

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 Elektricität in diesen Fällen eine chemische, und durch den Verbrennungsproceß angefaßt. (S. 22.) Wissenschaftlich aufgefaßt und magnetomotorisch nachgewiesen wurde die Thermo-Elektricität 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 schlägt 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 selbst 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