. 103.), auch bei einem Magnetomotor von nur Einem Metalle die magnetische Kraft dann hervor, wenn man während der Erhitzung einer Stelle die entgegengesetzte zugleich erkaltet. Wird z. B. eine prismatische Wismuthstange von der Art, wie oben beschrieben wurde, zur Hälfte ihrer Länge nach erhitzt, und gleichzeitig an der andern Hälfte bis zur Mitte in Eis oder durch Beroöpfeln mit Naphtha (durch Verdunstungskälte) abgekühlt: so wird sie zu einem starken Transversal-Magnet, und lenkt den Nordpol einer unter ihr befindlichen Magnetnadel an ihrem warmen Ende nach Osten, an ihrem kalten nach Westen ab. Erhitzt man die Mitte der Stange und kühlt die Enden ab, so wird sie gleichfalls transversal polarisch; und zwar so, als wenn zwei Stangen an einander gelegt worden wären, deren Enden man erhitzt hat. —

Yelin ordnete die Metalle hinsichtlich der Stärke, mit welcher sie, zu einfachen Magnetomotoren verwendet, durch Temperatur-Ungleichheit elektrisch werden, in folgende Reihe: Wismuth (das wirksamste), Antimon, Zink, Silber, Platin, Kupfer, Messing, Gold, Zinn, Blei (das schwächste). In Rücksicht auf die Richtung des in ihnen erzeugten elektrischen Stromes zerfallen sie nach Nobili und Emmet in zwei Gruppen: bei der einen, zu welcher (nach Nobili) Wismuth, Platin, Gold, Silber, Zinn, Messing, Blei, Kupfer gehören, geht der (positive) Strom von der warmen zu der kalten Stelle, also mit der Wärme;

bei der andern, zu welcher Zink, Eisen und Antimon gezählt werden, umgekehrt von der kalten nach der warmen Stelle, also der Wärme entgegen. Nach Emmet bilden die eine Gruppe: Platin, Gold, Silber, Kupfer und Nickel; die andere: Zinn, Blei, Zink, Eisen, Messing, Arsenik, Antimon und Wismuth.

§. 110.

Thermo-Elektricität krystallisirter Fossilien (elektrischer Nichtleiter). Krystall-Elektricität.

Die erste Beobachtung einer durch Temperatur-Veränderung erzeugten elektrischen Erregung machte man an einem schlechten Leiter der Elektricität, nämlich an dem Turmalin (Stangenschörl, Zeylonschen Magnet), einem halbdurchsichtigen, dunkelrothen, in der Gestalt eines 9flächigen Prisma (das an einem Ende mit sechs, an dem andern mit drei Flächen zugespitzt ist) krystallisirten, glasartigen und sehr harten Steine von der Größe (höchstens) einer welschen Nuß, der früher in verschiedenen Gegenden Ostindiens, namentlich auf der Insel Zeylon, später aber auch in Grönland und Tyrol gefunden wurde. Bei seiner gewöhnlichen Temperatur zeigt dieser Krystall nicht die mindeste Spur von freier Elektricität, und läßt sich auf die gewöhnliche Art durch Reiben, gleich einem andern Glase (§. 3.), elektrisch machen. Sobald aber seine Temperatur erhöht oder vermindert wird, nimmt er auf eine ganz eigenthümliche Art Elektricität an, welche sich indessen von der Thermo-Elektricität in guten Elektricitäts-Leitern wesentlich und dadurch unterscheidet, daß sie, weil in Folge des schlechten Leitvermögens des Steines die Trennung der Elektricitäten nur sehr langsam erfolgt (§. 4.), nicht durch elektrische Ströme, welche auf die Magnetnadel wirken, sich äußert, sondern vielmehr durch eine elektrischpolare Spannung sich individualisirt, welche durch elektrisches Anziehen und Abstoßen, folglich auch durch Wirkungen auf das Elektrometer, sich bekundet. Wird nämlich der Stein erwärmt z. B. dadurch, daß man ihn, in seiner Mitte mit einer Pinzette gehalten, einige Minuten lang in siedendes Wasser taucht: so zeigt er sich, nach dem Herausnehmen, stark elektrisch, aber nicht an seiner ganzen Oberfläche, sondern, einem Magnete ähnlich, nur an zwei einander entgegengesetzten Punkten, die in den beiden Endspitzen seiner Längsachse liegen, so

daß die von sechs Flächen gebildete — E, die von drei Flächen gebildete + E bekommt, und in der Mitte des Steines eine Stelle übrig bleibt, wo gar keine Electricität vorhanden ist oder elektrische Indifferenz herrscht. Man nennt diese beiden elektrischen Punkte, welche mit der Krystallisationsachse in gerader Linie liegen, elektrische Pole. Bringt man diese Pole mit einem empfindlichen Elektroskop oder mit einem, durch eine bekannte Electricitäts-Art geladenen isolirt hängenden Kügelchen in Berührung, so läßt sich das entgegengesetzte elektrische Verhalten derselben genau beobachten. Er man prüfte es, indem er den Krystall mit seinen äußersten Enden auf zwei feine Goldblatt-Elektrometer legte, und Sonnenstrahlen durch ein Brennglas auf seine Mitte fallen ließ. Die Elektrometer divergirten in gleicher Stärke mit entgegengesetzter Electricität. Dr. Hantel (*Dissertatio de thermo-electricitate crystallorum. Hal. 1839*) empfiehlt dazu den Bohnenbergerischen Elektrophanten. Er legt den Krystall vor sich auf einen kleinen Messingtisch, der durch eine unter seinem Mittelpunkte stehende Lampe erhitzt wird, und berührt die elektrischen Punkte mit dem durch eine Glasröhre hinlänglich isolirten Ende eines langen dünnen Drahtes, der mit seinem andern Ende an dem Stifte befestigt ist, von welchem das Goldblättchen in dem Elektrophanten herabhängt. Oft ist nur eine kleine Temperatur-Erhöhung nöthig, um eine Anhäufung der entgegengesetzten Electricitäten an den Polen zu erstreben. So wird der Stein z. B. elektrisch, wenn er nur auf heiße Asche gelegt wird, wo er diese anzieht und an seinen Polen ansammelt. Er hat hiervon den Namen Aschenzieher (*Turnamal*) erhalten. Die durch Erwärmung in ihm erzeugte elektrische Polarität dauert immer nur so lange, als er warm bleibt; wird er kühler, so verliert er sie allmählig, erlangt sie aber wieder, sobald er ganz kalt geworden ist; bis zum Eispunkte abgekühlt verliert er sie vom Neuen, erhält sie aber abermals, wenn er einem noch tiefern Kältegrade ausgesetzt wird, wobei sich seine Pole umkehren, indem der vorher positive Pol negativ und der vorher negative positiv elektrisch wird. Eben so verschwindet die durch Erwärmung in ihm erregte Electricität, wenn er über den Siedpunkt des Wassers (nach Andern schon, wenn er über + 50° oder + 30° R.) hinaus erhitzt wird; erlangt sie aber auf's Neue, wenn die Erhitzung noch weiter getrieben wird, wobei wieder, wie vorhin, seine Pole

wecheln. Wenn man daher die eine Spitze eines Turmalins erwärmt, während die andere abgekühlt wird, so bekommen beide eine und dieselbe Electricität. Wird ein erwärmter Turmalin in Stücke zerschnitten, so bekommt jedes einzelne Stück seinen eignen + und — Pol; eine Erscheinung, die bei demselben Verfahren auch am Magnete sich darbietet (S. 55). Zwei dergleichen polarische Stücke oder überhaupt zwei Turmaline ziehen sich auch, wie Magnete, mit ungleichnamigen Polen an, und stoßen sich mit den gleichnamigen ab. Wird dem Turmalin im Dunkeln Polarität gegeben, so strahlt er ein lebhaftes Licht aus, das an jedem Polende ein anderes Colorit hat. Er verliert seine Eigenschaft, durch Erwärmen elektrisch zu werden, selbst im gepülverten Zustande nicht. —

Außer dem Turmalin ist noch vielen andern krystallisirten Fossilien (Isolatoren der El.), besonders solchen, deren Achsen zu beiden Seiten nicht von symmetrischen Flächen begrenzt sind, und die also nicht zu dem gleichgliedrigen Systeme gerechnet werden, mehr oder minder (manchen sogar in noch höherem Grade) die Fähigkeit des Elektrischwerdens durch die Wärme eigen. Zu diesen gehören vorzüglich: der brasilianische und sibirische Topas, der krystallisirte Galmei (ein Zinkoryd), der Lüneburger Boracit (Borarspath), der Mesotyp, der Prehnit, der Sphen (Titanit), der Apatit, der Apinit, der Diamant, Amethyst, Smaragd und andere Edelsteine mehr *). In der Regel ist an ihnen, wie am Turmalin, dasjenige Achsenende bei der Abkühlung positiv elektrisch, welches von den meisten Flächen umgeben ist. Nach den Versuchen des Abtes Haüy zeigt der Boracit 8 Pole, wenn er erwärmt wird, 4 positive und 4 negative.

Man nennt die Electricität, welche sich an dem Turmalin und den übrigen krystallisirten Körpern des Mineralreichs (sogenannten thermo-electrischen Krystallen) nach ihrer Erwärmung oder Abkühlung äußert, zum Unterschiede von der auf gleiche Veranlassung

*) Nach Brewster zeigen nicht nur die genannten natürlichen Krystalle elektrische Polarität, sondern auch künstliche, aus Auflösungen dargestellte, z. B. essigsaures Blei, Eisenvitriol, Weinsäure, Zucker, und am stärksten Seignette-Salz (weinsäurehaltiges Kali-Natron). Zur Prüfung derselben ist die oben mitgetheilte von H ankel eingeschlagene Methode zu empfehlen.

in manchen Metallen (sogenannten thermo=elektrischen Metallen) hervorgebracht, sehr bezeichnend auch Krystall=Elektricität. — Annal. d. Ph. Bd. 78. St. 3. Schweigg. Journ. Bd. 13. S. 1. Hany über die Elektricität des Boracits, in Gren's Journ. d. Ph. Bd. 7. S. 87. Dove und Mos. Repertor. Bd. 2. Seite 81.

§. 111.

Elektricitäts=Erregung durch Erwärmung unkrystallinischer Nichtleiter der Elektricität.

Die Versuche hierüber stehen sehr vereinzelt da. Durch Munké wird (in Poggendorff's Annal. Bd. 20. S. 417.) dargethan, daß Glas durch geringe Veränderungen in seiner Temperatur, die kaum 2 bis 3° R. betragen (ohne alle Reibung, S. 3.), in den elektrischen Zustand kommt. Er führt an, daß ein leichter Wagebalken, der an einem torstonsfreien einfachen Seidenfaden in einem Glaszylinder aufgehängt ist, nach derjenigen Stelle des Glases, die von außen her erwärmt wird, sich hindreht, und schließt daraus, daß diese Stelle des Glaszylinders elektrisch geworden seyn müsse und auf den Wagebalken durch Anziehung wirke. Dieselbe Eigenschaft ist von ihm auch an Eise, Thon und Papper wahrgenommen worden. Von Lenz wird das Elektrischwerden des Glases durch den Wärmeeinfluß in Zweifel gezogen, und die von Munké erkannte Elektricität in obigem Versuche der durch die Wärme erzeugten Luftströmung zugeschrieben. Aus mehreren Versuchen, die er zur Prüfung der von Munké aufgestellten Behauptung anstellte, glaubt er den Schluß ziehen zu müssen, daß derselbe bei seinem Experimentiren nicht mit der erforderlichen Umsicht verfahren und manchen Nebenumstand unberücksichtigt gelassen habe. Den von Munké für die Thermo=Elektricität des Glases angeführten Grund „daß schon eine gewöhnliche Glasplatte, die auf einem warmen Ofen erwärmt wird, elektrisch werde und das Elektrometer bewege, eine frei schwebende Pflaumsfeder anziehe u. s. w.“ weist er ohne Weiteres mit dem Nichtgelingen dieses Versuches bei sorgfältiger Wiederholung desselben zurück, und räumt bedingungsweise nur so viel ein, daß vielleicht die Glasorte, deren sich Munké bei seinen Versuchen bedient hat, für thermo=elektrische Erregung mehr als anderes gestimmt

gewesen sey. Becquerel dagegen hatte schon früher Versuche an-
gestellt, welche für die Eigenschaft des Glases, durch Wärme
elektrisch erregt zu werden, zu sprechen scheinen. Er hing
unter andern eine 3 Zoll lange und $\frac{1}{2}$ Linie dicke Röhre von har-
tem Glase bei trockner Luft mittelst eines Coconsfadens in einem Glas-
cylinder auf. Die Röhre drehte sich jedesmal nach einer Seite des
Cylinders hin, wo eine durch Reiben elektrisirte Siegellackstange von
außen her diesem genähert wurde. Dove a. a. D. Bd. 2. S. 80. —
Weniger bezweifelt und sicherer nachzuweisen sind die elektrischen Er-
scheinungen, welche nach v. Yelin an erwärmtem Papiere be-
obachtet werden können. Breitet man über eine verhältnißmäßig
große Marmorplatte ein Blatt feines und erwärmtes Papier auf,
setzt auf dieses eine stark erwärmte aus trockenem Holze geschnittene,
etwa 4" große und $\frac{1}{4}$ " starke Scheibe, in deren Mitte man vorher
als Handhabe eine Stange Siegellack angeschmolzen hat, und läßt
diese auf dem Papier erkalten, während man sie mit einem Finger
gegen dieses drückt: so wird das Papier, nach Abhebung der Holz-
scheibe, sich am Bennet'schen Goldblatt-Elektrometer deutlich + elek-
trisch zeigen, und zwar bei gutem Gelingen des Versuches in
solcher Stärke, daß man mit dem zwischen den Fingern gehaltenen
Papiere das Elektrometer noch nach einigen Stunden zur Di-
vergenz bringen kann. Gilb. Annal. 1823. Bd. 75. S. 197.
v. Yelin, Versuche und Beobachtungen zur nähern Kenntniß der
Zambonischen trocknen Säule. München, 1820. 4. S. 9. Legt
man einen halben Bogen an einem Feuer wohl durchwärmtes Brief-
papier platt auf eine Schiefertafel, einen Tisch, oder am geeignetsten
auf ein stark erwärmtes Brett und reibt dasselbe, während man es an
einer der 4 Ecken mit der linken Hand fest hält, mit einem Stück
elastischen Harzes: so klebt sich das Papier an seine Unterlage
fest an, und man hört, wenn man es in paralleler Lage durch
Fassen an zwei Ecken aufzuheben bemüht ist, ein leises Knistern,
wie von einer geriebenen Glasstange. Ist das Papier von dem
Brette getrennt, so erhält man bei Annäherung des Knöchels eines
Fingers selbst einen kleinen (aber nur im Dunkeln sichtbaren) Fun-
ken. Glänzender und stärker (selbst bis zur Länge von $\frac{1}{2}$ bis 1")
wird dieser, wenn statt des einfachen Bogens zwei Blätter Brief-
papier, zwischen die in der Mitte ein Blättchen Schaumgold von

etwa $2\frac{1}{2}$ Seiten gelegt ist, zusammen geklebt und auf die gedachte Weise gerieben werden. Hat man vorher auf die obere Seite dieses so armirten Papiers von einer Ecke zu der nächsten andern mit Bleistift eine im Zickzack laufende Linie gezeichnet: so erhält man einen Funken in der Hand, wenn man das Papier an der einen Ecke aufzieht, und es zeigt sich die ganze Linie hell erleuchtet. Die Elektrizität, welche ein auf die obige Art erwärmtes und geriebenes Papier zeigt, ist, so lange es auf dem Brette anhängt, immer negativ; sobald es aufgehoben ist, aber positiv. Zwei Blätter Schreibpapier von gleicher Größe, warm auf einander gelegt und gerieben, hängen nicht an der Unterlage, aber unter einander fest zusammen; aus einander gezogen erweist sich das oberste +, das untere — elektrisch. — Nicht selten kommen durch Zufall ähnliche elektrische Erregungen in Fabriken vor. In der Patentpapierfabrik zu Berlin z. B., wird das über den erwärmten Metallcylinder hingleitende Papier so stark elektrisch, daß beständig knisternde Funken überspringen, und die zusammengelegten Bogen an einander haften. Repertor. 1842. Bd. 6. S. 293.
