kleine von p und v abhängige Gröfse betrachten, die zu Anfang der Bewegung Null ist. Führt man die Rechnung durch wie vorher, so tritt an die Stelle von

$$p \partial v; v \partial p$$

beziehungsweise

$$p \partial v + \frac{\partial q}{\partial v} \partial v; v \partial p + \frac{\partial q}{\partial p} \partial p.$$

Die letztere Gröfse hebt sich vollständig, und kommt nicht mehr in der resultirenden Gleichung vor. Dagegen geht q jetzt über in

$$q + \int \frac{\partial q}{\partial v} \partial v.$$

Wäre q von der Form $\varphi(p) + \psi(v)$, so würde die hinzutretende Gröfse $= \psi(v)$, und verschwände nach Zurückführung auf das ursprüngliche Volum. Im Allgemeinen würde indess q eine Aenderung des Wärmequantums bewirken, die jedoch augenscheinlich stets gering bleiben muß, in sofern eine plötzliche oder schnelle Aenderung in q aufser aller Wahrscheinlichkeit liegt.

IV. *Thermoelektrische Erscheinungen an gleichartigen Metallen; von R. Franz.*

Der Blätterdurchgang in Wismuthkrystallen bedingt in dem Krystall selbst die Richtung eines thermoelektrischen Stroms bei der Erwärmung des Krystalls. Ist die Lage der Blättchen geneigt gegen die erwärmte Fläche oder Kante, so ist die Richtung des positiven Stroms (der bei der Erwärmung der Berührungsstelle des Wismuth und Antimon vom Wismuth zum Antimon übergeht) durch die abfallende Schichtung der Blätter gegeben. Der Verfasser hat früher über diesen Strom Versuche beschrieben ¹⁾.

1) Pogg. Ann. Bd. 83, S. 375; Bd. 85, S. 388.

Es ist angeführt worden, daß sich diese Ströme auch an einer Wismuthstange, welche ohne vorherrschende Spaltungsrichtung gegossen ist, auf folgende Weise erkennen lassen: Ein über den Schmelzpunkt des Wismuth erhitzter Draht, auf eine an ihren Enden mit den Drähten eines Galvanometers verbundene Wismuthstange, senkrecht zu ihr, gelegt, bringt fast stets einen Strom im Wismuth hervor; schmilzt der Draht in die Wismuthstange hinein, so wird oft das Galvanometer einen entgegengesetzt gerichteten Strom anzeigen; bei tieferem Hineinschmelzen kann der Strom seine Richtung wieder ändern, u. s. f. Bricht man, so dicht als möglich neben der Stelle, an welcher der Draht die Wismuthstange durchschnitten hat, dieselbe durch, so erkennt man deutlich einen ebenso häufigen Wechsel der Schichtung, als man vorher am Galvanometer den Wechsel der Stromrichtung beobachtet hatte.

Dieser Versuch und ähnliche, an den angeführten Orten näher beschriebene, ließen es dem Verfasser wünschenswerth erscheinen, zu untersuchen, ob auch durch Erwärmung anderer Metalle ein thermoelektrischer Strom hervorgebracht werden könne, wenn dünne Blättchen in ähnlicher Weise an einander gereiht werden, wie sie bei der KrySTALLBILDUNG des Wismuth durch die Natur geordnet sind.

Um diese Untersuchungen anstellen zu können, ließ der Verfasser aus verschiedenen Metallblechen Plättchen schlagen von verschiedener Dicke und ungefähr 2^{cm} Durchmesser. Diese Plättchen wurden zwischen zwei Korke geprefst, jedoch so, daß sie durch drei seitlich durch Durchbohrungen der Korke gesteckte Glasstäbe in einer Lage von 45° gegen die Axe der Vorrichtung gehalten wurden. Die Korke selbst waren an ihrer inneren Seite so ausgehöhlt, daß die erste und letzte auf dem Kork ruhende Platte schon die geneigte Lage erhielt. Eine Durchbohrung in der Mitte der Korke gestattete Drähte mit den äußersten Platten in Verbindung zu bringen. Diese Drähte bestanden jedesmal, wenn nicht das Gegentheil bei den folgenden Versuchen angegeben ist, aus demselben Metall, wie die Platten,

wurden durch Korkstückchen an die Mitte der Endplatten gedrückt, und standen mit den Kupferdrähten eines Spiegelgalvanometers in Verbindung. Die nachstehende Figur versinnlicht die Anordnung der Vorrichtung.

Denkt man sich für den Augenblick an Stelle der in der Figur angedeuteten Säule ein Stück krystallisirten Wismuths, das seine Hauptschichtung in der an der Figur durch die Stellung der Platten angedeuteten Richtung zeigt, so entsteht durch Erwärmung bei *d* ein positiver Strom in der Säule von *a* nach *b*, hingegen ist bei der Erwärmung von *c* der positive Strom von *b* nach *a* gerichtet. Mit dieser Stromesrichtung im Wismuth sind der Kürze wegen die folgenden Ergebnisse verglichen. Die Angabe »gegen Wismuth« bedeutet also, dafs bei der Schichtung der Metallplatten, wie die Figur sie zeigt, und Erwärmung bei *d*, der Strom von *b* nach *a*, bei der Erwärmung von *c* aber von *a* nach *b* gerichtet war. Der Strom wird bei dieser Bezeichnung als ein in der Säule sich bewegender gedacht.

Eine grofse Schwierigkeit bei Anstellung der Versuche entstand daraus, dafs bei grossem Leitungswiderstande des angewandten Metalles der Strom nicht zur Erscheinung kam, ja sogar ein anderweitig erregter starker thermoelektrischer Strom gar nicht durch die Vorrichtung strömte, wenn nicht die Platten mit verhältnifsmäfsig grofser Gewalt an einander geprefst wurden. Daher ist ein Vergleich für die Stromintensität bei verschiedenen Metallen durch die angeführten Zahlen nicht gegeben; es würde z. B. beim Neusilber, wegen des groszen Leitungswiderstandes dieses Metalles, vermehrt durch die nicht ganz innige Berührung der einzelnen Platten, der Strom eine viel gröfsere Ablen-

kung des Galvanometerspiegels bewirkt haben, wenn die Einrichtung des Apparates ein innigeres Anlegen der verschiedenen Platten an einander, und ein vollständig gleichmäßiges bei allen Metallen, gestattet hätte.

Zur Erwärmung der Platten wurde die Spitze einer Aeolipilflamme benutzt, und die oben beschriebene Plattensäule entweder mit der Seite *c* oder mit der Seite *d* dem Spiel der Flamme ausgesetzt, jedoch so, daß die Flamme stets nahezu lothrecht auf die Säule wirkte. Die mit Gewalt gegen die Säule strömenden brennenden Alkoholdämpfe lagerten sich dann so auf dieselbe, daß etwa der fünfte oder vierte Theil der Säulenseite von der Flamme bespült wurde. Der bei der Erwärmung erregte Strom wurde durch ein Fernrohr an einer etwa 2^m von dem Spiegel des Galvanometers entfernten, unter dem Fernrohre befestigten, Scala abgelesen.

Der Untersuchung wurden folgende Metalle unterworfen:
Feines Silber (die Plättchen hatten ungefähr die weiter unten angegebene Dicke der Zinkplättchen).

Zwölflöthiges Silber (25 Proc. Kupfer) (von derselben Dicke).

Silber mit ungefähr 78 Proc. Kupfer (es wurden alte preussische gute Groschen, deren Gepräge durch den Gebrauch abgenutzt war, von 0^{mm},930 ¹⁾ Dicke benutzt).

Neusilber I (polirte Plättchen 0^{mm},780 dick).

Neusilber II (rohe Plättchen 0^{mm},604 dick).

Neusilber III (rohe Plättchen 0^{mm},305 dick).

Messing (0^{mm},576 dick).

Zink (0^{mm},640 dick).

Kupfer (0^{mm},037 dick).

Die Anzahl der benutzten Platten änderte sich nach der Dicke derselben, von den stärkeren Platten wurden gewöhnlich 100 angewandt, von Messing und Neusilber III 150, von Kupfer 300 bis 1400 Platten.

Es möge hier die genaue Beschreibung der Versuche

1) Mit einem Sphärometer gemessen.

nebst Angabe der erzielten Resultate folgen, wie sie bei zweien der Metalle angestellt worden sind, während bei den übrigen Metallen die Angabe des aus den gesammten Versuchen sich ergebenden Factums genügen wird, da bei den einzelnen Versuchen stets dieselben oder ähnliche Abänderungen vorgenommen, dieselben Vorsichtsmafsregeln getroffen worden sind.

Die Platten aus zwölfzlöthigem Silber wurden auf die oben beschriebene Weise zwischen die Korke geprefst, und durch zwölfzlöthige Silberdrähte mit den Galvanometerdrähten in Verbindung gesetzt. Grofse Vorsicht wurde darauf verwandt, dafs die Berührungsstelle der Drähte und Platten durch passend geformte und eingelegte Korkstücke vor der directen Strahlung der Flamme geschützt war. Beim Beginn des Blasens der Flamme gegen die eine Seite der Säule zeigten sich bei den an verschiedenen Tagen angestellten Versuchen folgende Ausschläge des Galvanometer-
spiegels:

Ruhelage des Spiegels 250.

$250 - 253 = 3$ wie Wismuth;

d. h. also der Strom ging auf die obige Figur bezogen von *a* nach *b* durch die Säule, sobald die Erwärmung auf der Seite *d* in der Mitte derselben begann.

$250 - 252,5 = 2,5$ wie Wismuth.

Nach der Abkühlung, Erwärmung der gegenüberstehenden Seite (*c*)

$250 - 247 = 3$ wie Wismuth (von *b* nach *a*).

Spätere Versuche nach neuer Schichtung der Platten:

$250 - 252 = 2$ wie Wismuth.

Neuer Versuch nach erneutem Aufbau der Säule:

$250 - 252 = 2$ wie Wismuth.

Nach der Abkühlung:

$250 - 252 = 2$ wie Wismuth.

Nach der Abkühlung, Erwärmung der gegenüberstehenden Seite der Säule:

$250 - 248 = 2$ wie Wismuth.

Nach andauernder Erwärmung der ganzen Säule wurde

dieselbe Seite durch einen Strom kalter Luft aus feiner Oeffnung abgekühlt. Es erfolgte ein Ausschlag:

$$248 - 251 = 3 \text{ wie Wismuth.}$$

Der letzte Versuch ist wenig entscheidend, denn der Spiegel des Galvanometers war noch durch einen Strom afficirt, und nicht in die Ruhelage zurückgekehrt.

Es findet also, wie die eben angeführten Versuche zeigen, bei zwölfblühigen Silberplatten eine Stromerregung statt, wenn ihre Schichtung geneigt ist, und sie dann von einer Flamme bespült werden; der Strom ist nur schwach, aber die gleiche Richtung desselben bei den verschiedenen Versuchen bürgt für seine Existenz. Durch stärkeres Zusammenpressen der Platten konnte eine grössere Stromintensität hervorgebracht werden, weil der Widerstand, der dem Strom an den Gränzen der Platten, beim Uebergang von einer zu der folgenden entgegengestellt wird, durch enges Aneinanderliegen derselben sich vermindert.

Die Versuche mit Platten von feinem Silber gaben folgende Resultate:

Ruhelage des Spiegels 250.

$$250 - 246 = 4 \text{ gegen Wismuth.}$$

Nach der Abkühlung:

$$250 - 248 = 2 \text{ gegen Wismuth.}$$

Nach neuer Schichtung der Platten:

$$250 - 248 = 2 \text{ gegen Wismuth.}$$

$$250 - 247 = 3 \text{ gegen Wismuth.}$$

Bei starkem Druck ber Platten gegeneinander:

$$250 - 243 = 7 \text{ gegen Wismuth.}$$

Bei Erwärmung der gegenüberliegenden Seite der Säule, nach der Abkühlung:

$$250 - 253 = 3 \text{ gegen Wismuth.}$$

Die Platten waren beim letzten Versuch wenig fest aneinandergedrückt. Neuer Versuch:

$$250 - 245 = 5 \text{ gegen Wismuth.}$$

Es wurde nun eine Säule der feinen Silberplatten zwischen eine gewöhnliche Holzklemme geprefst, und an den Enden der Säule wurden Silberdrähte eingeklemmt. Die

Säule glich also in Bezug auf ihre Schichtung einer geraden Quadratsäule, geschichtet parallel den Endflächen. Bei dieser äquatorialen Lage der Platten gegen die Drahtleitung fand kein Ausschlag des Galvanometerspiegels statt, wenn die Flamme senkrecht zu ihrer Länge die Säule bestrich. Wurde aber die Richtung der Flamme geändert, so daß dieselbe schief die Säule traf, so zeigte sich ein Ausschlag, weil dann an dem Ende der Säule, zu dem die Flamme sich bewegte, eine Erwärmung der Verbindungsstelle zwischen Draht und Platten stattfand. Wenn auch die Drähte von demselben Metalle wie die Platten genommen waren, so war es doch möglich, daß irgend ein kleiner Unterschied in den Bestandtheilen beider Metalle vorhanden war, oder es bewirkte der Härteunterschied zwischen Draht und Platten bei der Erwärmung ihrer Verbindungsstelle einen thermoelektrischen Strom.

Es könnte aber nun bei den oben beschriebenen Versuchen der Einwand erhoben werden, daß die Leitung der Wärme im Innern der Säule, oder die Wärmestrahlung der Flamme selbst nothwendigerweise bei der Erwärmung irgend eines Theiles, der nicht genau in der Mitte der Säule liegt, die Erwärmung des einen Endes der Säule, und somit der Verbindungsstelle zwischen Platte und Draht auf der einen Endseite früher bewirkt, als auf der anderen; dadurch würde zwischen Platte und Draht ein thermoelektrischer Strom entstehen müssen, der im ersten Moment nicht durch den am entgegengesetzten Ende erregten von gleicher Intensität und entgegengesetztem Zeichen ausgeglichen werden kann.

Um zur Entscheidung zu gelangen, ob der beobachtete Strom ein gewöhnlicher Thermostrom sey, hervorgebracht durch die Erwärmung der Berührungsstelle zwischen Silberdraht und Silberplatte, wurden zunächst die Silberplatten an den Enden der Säule direct mit den Kupferdrähten des Galvanometers verbunden. Die Ausschläge des Spiegels waren bei dieser Anordnung und bei einseitiger Erwärmung der Silbersäule folgende:

$$250 - 245 = 5 \text{ gegen Wismuth.}$$

Nach der Abkühlung:

$$250 - 245 = 5 \text{ gegen Wismuth.}$$

Nach neuer Umstellung der abgekühlten Platten:

$$250 - 246,5 = 3,5 \text{ gegen Wismuth.}$$

$$250 - 246 = 4 \text{ gegen Wismuth.}$$

Bei Erwärmung der gegenüberliegenden Seite der Säule war der entstehende Strom entgegengesetzt gerichtet.

Wenngleich diese letzten Versuche dasselbe Resultat liefern, wie die vorhergehenden, so sind sie doch noch nicht entscheidend, und beseitigen noch nicht den oben erhobenen Einwand. Es würde nämlich der bei der Erwärmung der Berührungsstelle vom Kupfer zum Silber gerichtete Strom die oben genannten Ablenkungen hervorgerufen haben, wenn die wegen der schiefen Lage der Platten der Strahlung der Flammenspitze mehr ausgesetzte eine Berührungsstelle zwischen Silber und Kupfer, bei nicht hinreichend sicherem Schutz durch die oben erwähnten Korkstückchen, erwärmt worden wäre. Es wurden daher zunächst die Kupferdrähte des Galvanometers durch Eisendrähte ersetzt, die dann erst mit den Galvanometerdrähten verbunden waren. Bei einer solchen Anordnung hätte der Strom, wenn der genannte Grund einer Erwärmung der Berührungsstelle zwischen Plättchen und Draht ihn hervorbringt, nothwendigerweise eine entgegengesetzte Richtung haben müssen, als bei der directen Verbindung der Platten mit Kupfer, da der positive thermoelektrische Strom bei der Erwärmung an der Berührungsstelle vom Silber zum Eisen, aber vom Kupfer zum Silber gerichtet ist.

Bei dieser neuen Anordnung zeigte sich im Moment der einseitigen Erwärmung der Silbersäule:

$$250 - 247 = 3 \text{ gegen Wismuth.}$$

Nach der Abkühlung und neuer Schichtung der Platten:

$$250 - 247 = 3 \text{ gegen Wismuth.}$$

Bei Erwärmung der gegenüberliegenden Seite der Säule nach der Abkühlung:

$$250 - 253 = 3 \text{ gegen Wismuth}$$

also wieder dasselbe Resultat, wie vorher.

Es ist somit der Grund der Entstehung des beobachteten thermoelektrischen Stromes nicht außerhalb der Säule an den Verbindungsstellen derselben mit den Drähten, sondern in der Säule selbst zu suchen.

Von geringerem Interesse war es, nach den zuletzt beschriebenen Versuchen, durch andere Drähte die Silbersäule mit den Drähten des Galvanometers zu verbinden. Es wurden jedoch noch Neusilberdrähte angewandt, und, nachdem sie die Verbindung zwischen den Silberplatten und Galvanometerdrähten hergestellt hatten, zeigte, bei Erwärmung einer Seite der Silbersäule, der Spiegel eine Ablenkung von

$$250 - 247 = 3 \text{ gegen Wismuth.}$$

Die Erwärmung der gegenüberliegenden Seite der Säule nach der Abkühlung brachte eine ungefähr gleiche Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite hervor.

Bei allen diesen Versuchen fand die Erwärmung der Platten nahezu in der Mitte der ganzen Plattensäule statt; ziemlich bedeutende Aenderungen der Erwärmungsstelle bewirkten jedoch keine anderen Ausschläge des Galvanometer spiegels. Wurde jedoch sehr nahe an der Berührungsstelle des Verbindungsdrahtes die Säule dem Spiel der Aeolipilflamme ausgesetzt, so überwog der viel kräftigere Strom, der durch die Erwärmung der Berührungsstelle zweier verschiedenartigen Metalle hervorgebracht wurde.

Folgende Resultate ergaben sich als Mittel aus etwa zehn an verschiedenen Tagen angestellten Versuchen:

Silber III gab einen Strom in entgegengesetztem Sinne wie Wismuth von der mittleren Intensität 4,5 ¹⁾).

Die Zinkplättchen erregten bei der einseitigen Erwärmung der aus ihnen aufgebauten Säule einen Strom, wie er sich beim Wismuth zeigt, der Spiegel zeigte eine mittlere Ablenkung von 3,5 Theilstrichen des Spiegelbildes der Scala.

1) Die mitgetheilten Zahlen geben nur die Intensität des den Galvanometerdraht durchströmenden Stromes an, aber, wie schon oben gesagt, können sie nicht zum Vergleich der elektrischen Kraft dienen, wie sie den einzelnen Metallen unter gleichen Bedingungen zukommen würde.

Bei den letzten 3 Versuchen bewirkte die Erwärmung der Zinksäule im Augenblick des Anschlagens der Flamme einen momentanen Ausschlag nach der entgegengesetzten Richtung, der aber gleich darauf in die genannte Ablenkung umschlug.

Die drei oben beschriebenen Arten von Neusilberplatten gaben einen nur an Intensität verschiedenen Strom, der die entgegengesetzte Richtung hatte, als der im Wismuthkry-
stall erregte. Der Strom war am stärksten (zwischen 3 und 4 Theilstrichen der angewandten Scala) bei den dickeren polirten Platten, am schwächsten bei Anwendung der 150 dünneren Platten, bei deren einseitiger Erwärmung der Spiegel nur eine Drehung machte, die einen Theilstrich der Scala dem Faden des Fernrohrs vorüberführte. Diese geringe Stromintensität hat aber wahrscheinlich nur ihren Grund in dem großen Leitungswiderstand, der dem Strom entgegengestellt wird.

Vor jedem Versuch wurde, nachdem die Säule, mit welcher der Versuch angestellt werden sollte, eingeschaltet war, ein Kupfer-Wismuth-Element in den Leitungsdraht befestigt, und die Berührungsstelle beider Metalle mit dem Finger berührt, theils damit über die Richtung des Stroms kein Zweifel entstehe, theils auch um zu sehen, ob die Leitung nicht an irgend einer Stelle unterbrochen sey. Dieser so erzeugte thermoelektrische Strom liefs bei den meisten Metallen die Scala vollständig den Augen entswinden, so groß war der Ausschlag des Spiegels. Bei Einschaltung der Neusilbersäulen entzog aber der Probestrom nicht die Scala dem Beobachter; der Ausschlag betrug sogar nur 10 bis 20 Theilstriche bei Anwendung der Säule mit 150 dünnen Neusilberplatten.

Die Messingplatten bewirkten bei einseitiger Erwärmung einer aus ihnen aufgebauten Säule einen Ausschlag von 2 bis 3 Theilen der Scala im Sinne des Wismuth.

Die sehr dünnen Kupferplatten waren durch Kupferstreifen von denselben Blechen, aus denen sie geschlagen waren, mit den Drähten des Galvanometers verbunden.

Da also hier von einem Strom zwischen den Platten und dem dieselben mit den Drähten verbindenden Metall abgesehen werden konnte, wurden zunächst nur 300 Plättchen aneinandergeprefst, die allerdings der Flamme keine große Fläche darboten; auf der einen Seite erwärmt, gab diese kurze Säule einen Strom von

$$250 - 247,5 = 2,5 \text{ gegen Wismuth.}$$

Nach der Abkühlung auf der gegenüberliegenden Seite erwärmt:

$$250 - 251 = 1 \text{ gegen Wismuth.}$$

Bei Anwendung von 1100 Platten schwankte die Ablenkung des Spiegels zwischen 1,5 und 2 Theilen der Scala. Nach Zusammenstellung aller 1500 Platten bewirkte die Stromintensität, je nach der durch stärkeres Pressen veranlassten innigeren Berührung der Platten eine Ablenkung des Galvanometerspiegels von 1,5 bis 2,5 Theilen der Scala. Der Strom war auch hier entgegengesetzt gerichtet, wie im krystallisirten Wismuth.

Von den untersuchten Metallen zeigen also bei einer schiefen Plattenschichtung und einseitigen Erwärmung der dadurch entstandenen Säule, zwölfköthiges Silber, Zink und Messing einen Strom, wie er bei geschichtetem (krystallisirtem) Wismuth beobachtet wird; feines Silber aber, Silber mit 78 Proc. Kupfer, Neusilber und Kupfer einen entgegengesetzt gerichteten Strom. Die Intensität des Stromes ist beim Wismuth, wegen der unvergleichbar innigeren Berührung der dünneren Schichten, eine viel größere, als bei den künstlich geschichteten Metallen.

Das Bestreben, die Ursache des thermoelektrischen Stromes im gleichförmig krystallisirten Wismuth zu finden, veranlasste den Verfasser zu den vorangegangenen Versuchen. Eine Erklärung scheint ihm danach aus bekannten Thatsachen abgeleitet werden zu können.

In diesen Annalen Bd. 83 veröffentlichte Hr. Prof. Magnus Untersuchungen über thermoelektrische Ströme, und bewies unter Anderem, daß bei Drähten desselben Metalles ein bestimmt gerichteter Strom entsteht, wenn ein

erwärmter Draht mit einem kalten Draht desselben Metalles in Berührung gebracht wird.

Es sey gestattet von der oben gezeichneten Figur einen kleinen Theil nach der Längsrichtung gedehnt zu zeichnen, so daß ab , a_1b_1 u. s. w. die zu breit gezeichneten feinen Silber-

platten vorstellen. In dem Augenblick, wo die Flamme die obere Seite einer solchen Säule berührt, ist der der Flamme zugewandte Theil einer jeden Platte z. B. hier die Theile a , a_1 , a_2 u. s. w. stark erwärmt, während der abgewandte Theil (b , b_1 , b_2) kühl, jedenfalls weniger warm ist; es ist also zwischen a und b , zwischen a_1 und b_1 u. s. w. der Grund zur Erregung eines thermoelektrischen Stromes gegeben, der, wenn man bedenkt, daß bei der Berührung eines kalten und eines warmen feinen Silberdrahtes der Strom vom kalten zum warmen Draht gerichtet ist, in den Platten von b nach a , von b_1 nach a_1 u. s. w. gerichtet seyn muß. Alle diese Platten sind also als kleine thermoelektrische Elemente zu betrachten, von sehr schwacher Wirkung, da hier nicht plötzlich die Berührung eines kalten und eines warmen Metallpunktes stattfindet, sondern nur ein allmählicher Uebergang vom kalten zum warmen Metall; aber, wie bei jeder Säule, so addiren sich auch hier die einzelnen entstehenden Ströme, und können in ihrer Gesamtheit sichtbar werden, wenn das Galvanometer den hinreichenden Grad von Empfindlichkeit besitzt. Es ist aber ebenso klar, daß, wenn die gegebene Erklärung richtig ist, der auf dieselbe Weise durch Erwärmung der Seite bb_1b_2 entstehende Strom die entgegengesetzte Richtung haben muß. Ferner muß auch (und verschiedene Versuche ergaben diese Vermuthung als richtig) nach einer Drehung der Platten um 90° gegen die gezeichnete Lage, wenn also die von links nach rechts in der Figur sich neigenden Platten von rechts nach links geschichtet sind, die Erwärmung von aa_1a_2 einen Strom bewirken, der demjenigen entgegengesetzt ist, welcher an einer wie die Figur

geschichteten Säule durch Erwärmung derselben Seite entstehen würde.

Wie die Drähte von feinem Silber, so verhalten sich auch (Pogg. Ann. Bd. 83, S. 493) Neusilber- und Kupferdrähte. Die Richtung des Stromes stimmt bei den Platten aus feinem Silber, aus Neusilber und Kupfer überein. Beim Neusilber ist freilich der Strom, der bei der Berührung des warmen und kalten Drahtes entsteht, der intensivste, aber oben ist gezeigt worden, daß der große Widerstand in der Neusilbersäule eine bedeutende Schwächung des Stromes bewirkte.

Wäre man im Stande, zwei Wismuthstangen ohne vorherrschende krystallinische Structur zu gießen, so würde beim Erwärmen des Endes der einen und Berührung desselben mit dem kalten Ende der anderen der Strom, unter Annahme der oben gegebenen Erklärung, von der warmen zur kalten Wismuthstange gehen; denn nur dann kann der Strom bei einer Erwärmung von aa_1a_2 von a nach b in jeder einzelnen Schicht, also, auf obige Zeichnung bezogen, von links nach rechts in dem ganzen krystallisirten Stück gerichtet seyn. Da aber stets das vorherrschend krystallinische Gefüge der Wismuthstangen die Stromrichtung bedingt, sind die Versuche über die Frage nie entscheidend ausgefallen, wenn nicht das erwärmte Ende selbst, vermöge seiner bestimmten und bekannten Schichtung, einen Strom in sich entstehen liefs, dessen Leiter das berührende kalte Wismuth wurde ¹⁾.

Die Drähte von Zink, Messing und zwölfblöthigem Silber erregten bei der Berührung eines warmen und kalten Drahtes einen Strom vom warmen zum kalten Draht (Pogg. Ann. Bd. 83, S. 493). Auf obige Figur bezogen mußte also der Strom bei diesen Metallen in den einzelnen Platten von a nach b , von a_1 nach b_1 u. s. w. gehen, also eine Richtung haben, die der vorhin beschriebenen Richtung entgegentritt, wenn die Erwärmung auf der Seite aa_1a_2 erfolgt. Bei Erwärmung der gegenüberstehenden Säulen-

1) Vergl. Pogg. Ann. Bd. 83, S. 494.

seite muß wieder der entgegengesetzt gerichtete Strom auftreten. So stehen auch die Platten von Zink, Messing und zwölfblöthigem Silber den Platten der anderen genannten Metalle gegenüber; die Stromrichtung ist bei ihnen eine entgegengesetzte wie beim feinen Silber, Neusilber und Kupfer.

Es ist schon oft die Vermuthung ausgesprochen worden, daß die Pyroelektricität der Mineralien mit der Thermo-
elektricität in engem Zusammenhange stehe. Der Unterschied liege nur in der geringeren Leitungsfähigkeit derjenigen Körper, welche pyroelektrische Erscheinungen zeigen, gegenüber den Metallen, an denen die thermoelektrischen Erscheinungen beobachtet sind. Von Anderen wird der Unterschied beider Elektricitäten dem zwischen statischer und dynamischer, zwischen Reibungs- und Strom-Elektricität gleichgestellt ¹⁾.

Sollten nicht die oben mitgetheilten Versuche einen Beitrag geben, die Erklärung der Pyroelektricität zu erleichtern? Die erwähnten Erscheinungen sind hervorgetreten an einem und demselben Körper durch künstliche krystallinische Nachbildung. Freilich läßt sich an keinem von den als pyroelektrisch bekannten Mineralien ein Strom, der durch ein Galvanometer erkennbar wäre, nachweisen, aber von der krystallinischen Structur abhängige Merkmale zeigen deutlich vor dem Versuch den, nach der Erwärmung am Elektroskope wahrnehmbaren, positiven und den entgegengesetzten negativen Pol des Krystalls. Die Bildung der Turmalinkrystalle könnte an dem Ende aufgehört haben, das die Flächen des Hauptrhomboëders auf die Flächen des gewöhnlichen dreiseitigen Prismas aufgesetzt zeigt ²⁾, von dem anderen Ende beginnend könnte sich beim Turmalin Schicht auf Schicht so gelagert haben, wie die Hauptrhomboëderflächen am gegenüberstehenden Ende der dreiseitigen Säule es angeben. Dann wären beim Turmalin die Schichten so geordnet, daß bei beliebiger Erwärmung

1) Pfaff in Gehler phys. Wörterbuch Bd. 9, S. 732 und 819.

2) Vergl. G. Rose in Pogg. Ann. Bd. 49, S. 315.

des Krystalls am ganzen Körper alle Schichten in gleichem Sinne Elektricität geben müßten, und nicht wie die oben beschriebenen Metallsäulen, oder wie krystallisirtes Wismuth, entgegengesetzte Elektricität bei Erwärmung gegenüberliegender Seiten. Viele ältere und neuere Versuche scheinen die eben angedeutete Hypothese zu unterstützen. Die Nothwendigkeit der krystallinischen Structur zur Erreichung einer pyroelektrischen Erregung ist stets anerkannt worden, nachdem Rinman und Wilson gezeigt hatten, daß der Turmalin seine pyroelektrischen Eigenschaften verliert, wenn er bis zum Schmelzen erhitzt war ¹⁾. Die Beobachtung von Forbes, daß ein Turmalin an beiden Enden gleiche Elektricität zeigte ²⁾, könnte gegen die Richtigkeit der ausgesprochenen Andeutung angeführt werden, wenn nicht schon Brewster sie aus einer Zwillingsbildung des Krystalles erklärt hätte ³⁾. Bei vielen Krystallen steht ihre pyroelektrische Polarität in deutlicherem Zusammenhang mit ihrer Entstehung, als beim Turmalin, z. B. zeigt nach Riefs und Rose ⁴⁾ das Kieselzinkerz am aufgewachsenen Ende stets beim Erwärmen negative Elektricität, am freien Ende positive. Auch bei diesem Mineral wurden Zwillingskrystalle untersucht ⁵⁾, welche an beiden Enden beim Erwärmen gleiche, nämlich positive Elektricität zeigten, und in der Mitte negative. Rechts- und Linkstraubensäure, äußerlich nur dadurch unterscheidbar, daß der Krystall der einen das Spiegelbild des Krystalls der anderen ist, zeigen beim Erwärmen Beide elektrische Pole, aber das Krystallende, das beim Erwärmen bei der Rechts- und Linkstraubensäure positive Elektricität giebt, läßt bei der Linkstraubensäure negative erkennen ⁶⁾.

1) Gilb. Ann. Bd. 55, S. 378.

2) Gehler phys. Wörterb. Bd. 9, S. 1101.

3) Pogg. Ann. Bd. 2, S. 297.

4) Pogg. Ann. Bd. 59, S. 353.

5) Pogg. Ann. Bd. 59, S. 368.

6) Pasteur *Ann. de chim. et de phys.* T. 28, p. 56; Pogg. Ann. Bd. 80, S. 136.

Wiewohl diese einzelnen Beispiele für die oben ange-deutete Hypothese zu sprechen scheinen, ist es dem Ver-fasser nicht entgangen, wie sich die Schwierigkeiten einer Erklärung der Pyroelektricität durch die thermoelektrischen Erscheinungen an demselben Metall häufen, sobald der Kry-stall mehrere pyroelektrische Axen zeigt; es müßten in die-sen Fällen zum Theil die verschiedenen Blätterdurchgänge als ebenso viele Elektrizitätsquellen angesehen werden, und doch würden sich aus einer solchen Annahme noch nicht ohne weitere Schwierigkeit alle die schönen Resultate ab-leiten lassen, welche in der schon oft hier angeführten Abhandlung der Herren Riefs und Rose »Ueber die Pyroelektricität der Mineralien« enthalten sind. — Es be-zwecken auch diese letzten Zeilen nicht, eine feste Hypo-these aufzustellen, sondern nur die Möglichkeit einer sol-chen anzudeuten.

Es mögen zum Schluß dieser Mittheilung noch einmal die Hauptresultate der Untersuchungen, kurz zusammen-gefaßt, folgen:

- 1) Wenn dünne Plättchen desselben Metalles schief ge-schichtet werden, so zeigen sie bei einseitiger Er-wärmung der durch die Schichtung entstandenen Säule einen durch ein Galvanometer meßbaren Strom, des-sen Richtung entgegengesetzt ist, je nachdem die obere oder untere Kante der liegenden Säule erwärmt wird. Wenn man die Metallplättchen an Stelle des Hauptblätterdurchganges des Wismuth gelegt denkt, so ist der beobachtete Strom bei zwölflöthigem Silber, Zink und Messing ebenso gerichtet, wie bei gleich-förmig krystallisirtem einseitig erwärmtem Wismuth, bei schiefer Lage der Blätter. Feines Silber aber, Silber mit 78 Proc. Kupfer, Neusilber und Kupfer zeigen einen entgegengesetzt gerichteten Strom.
- 2) Diese beobachteten Ströme gestatten eine Erklärung, welche sich auf frühere Beobachtungen thermoelek-trischer Ströme an gleichartigen Metallen stützt. Ein kalter und warmer Draht desselben Metalles geben

bei der Berührung einen thermoelektrischen Strom. Jedes der Plättchen der aufgebauten Metallsäule wird bei einseitiger Erwärmung zunächst der Wärmequelle warm, die entfernte Hälfte des Plättchens ist verhältnißmäßig kalt. Die in jeder Platte auf ähnliche Art wie in den kalten und warmen Drähten erzeugten Ströme addiren sich, und bewirken die Ablenkung der Nadel des Galvanometers. Der Strom muß verschiedene Richtung haben bei den Metallen, in deren Drähten die positive Elektricität vom warmen zum kalten Draht geht, und bei denen, in deren Drähten der Uebergang der positiven Elektricität vom kalten zum warmen Draht stattfindet. Die Beobachtungen an den Plattensäulen stimmen mit den Resultaten, die hiernach vor dem Versuch erwartet wurden, überein.

- 3) In einer Schlußbemerkung weist der Verfasser darauf hin, daß diese gewonnenen Resultate wohl dazu dienen könnten, die Erklärung der pyroelektrischen Erscheinungen an Mineralien zu erleichtern.

**V. *Ueber kleine Wirbelbewegungen in Gemischen von Wasser und flüchtigen Flüssigkeiten;*
von J. Harting.**

(Vorgetragen in der Sitzung der K. Niederländ. Akademie der Wissensch.
am 30. Juni 1855.)

Die erste Beobachtung sehr kleiner Bewegungen ist manchmal der Anfang einer Reihe wichtiger Entdeckungen gewesen, durch welche zahlreiche Erscheinungen in der Natur ihre Erklärung gefunden haben. Die schwache Anziehung, die ein geriebenes Stückchen Bernstein auf leichte Körperchen ausübt, die krampfhaften Zuckungen, die ein glücklicher Zufall in den Schenkeln eines Frosches erregte, sind die