Erhöhung anzeigen. Dieser Versuch ist rascher und einfacher als der, welchen man beschrieben hat, wo man einen Körper mehrmals aus einer gewissen Höhe herabfallen läßt und darauf mit der Säule in Berührung setzt.

X. Ueber die von Hrn. Tait erhobenen Einwände gegen meine Behandlung der mechanischen Wärmetheorie; von R. Clausius.

Hr. Tait hat auf meine Bemerkungen zur Geschichte der mechanischen Wärmetheorie ¹⁾ eine Antwort veröffentlicht ²⁾, welche der Sache eine für mich angenehme Wendung giebt. Er bestreitet nämlich darin nicht die Priorität meiner Untersuchungen, sondern ihre Richtigkeit. Demnach handelt es sich jetzt nicht mehr um historische und persönliche Auseinandersetzungen, sondern um wissenschaftliche Erläuterungen, die, wegen der Wichtigkeit des Gegenstandes, den sie betreffen, vielleicht nicht ohne allgemeineres Interesse seyn dürften. Ich will daher auch von dem etwas gereizten Tone der Antwort ganz absehen, und nur ihren sachlichen Inhalt in Betracht ziehen.

Der von mir zum Beweise des abgeänderten Carnot'schen Satzes angewandte Grundsatz, *daß die Wärme nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen kann*, war, wie ich schon in meinem vorigen Artikel erwähnt habe, von W. Thomson sofort als richtig anerkannt, und ist seitdem von vielen anderen Autoren ebenfalls zu dem gleichen Beweise benutzt worden. Hr. Tait dagegen erklärt ihn jetzt für falsch.

Von den beiden von ihm zur Widerlegung des Satzes angeführten Erscheinungen will ich zunächst diejenige

1) Januarheft dieser Annalen S. 132.

2) Märzheft dieser Annalen S. 496.

besprechen, von welcher er sagt, daß sie einen ausgezeichneten Beweis für die Unrichtigkeit des Grundsatzes liefere. Es ist nämlich die Erscheinung, daß eine thermo-elektrische Batterie, bei welcher der Siede- und Gefrierpunkt des Wassers als Temperaturen der Löthstellen angewandt werden, im Stande ist, einen feinen Draht zum Glühen zu bringen.

Ich selbst habe eine Abhandlung geschrieben, in welcher ich die mechanische Wärmetheorie auf die thermoelektrischen Erscheinungen angewandt habe ¹⁾. Darin habe ich gezeigt, daß ein thermo-elektrisches Element (und natürlich ebenso eine thermo-elektrische Batterie) sich mit einer Dampfmaschine vergleichen läßt, indem die erwärmte Löthstelle dem Kessel und die kalte Löthstelle dem Condensator entspricht. An der warmen Löthstelle wird einem Wärmereservoir, dessen Temperatur wir t_1 nennen wollen, Wärme entzogen, und an der kalten Löthstelle wird an ein anderes Wärmereservoir, dessen Temperatur t_0 heißen möge, Wärme abgegeben. Die abgegebene Wärmemenge ist aber etwas geringer, als die aufgenommene, und wir wollen daher die abgegebene Wärmemenge für die Zeiteinheit mit Q und die aufgenommene mit $Q+q$ bezeichnen. Der eine Theil q der letzteren Wärmemenge wird zu der für die Erzeugung des elektrischen Stromes nöthigen Arbeit verbraucht, und der andere Theil Q geht aus einem Körper von der Temperatur t_1 in einen anderen von der Temperatur t_0 über.

Wenn man die Arbeit, welche von einer Dampfmaschine geleistet wird, dazu verwendet, um Reibungswiderstände oder sonstige passive Widerstände zu überwinden, so verwandelt sie sich dabei wieder in Wärme und kann unter geeigneten Umständen eine Temperatur erzeugen, die weit über der des Dampfkessels liegt. Ebenso kann bei der thermo-elektrischen Batterie die Arbeit, welche geleistet werden mußte, um die Elektrizität in Bewegung zu setzen,

1) Diese Annalen Bd. 90, S. 513 und Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie Bd. II, S. 175.

sich bei der Ueberwindung von Leitungswiderständen wieder in Wärme verwandeln, und kann auch hier unter geeigneten Umständen eine Temperatur erzeugen, die viel höher ist, als diejenige der erwärmten Löthstellen. Es kann z. B., wie Hr. Tait anführt, wenn die erwärmten Löthstellen nur die Temperatur des siedenden Wassers haben, ein Draht bis zum Glühen erhitzt werden.

Bezeichnen wir die Temperatur, welche der Draht annimmt, und welche dann beliebig lange constant erhalten werden kann, mit t_2 , so können wir sagen: ein Theil derjenigen Wärmemenge q , welche in der Batterie zu Arbeit verbraucht wird, kommt in einem anderen Körper von der Temperatur t_2 wieder als Wärme zum Vorschein. Da nun jene zu Arbeit verbrauchte Wärme aus einem Wärmereservoir von der Temperatur t_1 her stammt, so erhalten wir als ein Resultat des Processes den Uebergang einer gewissen Wärmemenge aus einem Körper von der Temperatur t_1 in einen Körper von der höheren Temperatur t_2 .

Die Frage, um deren Entscheidung es sich handelt, ist nun die, ob dieser Wärmeübergang von niederer zu höherer Temperatur *von selbst* stattgefunden hat.

Unter der kurzen Bezeichnung *von selbst* verstehe ich, wie ich es vielfach erläutert habe, *ohne gleichzeitiges Eintreten einer anderen als Compensation dienenden Veränderung*. Sofern wir es mit Kreisprocessen zu thun haben, giebt es zwei Arten von Veränderungen, welche als Compensation dienen können, nämlich erstens den Uebergang von Wärme aus einem wärmeren in einen kälteren Körper, und zweitens den Verbrauch von Arbeit oder, bestimmter ausgedrückt, die Verwandelung von Arbeit in Wärme.

Betrachten wir nun unter diesem Gesichtspunkte unsere thermo-elektrische Batterie mit dem dünnen Leitungsdrahte, welcher zum Glühen gebracht wird, so sehen wir, daß zwar die Wärmemenge q zum Theil von der Temperatur t_1 zur höheren Temperatur t_2 übergeht, daß aber gleichzeitig die andere Wärmemenge Q von der Temperatur t_1 zur *niederen* Temperatur t_0 übergeht. Dieser letztere

Wärmeübergang bildet die Compensation des ersteren, und wir dürfen daher nicht sagen, der erstere Wärmeübergang habe *von selbst* stattgefunden.

Der hier besprochene Fall ist so einfach und klar, daß man ihn als ein ganz geeignetes Beispiel zur Erläuterung und Bestätigung meines Grundsatzes wählen könnte, und gerade diesen Fall hat Hr. Tait zum Beweise seiner Unrichtigkeit ausgewählt.

Als anderen Fall, welcher meinem Grundsatz widersprechen soll, führt Hr. Tait eine thermo-elektrische Kette an, in welcher die heiße Löthstelle eine Temperatur hat, die höher ist, als der neutrale Punkt. Es handelt sich also um eine solche thermo-elektrische Kette, bei welcher durch gesteigerte Erwärmung der einen Löthstelle der Strom nicht fortwährend verstärkt wird, sondern wo der Strom von einer gewissen Temperatur an wieder abnimmt und bei noch weiterer Steigerung der Temperatur sogar seine Richtung ändern kann.

Diese Erscheinung habe ich ebenfalls in meiner oben citirten Abhandlung schon besprochen. Ich habe sie durch die Annahme zu erklären gesucht, daß in einem der beiden Metalle, aus denen eine solche Kette besteht (oder auch in allen beiden), durch die Temperaturveränderung eine Aenderung des Molekularzustandes veranlaßt wird, welche bewirkt, daß der veränderte Theil des Metalles sich zum unveränderten Theile in elektrischer Beziehung so verhält, wie zwei verschiedene Metalle. Sobald eine Aenderung dieser Art eingetreten ist, wirken nicht nur an den Berührungsstellen verschiedener Metalle, sondern auch da, wo verschieden beschaffene Theile desselben Metalles sich berühren, elektromotorische Kräfte. Demnach wird nicht bloß an den Löthstellen, sondern auch an anderen Stellen, welche sich im Innern der einzelnen Metalle befinden, Wärme erzeugt oder verbraucht, und wir müssen daher, um alle vorkommenden Wärmeübergänge zu bestimmen, nicht bloß die Temperaturen der Löthstellen,

sondern auch die Temperaturen jener anderen Stellen berücksichtigen.

Dadurch wird natürlich die Sache complicirter. Auch haben wir von den erwähnten Veränderungen, obwohl ihr Vorhandensein in einzelnen Fällen schon nachgewiesen ist, doch noch zu wenig specielle Kenntnisse, um alle in einer solchen Thermokette stattfindenden Vorgänge in's Einzelne verfolgen zu können. Indessen wird man nicht in Abrede stellen, daß in der von mir gemachten Annahme wenigstens die Möglichkeit einer Erklärung liegt, und jedenfalls wird man zugeben, daß eine Erscheinung, bei welcher noch *unbekannte* Umstände mitwirken, nicht geeignet ist, als Beweismittel für oder gegen einen aufgestellten Satz zu dienen.

Zuletzt sagt Hr. Tait in seiner Antwort noch, daß ich durch die Einführung der Begriffe der *inneren Arbeit* und der *Disgregation* der Wissenschaft Schaden zugefügt habe.

Was Hr. Tait gegen den Begriff der *inneren Arbeit* hat, ist mir nicht verständlich. Seit ich in meiner ersten Abhandlung über die mechanische Wärmetheorie, die von der Wärme bei der Zustandsänderung eines Körpers geleistete Arbeit in *äußere* und *innere* Arbeit unterschieden und dann gezeigt habe, daß diese beiden Arbeitsgrößen in ihrem Verhalten wesentlich von einander abweichen, ist diese Unterscheidung, soviel ich weiß, von allen Autoren, welche über die mechanische Wärmetheorie geschrieben haben, in gleicher Weise angewandt.

Was ferner den Begriff der *Disgregation* anbetrifft, so sind gerade jetzt von Boltzmann und mir Untersuchungen veröffentlicht, durch welche dieser Begriff eine allgemeine mechanische Bedeutung gewinnt, und wenn die hierauf bezüglichen Untersuchungen auch noch nicht abgeschlossen sind, so glaube ich doch, daß sie schon jetzt erkennen lassen, daß die Einführung dieses Begriffes durch die Natur der Sache geboten war.

Schließlich möchte ich mir erlauben, die Punkte, auf welche die Einwürfe des Hrn. Tait sich beziehen, noch

einmal ausdrücklich zu constatiren, um dadurch jeder späteren Verschiebung des Standpunktes vorzubeugen. Hr. Tait behauptet 1) der Satz, daß die Wärme nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen kann, sey falsch, und 2) die Einführung dessen, was ich *innere Arbeit* und *Disgregation* genannt habe, sey für die Wissenschaft nachtheilig. Die Entscheidung über diese beiden Punkte, soweit sie überhaupt noch zweifelhaft sind, glaube ich getrost der Zukunft überlassen zu können, und damit wird auch dieser Streit sich ganz von selbst endgültig entscheiden.

Bonn, Mai 1872.

XI. Ueber die temporäre Doppelbrechung der Körper durch einseitigen Druck; von E. Mach.

Zum Zwecke der spectralen Untersuchung tönender Körper, deren Princip im Tageblatt No. 4 der 44. Naturforscherversammlung in Rostock 1871 mitgetheilt ist, habe ich einige quantitative Bestimmungen der Doppelbrechung des gedehnten Spiegelglases ausgeführt.

Schaltet man zwischen die gekreuzten Nicols zugleich mit einem passend orientirten Gypsblättchen das zu dehnende Glas ein, so enthält das Spectrum des durch dieses System durchtretenden Lichtes die bekannten dunklen Interferenzstreifen. Diese Interferenzstreifen verschieben sich, sobald die Dehnung beginnt. Durch einen eingeschalteten Quarzcompensator kann man die einer bestimmten Dehnung entsprechende Streifenverschiebung wieder vernichten und die entsprechende ein- oder ausgeschaltete Quarzdicke ablesen.

Aus mehreren Versuchsreihen ergab sich, daß gedehntes Spiegelglas, bei welchem 50 Kilogr. Zug auf 1^{cm} Quer-