©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ueber Thermoelektricität

und die

neuesten Fortschritte auf diesem Gebiete.

Von

DR. VICTOR PIERRE,
k. k. Professor.

Vortrag, gehalten am 17. und 24. Jänner 1877.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Eine der merkwürdigsten, und wenn auch gegenwärtig nicht bis ins Detail vollständig klar durchschauten, dennoch durch die in neuerer Zeit allgemein angenommene Vorstellung von dem Wesen der Wärme unserem Verständnisse bedeutend näher gerückten Thatsachen ist die Erzeugung elektrischer Zustände durch die Wärme. Wie in manchen anderen Fällen, begegnen wir den ersten Spuren einer Kenntniss dieser Thatsachen schon im hohen Alterthume, aber diese Kenntniss beschränkt sich auf eine unvollkommen beobachtete und unklar geschilderte Erscheinung, so dass Alles, was wir bis zum heutigen Tage von dem Gegenstande wissen, das Resultat der Forschungen des gegenwärtigen und des vorangegangenen Jahrhundertes ist.

Die Erscheinungen, deren Besprechung ich mir zum Ziele gesetzt habe, zerfallen in zwei Gruppen, von denen die eine schon im vorigen Jahrhunderte die Physiker beschäftigte, während die zweite erst mit dem Beginne des zweiten Decenniums des laufenden Jahrhundertes bekannt wurde. Lange schien es, als würde kein Zusammenhang zwischen beiden Gruppen bestehen, bis es den neuesten Forschungen gelang, dennoch einen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

solchen zu finden. Wir wollen uns nun, dem geschichtlichen Gange der Entdeckungen folgend, zunächst der ersten Gruppe zuwenden. Es sind dies:

a) Die pyroelektrischen Erscheinungen.

Unter dem Namen Lyncurium (λυγκοῦριον) beschreibt der griechische Schriftsteller Theophrast in seinem Werke „Ueber die Steine" ein zu Siegelgemmen benütztes Mineral, welches die merkwürdige Eigenschaft besitzen sollte, ähnlich wie das Elektron (der Bernstein), andere Körper anzuziehen, u. zw. nicht bloss wie dieses nur Stroh- und Holzfasern, sondern selbst Kupfer und Eisen in fein zertheiltem Zustande. Der Umstand, dass Theophrast dieses Verhalten ausdrücklich mit jenem des Bernsteins vergleicht, und das Mineral selbst als durchsichtig, von tiefrother Farbe und so hart schildert, dass es schwer zu poliren sei, schliesst jede Wahrscheinlichkeit, dass das Lyncurium etwa mit dem Bernsteine identisch sein möchte, wie M. Geoffroy vermuthete, vollständig aus. Da aber Theophrast ausser einer fabelhaften Erzählung von der Entstehungsweise desselben, über die Art und Weise wie es die erwähnte Anziehungskraft erlange, ebensowenig wie die späteren Schriftsteller, die seiner Erwähnung thun, Dioscorides und Plinius, Näheres angibt, so war es endlich gegen das Ende des 17. Jahrhundertes bereits völlig in Vergessenheit gerathen. Um diese Zeit brachten die Holländer aus ihren ostindischen Besitzungen einen dunkelfarbigen Edelstein nach Europa, der in seiner Heimat „turnamal", von den

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Holländern aschentrikker, d. h. Aschenzieher, genannt wurde, weil er die Eigenschaft besass, in heisse Asche gelegt, die Aschentheilchen in ähnlicher Weise anzuziehen, wie ein Magnet Eisenfeilspäne anzieht. Wiewohl diese Erscheinung den Edelsteinhändlern schon lange bekannt war, wurde doch erst im Jahre 1717 die Aufmerksamkeit wissenschaftlicher Kreise auf sie gelenkt, indem im genannten Jahre Lemery das Mineral in der kön. Akademie der Wissenschaften zu Paris vorzeigte, wobei er übrigens nur erwähnte, dass es selten sei, aus Zeylon komme und leichte Körperchen, Asche u. dgl., anzuziehen vermöge. Er liess sich jedoch auf eine nähere Untersuchung dieser Anziehung nicht weiter ein, und bezeichnete das Mineral als zeylanischen Magnet, während Linné, die elektrische Natur des Phänomens ahnend, in der Vorrede zur Flora Zeylanica seiner bereits als „lapis electricus" erwähnte.

Das war Alles, was man bis dahin von dem merkwürdigen Dinge wusste, und es vergingen ein paar Decennien, ohne dass man sich um dasselbe weiter kümmerte.

Da erzählte im Jahre 1743 Graf Pinchetti, Secretär des Königs von Neapel, dem Duc de Noya, er habe während seines Aufenthaltes zu Konstantinopel daselbst einen Stein kennen gelernt, den man „turmalin" nannte, und der die Fähigkeit besass Asche anzuziehen und wieder abzustossen. Der Herzog hatte die Sache beinahe vergessen, als er zufällig in Holland bei einem Juweliere zwei der ihm von Pinchetti

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

beschriebenen Steine zu Gesichte bekam, dieselben sofort kaufte und in Gesellschaft von Daubenton und Adanson zahlreiche Versuche mit ihnen anstellte. Erst durch die Veröffentlichung dieser Versuche wurde das Mineral, durch welches man seiner Farbe und Härte wegen sogleich an das „Lyncurium" des Theophrast erinnert wurde, und dasselbe in ihm wieder erkannt zu haben meinte, unter dem Namen „Turmalin" in weiteren Kreisen bekannt und berühmt. Doch über die verwickelten, nicht selten einander widersprechenden Erscheinungen, welche es darbot, so wie über die eigentliche Natur derselben wurde noch lange keine volle Klarheit gewonnen. Letztere zu gewinnen gelang erst im Jahre 1756, also vor nur 120 Jahren, dem um die Fortschritte der Elektricitätslehre hochverdienten Forscher Aepinus, indem derselbe nicht nur die elektrische Natur der am Turmalin auftretenden Erscheinungen, sondern auch die Bedingungen, unter welchen sie auftreten, und die Gesetze ihres Verlaufes feststellte. Ihm folgten später Canton und Bergmann, von denen der Erstere die wichtige Entdeckung machte, dass nicht die Höhe der Temperatur, welcher der Turmalin ausgesetzt wird, an und für sich, sondern vielmehr die Aenderung der Temperatur (ihre Zu- und Abnahme während des Erhitzens und Abkühlens) den elektrischen Zustand des Minerales hervorrufe.

Durch diese Arbeiten wurde auf dem Gebiete der Elektricitätslehre ein neues Feld, das man als „Pyroelektricität" bezeichnete, der Cultur erschlossen,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ein Feld, welches durch die bis in unsere Tage reichenden Untersuchungen eines Brewster, Becquerel, Riess, Rose, Hankel, Gaugain u. m. A. reiche Ausbeute geliefert, und eine völlig neue Beziehung zwischen den Erscheinungen der Wärme und jenen der Elektricität zu Tage gefördert hat.

Zur Zeit, als man die in Rede stehenden Phänomene zuerst gewahrte und selbst während der zunächst folgenden Decennien musste jene Beziehung im hohen Grade dunkel und räthselhaft erscheinen, wenn man bedenkt, dass damals die Vorstellung von materiellen Agentien als Ursachen der Wärme, des Lichtes, der Elektricität und des Magnetismus eine allgemein herrschende war, und es wohl kaum begreifen liess, wie aus dem materiellen Wärmestoff elektrische Materie sich zu entwickeln vermöge.

Erst unserer Zeit blieb es vorbehalten, alle jene unwägbaren und unnachweisbaren Materien über Bord zu werfen, und Licht, Wärme, Elektricität und Magnetismus nur als verschiedene Bewegungszustände der Materie auffassend, in den Erscheinungen der Pyroelektricität so wie in den später noch zu besprechenden thermoelektrischen Erscheinungen nur die Umwandlung eines bestimmten Bewegungszustandes in eine andere Bewegungsform zu erkennen.

Anfänglich hatte man sich bei den Untersuchungen über Pyroelektricität ausschliesslich nur mit dem Turmalin beschäftigt, und wiewohl man bald zur Einsicht kam, dass die Eigenschaft, durch Temperatursver-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

änderungen elektrisch zu werden, auch noch anderen krystallisirten Mineralien zukomme, blieb jener doch immer sowohl wegen der Einfachheit als auch der relativ grösseren Intensität der an ihm wahrnehmbaren Erscheinungen gewissermassen das Prototyp des pyroelektrischen Verhaltens, welches nun näher skizzirt werden soll.

Der Turmalin, dessen Vorkommen nicht auf Ostindien beschränkt, sondern ein sehr verbreitetes ist, krystallisirt in dreiseitigen, meistens aber in unregelmässig neunseitigen Säulen mit rhomboedrischen Endflächen. Farbe und Durchsichtigkeit variiren ausserordentlich, und damit auch der Handelswerth des Minerales, nicht selten auch sein Name. Ausser ganz farblosen findet man rosafarbene, gelbe, grüne, blaue, braune Exemplare in allen Nuancen der Färbung und von allen Graden der Durchsichtigkeit bis zur völligen Undurchsichtigkeit. Nicht alle diese Varietäten sind indessen in gleichem Grade pyroelektrisch. Nach Einigen sollen die durchsichtigen blauen und grünen, nach Anderen die braunen die besten Resultate liefern. Jedenfalls zeigen unreine, undurchsichtige und dabei im Inneren stark zerklüftete Exemplare meistens nur mehr oder weniger deutliche Spuren von Elektricitätserregung.

Erwärmt man einen reinen und homogenen Turmalinkrystall auf passende Weise, so gerathen die Enden der Säule, gleichgiltig ob sie noch von den natürlichen Endflächen des Krystalles oder von Bruchflächen, ja selbst von künstlich angeschliffenen Endflächen begrenzt

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

sind, in entgegengesetzt elektrische Zustände, wobei stets ein bestimmtes, durch die Lage seiner Flächen gegen die Säulenkanten charakterisirtes Ende (Fig. 1. I) beim Steigen der Temperatur positiv elektrisch, und von Riess und Rose der analoge Pol genannt wird, während das zweite eine andere Lage der Endflächen darbietende, der antiloge Pol genannte Ende (Fig. 1, II) gleichzeitig negative Elektricität zeigt. Wird das erstere Ende erhitzt, das letztere abgekühlt, so werden beide Pole der Säule positiv elektrisch, ihre Mitte aber negativ elektrisch u. dgl. m. Die bei diesen Vorgängen entwickelte Elektricitätsmenge hängt nur von der Grösse der Temperatursänderung und nicht von der Zeit, in welcher diese Aenderung vor sich geht, ab, so dass eine Temperatursänderung von einem Grade immer dieselbe Elektricitätsmenge erzeugt, gleichgiltig ob sie in längerer oder kürzerer Zeit zu Stande gekommen ist. Lässt man einen erhitzten Turmalinkrystall wieder abkühlen, so verliert er allmälig seine elektrische Polarität, geht aber sofort beim weiteren Sinken der Temperatur in einen

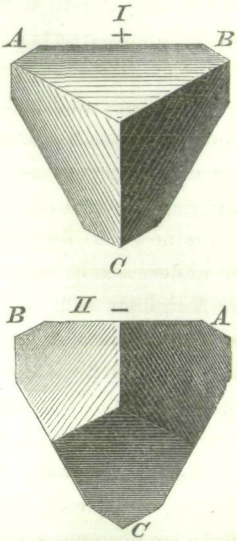

Fig. 1.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

seinem früheren entgegengesetzt polaren Zustand über; jenes Säulenende, welches bei steigender Temperatur positiv elektrisch wird, nimmt bei sinkender Temperatur den negativen Zustand an, und umgekehrt.

Aus diesem entgegengesetzten Verhalten während des Erhitzens und Abkühlens erklären sich manche der von den älteren Experimentatoren beobachteten Anomalien und Widersprüche. Denn es ist klar, dass bei einer ungleichmässigen Aenderung der Temperatur, z. B. wenn sich eine Seite des Krystalls noch erwärmt, während die andere schon im Abkühlen begriffen ist, die erwähnten Vorgänge sich mannigfach compliciren können, so dass man entweder gar keine oder doch nur ganz anomale elektrische Zustände der Säulenpole wahrnimmt. Stellt man die Versuche in einem dunklen Raume an, so gewahrt man bei kräftig elektrischen Turmalinen an den Polen die für die beiden Elektricitäten charakteristischen Lichterscheinungen, ja Aepinus will sogar das Ueberspringen schwacher Funken beobachtet haben, als er im Dunklen den Fingerknöchel einem Säulenende näherte.

Die Mengen der entgegengesetzten Elektricitäten, welche an den Polen des Turmalin gleichzeitig auftreten, sind, wie schon Bergmann durch einen einfachen Versuch nachgewiesen hatte, von gleicher Grösse, so dass sie sich durch ihre Wiedervereinigung vollständig zu neutralisiren vermögen, wodurch es erklärlich wird, dass ein durch Erhitzen elektrisch polar gewordener Turmalin beim Erkalten eine kurze Zeit lang ganz un-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

elektrisch erscheint, und erst dann allmälig wieder eine der früheren entgegengesetzte Polarität annimmt.

Die Polarität eines in den elektrischen Zustand versetzten Turmalinkrystalles ist jedoch wesentlich verschieden von jener, welche jeder isolirte Elektricitätsleiter unter dem Einflusse eines in seine Nähe gebrachten elektrischen Körpers annimmt, und als Elektrisirung durch Influenz bekannt ist; denn zerbricht man einen Turmalinkrystall, der an dem einen Ende positiv, an dem anderen negativ, in der Mitte aber ganz unelektrisch ist, in zwei Hälften, so ist nicht etwa das eine Bruchstück nur positiv, das andere nur negativ elektrisch, sondern jedes von ihnen besitzt wieder zwei elektrische Pole, indem sich an den Bruchflächen zwei neue entgegengesetzte Pole bilden. Fügt man dieselben wieder genau an einander, so verschwinden die neu entstandenen und bleiben nur die zwei ursprünglichen entgegengesetzten Pole an den Enden der Säule übrig. Dasselbe Phänomen wiederholt sich bei weiter fortgesetzter Theilung an jedem der erhaltenen Bruchstücke, ja es geht dies so weit, dass selbst die kleinsten Theilchen, die man durch Pulverisiren eines heissen Turmalin erhält, solche entgegengesetzt elektrische Pole besitzen und in Folge dessen sich gegenseitig anziehen, wodurch das Pulver, trotzdem es vollkommen trocken ist, das Aussehen bekömmt, als ob es mit Oel oder einer ähnlichen klebrigen Flüssigkeit befeuchtet worden wäre. Dieselbe Wahrnehmung macht man auch, wenn kaltes Turmalinpulver auf einer Metallplatte erhitzt wird. In-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

soferne bietet die elektrische Polarität des Turmalin eine auffallende Aehnlichkeit mit jener eines Magnetstabes dar, eine Aehnlichkeit, welche den früheren Beobachtern auch nicht entgangen ist. Richtiger jedoch ist der Vergleich mit einer zusammengesetzten Volta'schen Kette oder galvanischen Säule. In der That hat Gaugain in neuerer Zeit durch eine Reihe zahlreicher und interessanter Versuche, ausser Zweifel gestellt, dass ein Turmalinkrystall während jeder Veränderung seiner Temperatur allen Gesetzen folgt, die für jene Säulen gelten, und so wie diese einen continuirlichen elektrischen Strom liefert, wenn man die entgegengesetzten Pole durch eine metallische Leitung verbindet. Dieser Strom dauert so lange an, als der Krystall noch eine angebbare Temperatursänderung erfährt und erlischt, wenn die Temperatur constant geworden ist. Die Stromrichtung beim Erwärmen ist, wie man erwarten kann, die entgegengesetzte von jener, die sich beim Abkühlen einstellt. Gaugain's Untersuchungen stellen demnach die bemerkenswerthe Thatsache fest, dass ein Turmalinkrystall während jeder Aenderung seiner Temperatur als eine Voltasche Säule anzusehen ist, die zwar einen enorm grossen Leitungswiderstand, dafür aber auch — im Vergleiche mit jenen Säulen — eine ebenso enorm grosse elektromotorische Kraft besitzt, und insoferne eine gewisse Aehnlichkeit mit der unter dem Namen der trockenen oder Zambonischen Säule bekannten Vorrichtung zeigt.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Mit dieser Entdeckung, welche die pyroelektrischen Erscheinungen der Krystalle unter einem ganz neuen Gesichtspunkte erscheinen lässt, wird auch die Kluft überbrückt, welche diese Erscheinungen von der zweiten, ebenfalls durch Veränderungen des Wärmezustandes der Körper bedingten Gruppe elektrischer Phänomene, den sogenannten „thermoelektrischen" zu trennen schien. Bevor jedoch diese letzteren zur Besprechung kommen können, müssen wir die Gesetze der Pyroelektricität wenigstens in ihren Grundzügen vollständig kennen lernen.

Bisher war nämlich einzig und allein nur vom Turmalin die Rede, und wurde nur nebenbei bemerkt, dass man auch an anderen Krystallen ähnliches wie an jenem wahrgenommen habe. Es datirt diese Wahrnehmung aus alter Zeit, indem schon Canton das Auftreten pyroelektrischer Polarität am Topas kannte; spätere Forscher entdeckten dieselbe auch am Axinit, Beryll, Boracit, Flusspath, Kalkspath, Mesotyp, Prehnit, Quarz, Sphen und noch manchen anderen Mineralien, ja selbst an den künstlich erzeugten Krystallen des weinsauren Kali und Natron, und an jenen der Weinsäure hat man sie nachgewiesen, während man wieder an einer grossen Menge anderer Krystalle auch nicht die leiseste Spur von Pyroelektricität aufzufinden vermochte. Haüy war es vorbehalten diese scheinbare Anomalie auf Krystallisationsverhältnisse zurückzuführen, indem er nachwies, dass zwischen der Fähigkeit der Krystalle pyroelektrisch zu werden und

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

jener unvollkommenen Symmetrie derselben, welche man als plagiëdrische und tetraëdrische Hemiëdrie bezeichnet, eine constante Beziehung obwalte, derart, dass vollflächig krystallisirende Stoffe niemals pyroelektrisch sind. Von mehreren jener hemiedrischen Krystalle ist bekannt, dass sie in Bezug auf die Fortpflanzung des Lichtes Eigenthümlichkeiten zeigen, welche auf eine besondere Anordnung ihrer Moleküle schliessen lassen, vermöge welcher solche Bewegungszustände, wie das Licht, sich in ihnen nach verschiedenen Richtungen in verschiedener Weise fortpflanzen. Ein ähnliches Verhalten in Bezug auf die Fortpflanzung der Wärme, die ja auch nur ein Bewegungszustand ist, ist zwar bis jetzt noch nicht in allen Fällen direct nachgewiesen, aber doch mindestens mehr als wahrscheinlich. Insoferne nun bei solchen Vorgängen ein Theil der lebendigen Kraft, welche in der ursprünglichen, uns als Wärme erscheinenden Bewegungsform auftritt, verloren zu gehen scheint, müssen wir diesen scheinbar verlorenen Theil, dem Gesetze der Erhaltung der Kraft entsprechend, in einer anderen Bewegungsform wiederfinden, und finden ihn thatsächlich in den in Rede stehenden Fällen in elektrischen Zustand umgewandelt. Diese inneren Vorgänge vollziehen sich aber bei den Krystallen der verschiedenen Krystallsysteme in sehr ungleicher, mitunter nicht ganz einfacher Weise. Jene Krystalle, welche dem hexagonalen und quadratischen Systeme angehören, verhalten sich genau so wie der dem ersteren Systeme angehörige Turmalin. Man gewahrt an ihnen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

immer nur zwei entgegengesetzt elektrische Pole, deren Verbindungslinie als elektrische Axe bezeichnet wird. Die Krystalle der übrigen Systeme dagegen lassen mehrere elektrische Pole und demgemäss auch mehrere elektrische Axen erkennen. Einige, wie z. B. der Prehnit und der Axinit, besitzen vier elektrische Pole, sind somit elektrisch zweiaxig; am Boracit kommen sogar acht Pole und vier elektrische Axen vor, u. dgl. m. Auch die Anordnung dieser Pole ist eine sehr verschiedenartige, indem die elektrischen Axen entweder einander parallel verlaufen oder sich unter bestimmten Winkeln kreuzen.

Ein gänzlich abweichendes und später noch zu erwähnendes Verhalten zeigen die parallelflächig hemiëdrischen Krystalle von Pyrit (Schwefelkies) und Kobaltglanz. Beide diese Minerale sind aber im Gegensatze zu den bisher in Betrachtung gezogenen, die Elektricität schlecht leitenden Stoffen, gute Elektricitätsleiter, und insoferne schliessen sich die an ihnen durch Aenderungen des Wärmezustandes zum Vorschein kommenden elektrischen Zustände unmittelbar an jene an, welche

b) thermoelektrische Erscheinungen

(im engeren Sinne) genannt werden. Die Entdeckung dieser Phänomene durch Seebeck fällt bereits in das Jahr 1821, wiewohl sie erst einige Jahre später in weiteren Kreisen bekannt wurde. Seebeck, der sich zu jener Zeit viel mit Untersuchungen über die im Jahre 1820

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

durch Oerstedt entdeckte Einwirkung dieses elektrischen Stromes der Volta'schen Säule auf die Magnetnadel beschäftigte, machte dabei die Bemerkung, dass ein in sich geschlossener Cyklus von verschiedenartigen Metallen bei gänzlichem Ausschlusse aller flüssigen Elektricitätsleiter, deren Vorhandensein doch die Grundbedingung des Entstehens eines elektrischen Stromes in der Volta'schen Säule bildet, unter gewissen Umständen eine Einwirkung auf eine Magnetnadel ausübe, die nur von einem in dem Leitersysteme circulirenden elektrischen Strome hervorgebracht sein konnte; er erkannte auch, dass die Ursache dieses, mit der Theorie der damals allein bekannten Volta'schen oder hydroelektrischen Säule scheinbar im Widerspruche stehenden Phänomens in einer localen Temperatursänderung des geschlossenen Leitercyklus zu suchen sei. Wegen jenes scheinbaren Widerspruches nannte man in früherer Zeit die in Rede stehenden Erscheinungen mitunter auch „thermomagnetische", wiewohl bereits Seebeck später die von ihm beobachteten Ablenkungen der Magnetnadel ganz richtig als Wirkungen eines elektrischen Stromes auffasste.

Der Grundversuch Seebeck's, noch heute als „thermoelektrischer Fundamentalversuch" bekannt, besteht in Folgendem:

An die Enden einer Wismuthbarre *ab* (Fig. 2) ist ein zweimal rechtwinklig gebogener Kupferstreifen *adcb* so angelöthet, dass das Ganze die Form eines länglichen Rechteckes erhält, dessen durch die Wismuthbarre ge-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

bildete Basis in die Richtung des magnetischen Meridians eingestellt wird. Im Innern des Rechteckes

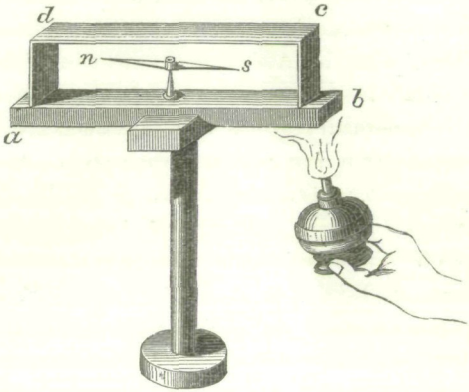

Fig. 2.

schwebt auf einer Spitze in horizontaler Ebene leicht drehbar die Magnetnadel *ns*, deren magnetische Axe bei der gewählten Aufstellungsweise des Rechteckes eine den beiden Langseiten desselben parallele Gleichgewichtslage annimmt. Erwärmt man nun eine der Löthstellen zwischen Wismuth und Kupfer (*a* oder *b*), so weicht die Magnetnadel sofort aus ihrer früheren Gleichgewichtslage ab, und kömmt endlich nach einigen Schwingungen in einer neuen mit der früheren einen grösseren oder kleineren Winkel bildenden Gleichgewichtslage zur Ruhe. Ueberlässt man das Ganze sich selbst, so nähert sich die Magnetnadel in dem Masse, als die erwärmte Stelle abkühlt, mehr und mehr ihrer ursprünglichen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Gleichgewichtslage und ist vollständig in dieselbe zurückgekehrt, sobald die Temperatur an allen Stellen des Rechteckes wieder völlig gleichförmig geworden ist. Würde man dagegen dieselbe Löthstelle durch kaltes Wasser, Eis oder Aufträufeln von Schwefeläther u. dgl. abkühlen, so würde man ebenfalls eine Ablenkung der Magnetnadel beobachten, die aber gerade die entgegengesetzte von jener ist, die sich bei der Erhitzung kundgab. Erwärmt man z. B. das südliche Ende *b* der Wismuthbarre, so weicht der Nordpol der Magnetnadel nach Westen aus, beim Abkühlen desselben Endes aber nach Osten. Ebenso erhält man auch Ablenkungen in entgegengesetztem Sinne, wenn man statt des südlichen das nördliche Ende *a* der Wismuthbarre erwärmt, beziehungsweise abkühlt. Stellt man die Magnetnadel nicht im Innern des Rechteckes, sondern über oder unter demselben auf, so sind die beobachteten Ablenkungen immer die entgegengesetzten von jenen, die man unter gleichen Umständen an der im Inneren aufgestellten Nadel beobachtet haben würde. So verwickelt und einander widersprechend diese Erscheinungen sich auf den ersten Blick auch gestalten mögen, werden sie dennoch ohne alle Schwierigkeit erklärt durch das von Oerstedt entdeckte und von Ampère auf einen höchst einfachen Ausdruck gebrachte Gesetz der Einwirkung elektrischer Ströme auf bewegliche Magnete.[1]) Die in

[1]) Die Ampère'sche Formulirung dieses Gesetzes lautet bekanntlich so: Ein elektrischer Strom lenkt eine frei bewegliche, dem Stromleiter parallel gerichtete Magnetnadel

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Rede stehenden Nadelablenkungen stimmen in allen erwähnten Fällen genau überein mit jenen, welche der Ampère'schen Regel nach ein elektrischer Strom bewirken müsste, der bei Erwärmung einer Löthstelle seine Richtung vom Wismuth zum Kupfer, bei Abkühlung derselben Stelle aber vom Kupfer zum Wismuth nimmt. Würden beide Löthstellen bis zu demselben Temperatursgrade erwärmt oder abgekühlt werden, so hätte dies die Folge, dass zwei Ströme von gleicher Stärke aber von entgegengesetzter Richtung angeregt würden, die sich gegenseitig aufheben müssen. Es kann sich daher in einer in sich zurückkehrenden Folge von zwei verschiedenartigen Metallen nur dann ein elektrischer Strom entwickeln, wenn ihre beiden Berührungsstellen eine ungleiche Temperatur haben. Die Intensität des in diesem Falle auftretenden Stromes ist einzig und allein von dem Temperatursunterschiede jener Stellen abhängig, und im Allgemeinen, so lange eine gewisse Grenze nicht überschritten wird, demselben gerade proportional.

So wie Kupfer und Wismuth verhält sich aber überhaupt jeder geschlossene Cyklus von verschiedenartigen Metallen, oder den Metallen in Bezug auf elektrisches Leitungsvermögen gleichkommenden Körpern (Metall-

---

immer so ab, dass das Nordende der Nadel gegen die linke Hand einer in der Richtung des Stromes schwimmenden, mit dem Gesichte der Magnetnadel zugewendeten menschlichen Figur getrieben wird.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Legirungen u. dgl.), nur ist bei gleichem Temperatursunterschiede der Berührungsstellen die Intensität des Stromes je nach der Natur der combinirten Metalle verschieden gross, und man kann alle vorgenannten Stoffe derart in eine Reihe ordnen, dass in einem aus zweien derselben gebildeten geschlossenen Cyclus 1. bei gleichem Temperatursunterschiede der Contaktstellen der erhaltene Strom um so intensiver ist, je weiter die beiden combinirten Stoffe in der Reihe von einander entfernt sind, und 2. an der wärmeren Berührungsstelle von dem in der Reihe vorangehenden zu dem in der Reihe folgenden Stoffe geht. Eine solche Reihe, die unter dem Namen der „thermoelektrischen Spannungsreihe" bekannt ist, hatte schon Seebeck aufzustellen versucht, und insoferne es sich hier nur um die bekannteren Metalle handelt, diese in folgender Weise geordnet: Wismuth, Nickel, Kobalt, Platin, Quecksilber, Blei, Zinn, Gold, Silber, Zink, Kupfer, Eisen, Antimon. Aber er hatte auch zugleich bemerkt, dass die mehr oder weniger grosse Reinheit der im Handel vorkommenden Metalle nicht selten einen über alle Erwartung grossen Einfluss auf die Stellung derselben in der Spannungsreihe ausübt, derart, dass z. B. von drei käuflichen Kupfersorten die eine zwischen Platin und Quecksilber, die zweite zwischen Zinn und Gold, die dritte aber zwischen Zink und Eisen zu stellen war, u. dgl. m.

Noch veränderlicher ist die Stellung von Metall-Legirungen, wie Messing, Packfong, die zu Schmucksachen verarbeiteten Goldlegirungen u. s. f.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Dieser Umstand macht es begreiflich, dass verschiedene Physiker, die sich mit thermoelektrischen Untersuchungen befassten, in Beziehung auf die Stelle, welche eine oder das andere Metall in der Spannungsreihe endgiltig einzunehmen habe, zu widersprechenden Resultaten gelangten und die von ihnen aufgestellten Reihen nicht völlig miteinander übereinstimmen.

Bei manchen Metallcombinationen beobachtete man aber auch noch die sonderbare Erscheinung, dass bei fortschreitender Erhitzung der einen Berührungsstelle (während die zweite auf der constanten Temperatur von 0° C. erhalten wurde) die Stromintensität nicht fortwährend dem Temperatursunterschiede proportional wächst, sondern allmälig ein Maximum erreicht, dann wieder abnimmt und sogar Null wird, worauf bei noch weiter getriebener Erhitzung sich wieder ein Strom einstellt, der aber eine entgegengesetzte Richtung wie der erstvorhandene annimmt, so dass die beiden Metalle ihre Stellung in der Spannungsreihe gänzlich vertauscht haben. Es rührt diese scheinbare Anomalie davon her, dass die elektromotorische Kraft, welche an der Berührungsstelle ungleichartiger Leiter bei verschiedenen Temperaturen derselben geweckt wird, nicht einfach der Temperatur proportional zu- oder abnimmt, sondern ein complicirteres Gesetz befolgt. Uebrigens kommen solche Stromumkehrungen immer nur bei höheren Temperaturen zu Stande und zeigen sich daher nur bei Combinationen von etwas schwerer schmelzbaren Metallen, wie Zink, Kupfer, Eisen, Platin u. dgl. m.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

So beobachtete Hankel das Eintreten der Stromumkehrung bei der Combination

Zink—Silber . . .	bei	194° C
Zink—Eisen . . .	„	315 „
Kupfer—Eisen . .	„	415 „ u. s. w.

Aber auch in einem einzigen, scheinbar ganz homogenen Metalle können, wie sich Seebeck überzeugte, durch locale Erwärmung einzelner Stellen thermoelektrische Ströme erregt werden. Als er nämlich in ein dem vorhin erwähnten ähnliches, aber nur aus Wismuth allein verfertigtes Rechteck eine Magnetnadel brachte, und mittelst der Flamme einer Weingeistlampe eine der Seiten des Rechteckes in nicht zu grosser Ausdehnung erwärmte, gewahrte er einen Ausschlag der Magnetnadel, welcher auf einen elektrischen Strom hinwies, dessen Richtung von der Lage der erwärmten Stelle abhing; dabei gab es wieder gewisse Stellen in den Rechteckseiten, durch deren Erwärmung gar keine Ablenkung der Nadel, somit auch kein Strom hervorgebracht werden konnte, welche deshalb als „neutrale Punkte“ zu bezeichnen sind. Die Erwärmung diesseits oder jenseits eines solchen neutralen Punktes liefert Ströme von entgegengesetzter Richtung. Alle Metalle von krystallinischem Gefüge, wie Wismuth, Antimon, Zink u. s. w. verhalten sich in dieser Beziehung in ganz gleicher Weise, aber auch in geschlossenen Kreisen geschmeidiger Metalle und Metall-Legirungen, z. B. in Drähten von Platin, Silber, Kupfer, Packfong und Messing, lassen sich unter gewissen Bedingungen durch locales Erwärmen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

einzelner Stellen thermoelektrische Ströme hervorrufen, nur muss man ihrer geringeren Intensität wegen in den Stromkreis eine zur Nachweisung geringerer Stromstärken geeignete Vorrichtung, einen sogenannten Thermo-Multiplicator einschalten. So fand Becquerel, indem er einen derartigen Stromkreis durch zwei in Spiralen endende Platindrähte schloss, von denen der eine heiss, der andere kalt war, dass bei dem Aufeinanderlegen der heissen und kalten Spirale sich ein elektrischer Strom in der Richtung von dem heissen zum kalten Drahte einstellte. Ebenso tritt ein Strom auf, wenn man den Multiplicator durch einen Kupfer- oder Platindraht schliesst, der an einer Stelle zu einer Schlinge oder einem Knoten zusammengedreht und in der Nähe dieser Stelle erhitzt wird; der Strom verläuft dabei von der erhitzten Stelle gegen die zusammengedrehte. Die Ursache aller dieser in einem in sich gleichartigen Leiterkreise auftretenden thermoelektrischen Ströme muss in einer Ungleichförmigkeit der Lagerung der Moleküle gesucht werden, die bei krystallinischen Metallen durch die verschiedenartige Orientirung der Krystalle während des Erstarrens des geschmolzenen Metalles, bei den nicht krystallinischen dagegen durch die in Folge localer Compression, Torsion u. dgl. erzeugten Aenderungen der Molekül-Lagerung bedingt ist. In der That erhält man in recht reinen, gleichförmigen Drähten und in Quecksilbersäulen niemals solche Ströme, während man in einem gleichförmig hart gezogenen und an und für sich unwirksamen Drahte durch blosses Ausglühen und Weichmachen einer Partie

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

desselben durch Erwärmen der Grenzstelle zwischen der harten und ausgeglühten Partie sofort einen Strom hervorrufen kann.

In die Reihe dieser Erscheinungen gehören ohne Zweifel auch die bereits früher erwähnten an Krystallen des Pyrites (Schwefelkieses) und des Kobaltglanzes wahrgenommenen thermoelektrischen Phänomene. Schaltet man nämlich einen Pyritkrystall in den Schliessungskreis eines Thermo-Multiplicators ein, und erhitzt dabei das eine Ende des Multiplicatordrahtes vor dem Anlegen an eine der Flächen des Krystalles, während das andere Ende in kaltem Zustande angelegt wird, so erhält man einen thermoelektrischen Strom, der wegen der ungleichen Temperaturen der Berührungsstellen zwischen Draht und Krystall wohl zu erwarten war; das Paradoxe an der Sache aber ist: dass dieser Strom bei einigen Pyritkrystallen in der Richtung von dem Krystalle zu dem erhitzten Drahte, bei anderen Krystallen desselben Minerales aber in gerade entgegengesetztem Sinne verläuft, so dass während einige Exemplare von Schwefelkies vermöge der Intensität des gelieferten Stromes in der thermoelektrischen Spannungsreihe vor das Wismuth zu stellen wären, andere dagegen sogar noch über das Antimon zu stehen kämen, und sonach unter einander eine thermoelektrische Differenz zeigen, die noch grösser ist als jene zwischen Wismuth und Antimon. Nach Friedel's Untersuchungen steht dieses gegensätzliche Verhalten mit einer gewissen Oberflächenbeschaffenheit der betreffenden Krystallflächen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

im Zusammenhange, indem bestimmte Flächen der Pyritkrystalle an einigen Exemplaren spiegelglatt, an anderen gestreift, mitunter auch zum Theile glatt, zum Theile gestreift erscheinen. Berührt man eine gestreifte Krystallfläche mit dem einen, eine glatte Fläche aber mit dem anderen Ende des Multiplicatordrahtes, so erhält man Ströme von entgegengesetzter Richtung, je nachdem man das an der glatten oder das an der gestreiften Fläche angelegte Drahtende vor dem Anlegen erhitzt hat. Die erwähnten Streifungen stehen aber wieder in Beziehung zur Hemiëdrie der betreffenden Krystalle, so dass dieselbe Ursache, welche die pyroelektrischen Phänomene bedingt — das ungleiche Leitungsvermögen für Wärme nach verschiedenen Richtungen — auch hier das Auftreten elektrischer Zustände im Gefolge hat.

Der Vollständigkeit willen, sei an dieser Stelle nur noch kurz bemerkt, dass nach den Untersuchungen von E. Becquerel, Wild und Gaugain auch in tropfbaren Flüssigkeiten, ja selbst in Gasen und Dämpfen unter gleichen Bedingungen wie bei den Metallen thermoelektrische Erscheinungen hervorgerufen werden können, und zwar sowohl wenn solche Körper mit Metallen oder auch nur wieder mit Flüssigkeiten in Contact kommen.

Während die vorgeführten pyro- und thermoelektrischen Erscheinungen Folge der Umwandlung von Wärme in Elektricität sind, kann auch umgekehrt Elektricität in Wärme umgesetzt werden. Die bekannte Erscheinung, dass Metalldrähte, durch welche elektrische

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ströme geleitet werden, sich erwärmen, und selbst sehr schwer schmelzbare Metalle auf diese Weise nicht bloss zum Schmelzen, sondern sogar zur Verdampfung gebracht werden können, liefert den Beweis hiefür.

Aber in besonders interessanter Form vollzieht sich dieser Process der Umwandlung von Wärme in Elektricität und umgekehrt der Elektricität in Wärme an den Berührungsstellen verschiedenartiger Elektricitätsleiter.

Löthet man z. B. zwei Stäbe, einen von Wismuth und einen von Antimon mit ihren Endflächen aneinander und leitet durch ein solches System den elektrischen Strom irgend einer Stromquelle, etwa jenen einer gewöhnlichen hydroelektrischen Kette, so erfolgt, je nachdem dieser Strom in der Richtung vom Wismuth zum Antimon oder umgekehrt verläuft, im ersten Falle eine Erniedrigung, im zweiten eine Erhöhung der Temperatur der Löthstelle, so dass ein Strom, welcher so gerichtet ist wie der thermoelektrische Strom, welcher bei Erwärmung der Contactstelle auftreten müsste, Erkältung, ein entgegengesetzt gerichteter dagegen eine Erwärmung dieser Stelle hervorbringt. Der Grad der auf solche Weise erzeugten Temperatursänderung ist nach Quintus Icilius der Intensität des durch das Leitersystem geführten Stromes direct proportional.

Derselbe Vorgang wie bei Wismuth und Antimon wiederholt sich nach Peltier, dem Entdecker dieser Erscheinungen, an den Berührungsstellen irgend welcher heterogener Elektricitätsleiter, sobald ein elektrischer

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Strom durch sie hindurchgeht; er ist eine Folge des Umstandes, dass das bessere oder schlechtere Leitungsvermögen eines Körpers für Elektricität eben davon abhängt, ob bei der Fortpflanzung desjenigen Bewegungszustandes, den wir elektrischen Strom nennen, eine geringere oder grössere Menge lebendiger Kraft auf dem Wege von einer Körperschichte zur nächsten verbraucht, und in andere Bewegungsformen umgesetzt wird. Ganz dasselbe gilt aber auch bezüglich jener Fortpflanzungsform der Wärme, die man Wärmeleitung nennt, und es ist sehr bemerkenswerth, dass das Wärmeleitungsvermögen der verschiedenen Körper in demselben Verhältnisse steht wie ihr elektrisches Leitungsvermögen. Wird an der Grenzfläche zwischen einem besseren und einem schlechteren Elektricitätsleiter Elektricität verbraucht und Wärme erzeugt, so wird im umgekehrten Falle Wärme verbraucht und in elektrischen Zustand umgesetzt.

Wir gelangen so zu dem merkwürdigen Resultate, dass jeder in einem geschlossenen Kreise verschiedenartiger Elektricitätsleiter in Folge von Temperatursdifferenzen ihrer Berührungsstellen entstandene elektrische Strom dahin strebt, jene Differenzen auszugleichen, und dadurch mit dem thermischen zugleich auch das elektrische Gleichgewicht wieder herzustellen. Daraus folgt, dass wenn wir einen thermoelektrischen Strom in unveränderter Stärke erhalten wollen, wir an der einen Berührungsstelle in jedem Zeitmomente ebensoviel

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Wärme zuführen müssen, als an der zweiten durch Ausstrahlung und Mittheilung von Wärme an die kältere Umgebung gleichzeitig abgegeben wird; während so die von der Wärmequelle dem geschlossenen Leitersysteme zugeführte Wärme durch Vermittlung dieses Systemes an die kältere Umgebung übertragen wird, entsteht jene besondere Art von innerer Arbeit, die wir den elektrischen Strom nennen. Es ist dies bei der praktischen Anwendung elektrischer Ströme nicht ohne Bedeutung, indem jedes Mal, wenn ein solcher Strom durch eine Leitung geführt wird, welche aus verschiedenartigen Leitern zusammengesetzt ist, an deren Berührungsstellen in Folge der nothwendig eintretenden Temperatursänderungen elektromotorische Kräfte geweckt werden, welche dem gegebenen Strome entgegenwirken und seine Intensität zu vermindern streben.

Indem wir durch diese Bemerkung nun einmal das praktische Gebiet berührt haben, mag wohl auch die Frage gerechtfertigt sein: ob und welchen praktischen Nutzen wir überhaupt aus den zur Sprache gekommenen Thatsachen etwa zu ziehen vermögen? — In dieser Hinsicht muss sogleich betont werden, dass bei dem gegenwärtigen Stande der Dinge wohl nur die in einem geschlossenen Kreise guter Elektricitätsleiter erzielbaren thermoelektrischen Ströme allein in Betracht kommen dürften, insoferne man durch sie gewisse technisch verwerthbare Wirkungen des elektrischen Stromes auf eine Weise zu erzielen vermöchte, die einfach, wenig kostspielig und von manchen die Stromerzeugung durch

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

hydroelektrische Säulen begleitenden lästigen Umständen völlig frei wäre. Es wird sich nur darum handeln, ob es möglich ist thermoelektrische Ströme von solcher Intensität hervorzurufen, um jene bisher fast ausschliesslich in Anwendung gebrachten Säulen wenigstens für bestimmte Zwecke entbehrlich erscheinen zu lassen.

Da die Intensität des thermoelektrischen Stromes einerseits von der elektromotorischen Kraft, sonach von der Stellung abhängig ist, welche die zur Kette verbundenen Körper in der thermoelektrischen Spannungsreihe einnehmen, andererseits aber auch von der Grösse des Temperaturunterschiedes der Berührungsstellen, wird man gut thun, einmal nur solche Körper zu wählen, welche in jener Reihe möglichst weit von einander getrennt sind, und dahin trachten müssen die Temperaturdifferenz ihrer Berührungsstellen so gross als möglich zu machen, ohne dabei der Grenze, bei welcher die Stromumkehrung eintritt, nahe zu kommen. Da Wismuth und Antimon die äussersten Glieder der Reihe bilden, lag es nahe (so lange man eben nur an Metalle dachte), diese beiden Metalle zur Herstellung thermoelektrischer Ketten in Anwendung zu bringen, und ihre Wirkung dadurch zu steigern, dass man statt eines einzigen Paares von Metallstäben, deren mehrere nach Art einer Voltaschen Säule miteinander verbindet. Man erhält so unter sonst gleichen Umständen eine um so grössere Stromintensität, je grösser die Anzahl derartig combinirter Elemente der Kette ist.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

So entstand die zusammengesetzte thermoelektrische Kette oder Thermosäule. Der eben angedeutete Zweck wird auf die einfachste Weise dadurch erreicht, dass man prismatische Stäbe von Wismuth und Antimon so wie in nebenstehender Figur (in

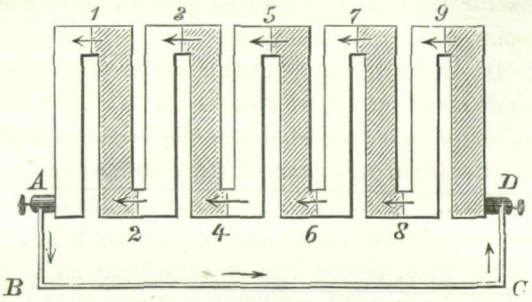

Fig. 3.

welcher die schraffirten Stellen Antimon, die nichtschraffirten Wismuthstäbe vorstellen) zickzackförmig aneinanderlöthet, und während man die unteren Löthstellen 2, 4, 6 .. etwa durch Eintauchen in siedendes Wasser erhitzt, die oberen Löthstellen 1, 3, 5, 7 .. durch aufgelegtes Eis abkühlt. Verbindet man dann die Enden *A* und *D* einer solchen Säule durch einen Leitungsdraht *ABCD*, so erhält man einen Strom in der Richtung der in der Figur beigesetzten Pfeile, der bei constant bleibender Temperaturdifferenz von 100° C. eine völlig constante und um so grössere Intensität besitzt, aus je mehr Wismuth-Antimon-Elementen die Säule aufgebaut ist. Die grosse Beständigkeit ihres Stromes hat diese Säule zu

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

einer sehr werthvollen Acquisition für solche wissenschaftliche Untersuchungen gemacht, bei welchen eine möglichst unveränderliche Stromstärke in erster Linie gefordert wird, auch hat sie sich als höchst empfindliches Instrument zur Erkennung und Messung sehr geringer Temperatursunterschiede in Fällen bewährt, in welchen die gewöhnlichen Thermometer aus verschiedenen Gründen den Dienst versagen. Ich erwähne diesbezüglich von Anderem absehend nur Melloni's Untersuchungen über die Gesetze der Wärmestrahlung, bei welcher die Wismuth-Antimon-Säule allein es war, welche volle Klarheit in diese in früherer Zeit mitunter irrig gedeuteten Erscheinungen zu bringen vermochte.

So werthvoll aber diese Dienste für die Wissenschaft sind, für praktische Zwecke erweisen sich die erreichbaren Stromintensitäten doch viel zu gering. Eine Steigerung der Temperatursdifferenz über 100° C. hinaus, würde allerdings eine grössere Stromintensität ermöglichen, doch kömmt man auf diesem Wege in Folge der leichten Schmelzbarkeit des Wismuth und des zur Verlöthung desselben mit Antimon nothwendigen leichtflüssigen Lothes nur zu bald an eine nicht zu überschreitende Grenze. Diesem Uebelstande suchte man durch Combination schwer schmelzbarer Metalle und Metall-Legirungen an Stelle des Wismuth und Antimon zu begegnen und construirte Thermosäulen aus Kupfer und Eisen, Silber und Eisen, Packfong und Eisen u. dgl. m. Was aber dabei nach einer Richtung gewonnen wird, geht nach der anderen dadurch wieder verloren, dass die

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

genannten Stoffe in der thermoelektrischen Spannungsreihe einander viel näher stehen als Wismuth und Antimon, und deshalb weit weniger elektromotorisch wirksam sind als diese letzteren, so dass alle derartigen Versuche für praktische Zwecke wenig Erspriessliches zu liefern im Stande waren.

Eine Wendung zum Besseren wurde erst durch Rollmann's Untersuchungen über das thermoelektrische Verhalten der Metall-Legirungen angebahnt, indem durch sie die merkwürdige Thatsache constatirt wurde, dass gewisse Legirungen von Antimon, Wismuth und Zink bei ihrer Combination mit den Gliedern der thermoelektrischen Spannungsreihe elektromotorisch viel wirksamer sind als die einzelnen Bestandtheile der Legirungen für sich, so dass sie noch über jene Endglieder der Reihe zu stellen sind, welche man bis dahin für die elektromotorisch wirksamsten erklären musste.

Gestützt auf diese Thatsache gelang es dem Wiener Mechaniker Markus bereits im Jahre 1864 durch die Combination von Packfong (bekanntlich einer Legirung von Kupfer, Zink und Nickel) mit einer Legirung von Antimon, Zink und Wismuth eine Thermosäule zu construiren, die wegen der Schwerschmelzbarkeit des verwendeten Materiales eine sehr grosse Temperatursdifferenz der abwechselnden Berührungsstellen zu erreichen gestattet, ohne befürchten zu müssen dabei die Grenze des Strom-Maximums zu überschreiten, und überdies auch gegenüber allem bisher

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Versuchten eine bedeutend grössere elektromotorische Kraft besitzt.

Markus verband die prismatischen Stäbe der Antimonlegirung mit den Packfongstäben durch Schrauben und stellte die in zwei Reihen angeordneten Elemente, wie aus der Zeichnung ersichtlich sein dürfte,

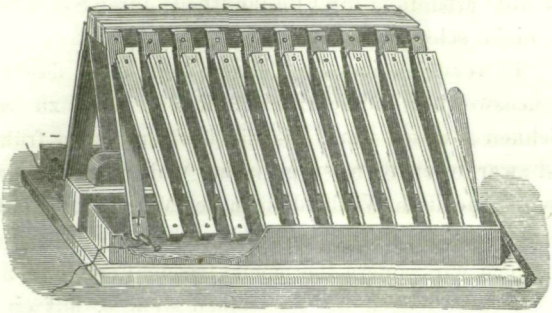

Fig. 4.

dachförmig so zusammen, dass die an der Dachkante liegenden Verbindungsstellen durch eine untergesetzte Gas- oder Weingeistlampe erhitzt werden konnten, während die am Fusse der Zusammenstellung liegenden in Gefässe mit kaltem Wasser tauchten und dadurch auf entsprechend niedriger Temperatur erhalten wurden. Eine solche Säule von 80 bis 100 Elementen lieferte einen Strom, der im Stande war Platindraht von etwa 0·2 Millimeter Dicke und $1\frac{1}{2}$ bis 2 Centimeter Länge weissglühend zu machen, Wasser energisch zu zersetzen, kräftige Elektromagnete zu erzeugen, somit für gewisse Zwecke eine Daniell'sche oder Bunsen'sche Kette ganz

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

gut zu ersetzen vermochte. Ihrer allgemeineren Anwendung stand nur der Uebelstand im Wege, dass die Antimonlegirung äusserst spröde und gebrechlicher als Glas ist, so dass die Säule, welche noch obendrein ein ziemlich grosses Gewicht hat, nicht leicht ohne Gefahr für ihre Erhaltung zu transportiren war. Auch erwies sich die Verbindung ihrer Bestandtheile durch Schrauben als nicht sehr zweckmässig.

Es verstrich indessen längere Zeit, ohne dass ein nennenswerther Fortschritt auf diesem Felde zu verzeichnen gewesen wäre, bis die übrigens schon früher und zwar durch Bunsen gemachte Wahrnehmung, dass gewisse chemische Verbindungen der Metalle, und unter diesen insbesonders die Schwefelverbindungen oder Sulfide noch wirksamere thermoelektrische Combinationen zu liefern vermögen als die reinen Metalle, auf einen neuen Weg führte. Schon Anfangs der Sechziger Jahre hatte Stefan in Wien bei einer diesbezüglichen Untersuchung gefunden, dass natürliches Schwefelkupfer oder Kupferkies und eine dichte Varietät des natürlichen Schwefelbleis oder Bleiglanzes ein Thermoelement bilden, dessen elektromotorische Kraft etwa ein Fünftel von jener des Daniell'schen Elementes betrug. Leider steht der technischen Verwendung der natürlichen Sulfide ausser ihrer meist sehr grossen Sprödigkeit auch die Schwierigkeit, wenn nicht Unmöglichkeit entgegen, sie in grösseren Massen in der zur Verarbeitung erforderlichen Reinheit und Gleichförmigkeit erhalten zu können. Man versuchte deshalb die durch Zusammenschmelzen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

der Metalle mit der erforderlichen Menge Schwefel künstlich dargestellten Schwefelmetalle an Stelle der in der Natur fertig gebildeten in Anwendung zu bringen, ein Versuch, der von günstigem Erfolge begleitet war, und den Vortheil darbot, die geschmolzene Masse durch Guss in jede beliebige Form bringen zu können. Aus auf diese Weise künstlich dargestelltem Schwefelkupfer und Packfong (maillechord) setzte Ed. Becquerel eine Thermosäule zusammen, die mit Gas geheizt, so wirksam gewesen sein soll, dass eine Säule von nur 30 bis 40 Elementen Wasser zersetzte, kräftige Elektromagnete erzeugte, einen Telegraphenapparat functioniren liess und dgl. Die nebenstehende Figur 5 stellt das Thermoelement Becquerel's dar. Die prismatische Barre von Schwefelkupfer *a* ist bei *A* und *B* in Packfongfassungen eingeklemmt; von dem Ende *A* gehen Packfongfortsätze aus, von denen *C* durch die Flamme eines Gasbrenners erhitzt wird, während *G* in ein Gefäss mit kaltem Wasser taucht. Die Klemmen bei *F* und *E* dienen zur Einschaltung der Leitungsdrähte. Becquerel construirte aus solchen Elementen seine Säule in der in Fig. 6 (Seite 364) dargestellten Form, indem er die Elemente parallel nebeneinander auf einem Holzrahmen in zwei einander gegenüberstehenden Reihen befestigte und die Fassung *B* (Fig. 5) des einen Elementes mit dem Packfongstreifen *DE* des

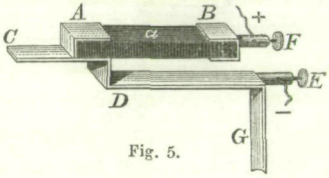

Fig. 5.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nächsten Elementes durch einen bei *E* eingeklemmten Packfongdraht verband. Die aussenstehenden Platten *C* wurden durch Gasbrenner erhitzt, und die innen herabhängenden Platten *G* tauchten in ein Gefäss, welches kaltes Wasser enthielt.

Noch kräftiger erwies sich eine andere, von Mure und Clamond, bald nach dem Bekanntwerden der Becque-

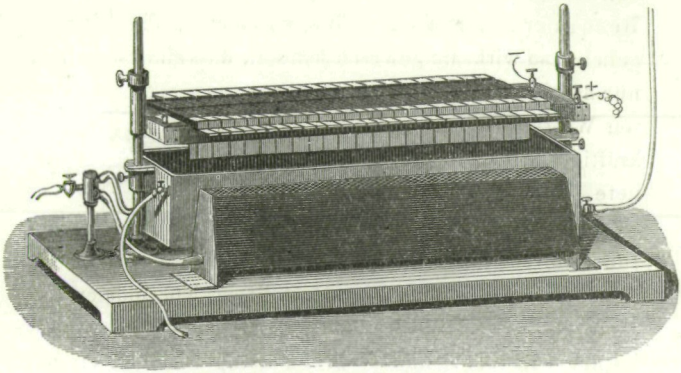

Fig. 6.

rel'schen Thermosäule erfundene Combination von Eisen mit künstlichem Schwefelblei, bei welcher eine sehr innige und gut leitende Verbindung des in Form von starken Blechstreifen in Verwendung genommenen Eisen mit dem Schwefelblei, durch Eingiessen der Enden der Eisenblechstreifen in das Schwefelblei erreicht wurde, so dass erstere mit letzterem nach dem Erstarren gleichsam nur ein einziges gutleitendes Ganzes

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

bildeten. Mure und Clamond ordneten ihre Elemente strahlenförmig an (siehe Fig. 7, in welcher die schraffirten Stellen *a* die Schwefelbleiprismen vorstellen, welche durch Streifen von Eisenblech *b* miteinander verbunden sind), und erhitzten die nach innen liegenden

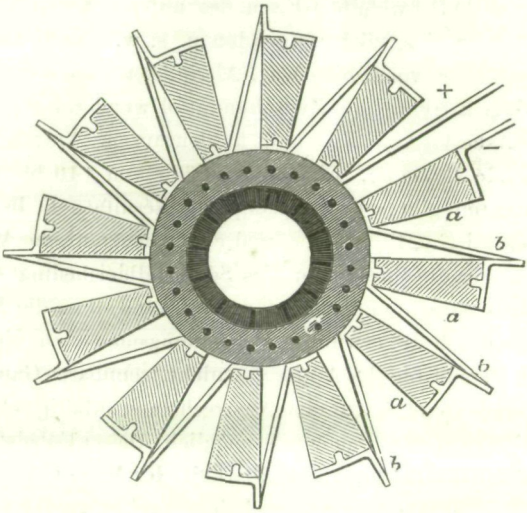

Fig. 7.

Contactstellen durch einen Argand'schen Gasbrenner *C*, dessen Flamme durch eine besondere, eine Ablenkung des Luftzuges bewirkende Vorrichtung gegen jene Stellen getrieben wurde, während die nach aussen gelegenen Verbindungsstellen gar nicht besonders gekühlt zu werden brauchten, indem die an ihnen stattfindende starke Wärmeausstrahlung nach verhältniss-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

mässig kurzer Zeit (10—15 Minuten) die Temperaturs-differenz zwischen innen und aussen auf constanter Höhe erhält.

Solche Strahlenkränze schichteten sie nun in grösserer Anzahl übereinander, wobei immer die letzte Berührungsstelle Schwefelblei-Eisen des unteren Kranzes mit der ersten des nächstfolgenden u. s. w. durch einen Eisenstreifen verbunden war. Als isolirendes, die einzelnen Lagen trennendes Zwischenmittel wendeten sie eine aus Asbest (Amianth) und kohlensaurem Natron bestehende Masse an. Eine solche Säule von 140 bis 150 Elementen gibt sehr befriedigende Resultate in Bezug auf chemische, thermische und elektromagnetische Wirkung, aber die Sprödigkeit des Schwefelblei bedingt eine grosse Gebrechlichkeit, und der Umstand, dass die Elemente durch die erwähnte Verbindungsmasse zu einem ohne Zerstörung des Apparates nicht trennbaren Ganzen verbunden sind, macht eine Auswechslung zufällig schadhaft gewordener Elemente unmöglich. Dieser Uebelstand lässt die technische Anwendbarkeit der Mure-Clamond-Säule immerhin fraglich erscheinen, und es verdient daher jedenfalls die in neuerer Zeit von Noë in Wien ausgeführte Construction von Thermosäulen als ein praktischer Fortschritt begrüsst zu werden.

Noë griff wieder auf die Verbindung von Antimon- und Nickellegirungen zurück, nur wendete er eine weniger spröde Antimonlegirung an und erzielte eine genaue und innige Verbindung der beiden Bestandtheile seines Elementes in ähnlicher Weise wie Mure und Cla-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

mond durch Einschmelzen der Nickellegirung in die in Form von kurzen Cylindern gegossene Antimonlegirung. Auch sonst hat seine in Bezug auf die Anordnung der Elemente zur Säule, wenigstens bei den grösseren Apparaten der Becquerel'schen ähnliche Construction

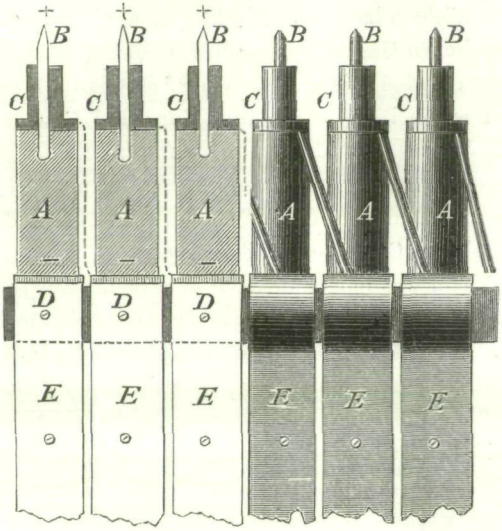

Fig. 8.

manche Eigenthümlichkeiten, die sich am besten aus der obenstehenden schematischen Zeichnung entnehmen lassen dürften. *AA*.. stellen die Cylinder aus Antimonlegirung, *BB*.. die Stäbchen der Nickellegirung vor, welche zu besserem Schutze gegen die Wirkung der

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Flamme von den Kupferhülsen *C* umgeben sind. [1]) Bei *D* sind die Cylinder an Blechstreifen *E* gelöthet, welche sich nach abwärts in ebene oder auch spiralig zusammengerollte Platten aus Eisen- oder Messingblech fortsetzen. Drähte aus Packfong verbinden die Kupferhülse *C* des vorangehenden Elements mit dem hinteren Ende *D* des nächstfolgenden. Die Flammen einer Reihe von Bunsen'schen Gasbrennern erhitzen die Spitzen *B*, die äusseren Enden *D* bedürfen keiner besonderen Kühlung, indem wie bei der Säule von Mure und Clamond die starke Wärmeausstrahlung an den durch die Blechansätze sehr vergrösserten äusseren Berührungsflächen in kurzer Zeit eine constante Temperatursdifferenz der abwechselnden Contacte zur Folge hat.

Wenn was immer für eine neue Säulenconstruction auftaucht, pflegen die Praktiker gewöhnlich die Frage zu stellen, wie viele der gebräuchlichsten hydroelektrischen Elemente (Daniell'sche, Grove'sche oder Bunsensche Elemente) die neue Construction zu ersetzen vermöge? Es ist daher vorauszusehen, dass sie auch bezüglich der besprochenen Arten von Thermosäulen gestellt werden dürfte. In der allgemeinen Form, in welcher sie auftritt, lässt jedoch die Frage keine Beantwortung zu. Denn jede Kette liefert den intensivsten

---

[1]) In der jüngsten Zeit hat Noë, um die Zerstörung der Packfongstifte zu vermeiden und dadurch der Säule grössere Dauerhaftigkeit zu geben, dickere Stäbe von Packfong in Anwendung gebracht, wobei die schützenden Kupferhülsen entfallen können.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Strom, dessen sie überhaupt fähig ist, immer nur dann, wenn der Widerstand, welcher sich der Leitung des elektrischen Stromes in den Elementen der Kette selbst entgegenstellt, jenem gleich ist, welchen die Stoffe darbieten, durch welche der Strom geleitet werden soll, und ausserwesentlicher oder Schliessungs-Widerstand genannt wird. Sowohl wenn dieser letztere Widerstand kleiner, als auch wenn er grösser ist als der innere Widerstand der Kette, entfaltet diese nicht das Maximum ihrer Leistungsfähigkeit. Aus diesem Grunde kann ein und dieselbe Thermosäule in einem Falle mehr, in einem anderen weniger leisten als eine bestimmte Anzahl Daniell'scher oder Bunsenscher zur Säule verbundener Elemente; es kömmt eben Alles darauf an, in welchem Verhältnisse der von der Schliessungsleitung gebotene Widerstand zu jenem steht, den die Säule in sich darbietet, so dass die Frage, wie vielen hydroelektrischen Elementen eine gegebene Thermosäule äquivalent sei? nur dann einen klaren Sinn hat, wenn sie mit Rücksicht auf einen bestimmten Schliessungswiderstand gestellt wird. Selbst die besten der bisher bekannt gewordenen Thermoelemente stehen in Bezug auf elektromotorische Kraft gegen die einfache Zink-Kupfer-Kette Daniell's nicht unbedeutend zurück; da aber der Leitungswiderstand in den guten Elektricitätsleitern, aus welchen die Thermosäulen sämmtlich construirt sind, immer nur ein sehr geringer ist im Vergleiche mit jenem, welchen die viel schlechter leitenden Flüssigkeiten der hydroelektrischen Ketten dem Strome

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

entgegenstellen, kann erst bei einer grösseren Anzahl zur Säule verbundener Thermoelemente deren gesammter Leitungswiderstand so gross werden, wie jener eines einzigen hydroelektrischen Elementes. Mit der Anzahl der Elemente wächst aber im geraden Verhältnisse die elektromotorische Kraft der Kette, so dass man immer im Stande sein wird, dieselbe auf eine solche Höhe zu bringen, dass die Thermosäule bei einem gegebenen Schliessungswiderstande eine hydroelektrische Kette vollständig zu ersetzen vermag. Damit allein aber wäre noch nicht Alles erreicht, indem die betreffende Thermosäule gerade nur einem speciellen Zwecke entsprechen würde, bei einem andern Schliessungswiderstande aber vielleicht nicht mehr genügen dürfte. Diesem Uebelstande kann man durch eine Einrichtung begegnen, welche gestattet, die Elemente einer Säule rasch in verschiedener Weise mit einander zu verbinden, so dass man entweder eine Säule von vielen Elementen und grösserem Widerstande, oder von weniger Elementen mit geringerem Widerstande herstellen, mit einem Worte die Elemente so combiniren kann, dass der von der Säule gelieferte Strom der grössten Intensität, deren er unter gegebenen Umständen überhaupt fähig ist, möglichst nahe gebracht werden kann. Mit einer solchen „Pachytrop“ genannten Vorrichtung ausgestattet, hat die Thermosäule Noë's sich so gut bewährt, dass sie selbst ausser den Grenzen unseres Vaterlandes in physikalischen und chemischen Laboratorien in vielen Fällen mit Vortheil statt der früher fast ausschliesslich im Gebrauche ge-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

wesenen hydroelektrischen Säulen angewendet wird, und sich als ein äusserst bequemes, ohne besondere Vorarbeiten stets dienstbereites Mittel zur Erzeugung eines constanten elektrischen Stromes erweist, das ebenso schnell in, wie nach geleistetem Dienste ausser Wirksamkeit gesetzt werden kann: es genügt zu diesem Zwecke das Anzünden und Auslöschen der Flammen, durch welche der Apparat geheizt wird.

Ob es auch noch gelingen werde, Thermosäulen in grösserem Massstabe in der Industrie und Technik mit Nutzen zu verwerthen, ist eine Frage, die man bei voller Objectivität zur Stunde nicht mit Sicherheit beantworten kann. Unläugbar sind die grossen Fortschritte, welche man binnen kurzer Zeit in der Construction solcher Säulen gemacht hat, und man kann durchaus nicht behaupten, dass nach dem bisher Erreichten kein weiterer Fortschritt mehr möglich sei. Entscheidend wird aber einzig und allein die Antwort auf die Frage sein: ob der aus der Verbrennungswärme des aufgewendeten Brennstoffes hervorgegangene Strom gegenüber anderen Verwendungsweisen derselben in Beziehung auf Bequemlichkeit, Zeit- oder Geldgewinn eine vortheilhaftere Ausnützung gestatte oder nicht? Darüber vermögen die bis heute vorliegenden Versuche im kleinen Massstabe keine genügende Auskunft zu geben. Jedenfalls müsste die Einrichtung der Thermosäulen eine andere als die bisherige, namentlich für Heizung mit Coaks oder Kohle berechnet sein, da Gas nicht nur ein zu theueres, sondern auch ein nicht überall zu Gebote stehendes

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Brennmaterial ist. Unter diesem Gesichtspunkte dürfte die radiale Anwendung der Elemente, welche Mure und Clamond gewählt haben, die übrigens Noë bei seinen kleineren Säulen ebenfalls in Anwendung gebracht hat, jenen, bei welchen die Elemente in Parallelreihen angeordnet sind, vorzuziehen sein. Bei elektrochemischen Processen, wie in der Galvanoplastik, galvanischen Vergoldung u. dgl., geben übrigens die Thermosäulen Noë's in ihrer neuesten Form, bei welcher durch eine Verbesserung des Brenners möglichst geringer Gasverbrauch erzielt wird, schon jetzt höchst anerkennenswerthe Resultate.

Wollen wir nun zum Schlusse, und nachdem wir die Bestrebungen, die thermoelektrischen Processe zu praktischen Zwecken auszubeuten, geschildert haben, noch einen kurzen Blick auf Vorgänge werfen, in welchen dieselben Processe in der Natur im grossen Massstabe eine Rolle spielen.

Der Planet Erde ist, wie bekannt, aus sehr heterogenen Stoffen aufgebaut, Schichten verschiedenartiger, die Elektricität mehr oder weniger gut leitender Minerale drängen sich unter- und übereinander und werden wieder durchsetzt von den Lagerstätten jener Metallverbindungen, die man Erze nennt. Die Wärmestrahlung der Sonne erwärmt den aus so mannigfachem Materiale aufgeführten Bau auf eine sehr ungleichförmige Weise, indem nicht nur die Zone zwischen den beiden Wendekreisen während des ganzen Jahres eine mit dem Stande der Sonne in der Ekliptik zwar veränderliche, immer aber viel höhere Temperatur hat als die Polarregionen,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

sondern selbst im Laufe eines Tages die eine Hälfte des Erdsphäroides der erwärmenden Wirkung der Sonne ausgesetzt ist, während die entgegengesetzte Hälfte durch Wärmeausstrahlung abkühlt. Dass in Folge dieser ungleichen Erwärmung in den aneinandergrenzenden, verschiedenartigen Bestandtheilen der Erdrinde thermoelektrische Ströme angeregt werden müssen, wird wohl trotz allen, insbesonders von Lamont dagegen gemachten Einwendungen kaum bezweifelt werden können. Da aber jeder elektrische Strom auf eine frei bewegliche Magnetnadel richtende Kraft äussert, liegt die Frage nahe, ob die Erscheinungen des Erdmagnetismus, die sich in der für verschiedene Punkte der Erdoberfläche verschiedenen und periodisch veränderlichen Gleichgewichtslage der Magnetnadel äussern, nicht durch thermoelektrische Ströme, welche in der Erdrinde verlaufen, bedingt sein möchten? Können wir auch Stärke und Richtung derselben nicht im Detail klar legen, weil uns hiezu alle erforderlichen Daten fehlen, so lässt sich doch im Grossen und Ganzen erwarten, dass es Ströme geben müsse, welche das ganze Jahr hindurch die Erde in mehr oder weniger beständiger und regelmässiger Weise von Ost nach West umkreisen und solche, welche im Laufe des Tages eine mit dem Sonnenstande veränderliche Richtung und Stärke haben.

Es mag immerhin zweifelhaft, vielleicht sogar unwahrscheinlich sein, dass der Magnetismus der Erde seine Quelle einzig und allein nur in thermoelektrischen Strömen finde, demungeachtet würden sie

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

doch gewiss nicht ohne Einfluss auf die Veränderungen desselben bleiben können. Die periodischen täglichen und jährlichen Variationen der magnetischen Abweichung, Neigung und Intensität zeigen immer und überall einen so genauen Zusammenhang mit der durch die Aenderung des Sonnenstandes bedingten periodisch veränderlichen Erwärmung der Erde, dass ihre Abhängigkeit von der letzteren ausser Frage steht. Ihre Erklärung durch thermoelektrische Ströme, wie es zuerst de la Rive versucht hat, ist zum mindesten die einfachste und wahrscheinlichste Deutung dieser Phänomene. Das stete Vorhandensein elektrischer Ströme in der Erdrinde ist überdies eine zuerst von Becquerel direct nachgewiesene und seither vielfach bestätigte Thatsache, und wenn dieselben auch nicht regelmässig von Ost nach West, sondern in den verschiedensten Richtungen verlaufen, so ist erstens zu erwägen, dass gewiss nicht alle solche Erdströme thermoelektrischen Ursprunges sind, sondern auch noch durch andere, namentlich chemische Processe hervorgerufen sein können, zweitens aber nicht die Wirkung von Partialströmen, welche in einem gegen die Gesammtmasse der Erde verschwindend kleinen Theile derselben beobachtet wurden, sondern nur die resultirende Wirkung aller gleichzeitig in der gesammten Erdrinde vorhandenen Ströme für die Erscheinungen des Erdmagnetismus das allein Massgebende ist. Mit letzterer Bemerkung fällt auch der von Lamont erhobene Einwand, dass jene Ströme ihrer zu geringen Intensität wegen zur Erklärung der Erscheinungen des Erdmagne-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

tismus nicht ausreichend seien. Lamont erhebt zwar gegen de la Rive's Theorie noch einen anderen Einwand, nämlich den, dass die feste Erdrinde zum grössten Theile aus Stoffen bestehe, welche mehr oder weniger schlechte Elektricitätsleiter sind, in denen sich thermoelektrische Ströme nicht fortzupflanzen vermögen. Wie wenig stichhältig dieser Einwurf sei, zeigen uns die pyroelektrischen Krystalle, welche fast alle nicht nur schlechte Leiter sind, sondern sogar als sogenannte Isolatoren gelten, nichtsdestoweniger aber unter dem Einflusse von Temperatursänderungen zu Quellen von continuirlichen elektrischen Strömen werden können. Auch die Erfahrungen, welche man bei der elektrischen Telegraphie und ganz besonders bei dem transatlantischen Telegraphen gemacht hat, zeigen in ganz entschiedener Weise, dass der Leitungswiderstand der festen Erdrinde sogar ein verschwindend kleiner ist, im Vergleiche mit jenem, welcher in den Telegraphenleitungsdrähten auftritt. Mag auch noch Manches dunkel und strittig sein auf diesem Gebiete, immerhin bleibt es sehr bemerkenswerth, dass Aimé in weiterer Entwicklung der de la Rive'schen Theorie zu Resultaten gelangt ist, welche die täglichen periodischen Veränderungen der Elemente des Erdmagnetismus (magnetische Declination, Inclination und Intensität) in sehr befriedigender Weise aus jenen thermoelektrischen Strömen erklären, welche die bei der täglichen Bewegung der Erde mit dem scheinbaren Sonnenlaufe fortschreitende Erwärmung derselben zur Folge haben müsste.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1877

Band/Volume: 17

Autor(en)/Author(s): Pierre Victor

Artikel/Article: Ueber Thermoelektricität und die neuesten Fortschritte auf diesem Gebiete. 329-375