die mittlere Zeitdauer einer Bewegungsperiode genannt habe, wesentlich verschieden. Der zweite Punkt der Abweichung liegt in der Art, wie wir die Temperatur definiert haben. Die specielle Erörterung dieser beiden Unterschiede würde aber hier zu weit führen, und ich behalte mir daher vor, an einem anderen Orte darauf zurückzukommen¹⁾.

Schließlich wird es vielleicht nicht überflüssig seyn, zu bemerken, daß der etwas früher in einer anderen Abhandlung von mir veröffentlichte Satz, daß bei jeder stationären Bewegung die mittlere lebendige Kraft gleich dem Virial ist, ganz außerhalb der hier behandelten Prioritätsfrage liegt. Dieser Satz ist, soviel ich weiß, vor mir von Niemand ausgesprochen.

VII. Ueber die Wärme-Entwicklung beim Ausziehen des Kautschuks; vom Prof. E. Villari.

(Rendiconto del R. Instit. Lombardo, Ser. II, Vol. II.)

In einer der K. Gesellschaft zu London 1857 gemachten Mittheilung, setzt Joule einige Untersuchungen über die Wärme-Effecte auseinander, welche beim Ausziehen und Zusammenziehen von Fäden verschiedener Substanzen auftreten. Aus der genauen Untersuchung dieses Gegenstandes geht hervor, daß Metalldrähte sich beim Ausziehen erkälten, und beim Zusammenziehen erwärmen, Fäden von vulkanisirtem Kautschuk aber sich ganz umgekehrt verhalten, sich beim Ausziehen erwärmen, und beim Zusammenziehen erkälten²⁾. Diese sonderbare Thatsache ist später von an-

1) Nachdem dieser Artikel schon zum Drucke abgesandt war, habe ich im weiteren Verlaufe meiner Untersuchungen gefunden, daß die fraglichen Ausdrücke, um allgemein gültig zu seyn, noch einer Aenderung bedürfen, welche sie von den Boltzmann'schen noch verschiedener machen wird.

2) Joule, *Philosoph. Mag.* Vol. XIV (1857) p. 226. — [An nicht vulkanisirtem Kautschuk ist diese merkwürdige Eigenschaft zuerst von John Gough entdeckt und zwar auf die sehr einfache Weise, daß er den Kautschukfaden beim Ausziehen an die Lippen brachte. Siehe Nicholson's *Journ.* Vol. XIII (1806) p. 305 und daraus in Gehlen's *Journ.* Bd. IX (1810) S. 217. P.]

deren Physikern untersucht worden, z. B. von Govi¹⁾ und zuletzt von Pierre²⁾ und immer mit demselben Resultat.

Bei meinen neuern Untersuchungen über die Elasticität des Kautschuks hatte ich Gelegenheit, die Versuche von Joule an Fäden, Schnüren und Streifen von Kautschuk verschiedener Dimensionen zu wiederholen, und zwar mittels eines sehr einfachen Apparats. Derselbe bestand aus einer Melloni'schen Thermosäule, verbunden mit einem Galvanometer und aufgehängt an Seidenfäden, solcher Gestalt, daß sie leicht auf den zu untersuchenden Kautschukstreifen hinabgelassen oder von ihm abgehoben werden konnte. Der Kautschukstreifen war demnach horizontal, befestigt an einem seiner Enden an einem starken Holztisch und an dem andern an einem Hebel, um ihn leicht spannen und nachlassen zu können. Die Thermosäule wurde jedesmal, wenn man das Kautschuk auszog oder nachliefs, gehoben und darauf mit ihrem ganzen Gewicht auf dasselbe gesetzt, um die hervorgebrachte Temperaturveränderung zu bestimmen.

Aus den mit diesem Apparat angestellten Untersuchungen ging hervor, übereinstimmend mit den Arbeiten der erwähnten Physiker, daß das Kautschuk sich beim Ausziehen erwärmt, und beim Zusammenziehen erkaltet. Als neue Thatsache (denn ich weiß nicht, daß sie schon von Anderen bemerkt worden wäre) will ich hier hervorheben, daß die Temperatur-Erhöhung beim Ausziehen im absoluten Werthe größer ist als die Temperatur-Erniedrigung beim Zusammenziehen. Dieser Unterschied zeigt sich oft, wenn man die Zunahme der Temperatur beim Ausziehen und die Abnahme derselben beim Zusammenziehen mit der Thermosäule mißt. Da jedoch die thermischen Anzeigen meistens auf nur 8° bis 10° galvanometrischer Ablenkung beschränkt sind, so begreift man leicht, daß die kleinen Unterschiede durch die bei solchen Messungen nicht immer

1) Govi, *Les Mondes*, 22. Avril 1869.

2) Pierre, *Les Mondes*, 8. Avril et 6. Mai 1869.

3) Villari, *Nuovo Cimento*, Ser. II. Vol. 1, p. 332. (Diese Annalen Bd. 143, S. 88 und 290).

vermeidbaren Fehler verdeckt und vernichtet werden. Das Phänomen erlangt daher seine möglichst vollständige Evidenz, wenn man die Ausziehungen und Zusammenziehungen mehrmals hintereinander wiederholt, damit sich die größere Zunahme der Temperatur beim Ausziehen gegen die kleinere Abnahme derselben beim correspondirenden Zusammenziehen anhäufen könne. Und in der That, als ich zwei Kautschukfäden, einen von 6 bis 7 und einen 10^{mm} dicken, mehrmals und rasch hintereinander auszog und losliefs, habe ich immer mit der Thermosäule eine starke Erwärmung des Fadens beim Ausziehen beobachtet, so daß das Galvanometer 60°, 70° und gar 90° abwich, besonders wenn ich mit dem dickeren Faden experimentirte.

Dieselben Versuche wiederholte ich an zwei Kautschukstreifen, einen vollkommen glatten von 25^{mm} Breite und 3^{mm} Dicke, und einen, der durch den Eindruck des Gewebes, auf welchem er verfertigt worden, rauh war, von 27^{mm} Breite und 4^{mm} Dicke. Diese beiden Streifen gaben dieselben Resultate wie die vorhergenannten Fäden, erwärmten sich nämlich stark bei oftmaligem und raschem Ausziehen und Loslassen. Manchmal wurden diese Streifen mit der Hand ausgezogen, gewöhnlich aber mittelst des erwähnten Hebels, dessen Bewegungen durch zwei feste Punkte beschränkt waren. Diese hatten den Zweck, die Geschwindigkeit des Ausziehens und Zusammenziehens reguliren zu können und somit meinen Zweifel zu beseitigen, daß diese, im Allgemeinen beim Zusammenziehen größere Geschwindigkeit einen Einfluß auf das Phänomen haben könne. Es wurden daher mit den erwähnten Streifen mannigfache Versuche gemacht, und dabei einige Male das Ausziehen immer rascher vollzogen als das Zusammenziehen, und andere Male dieses schneller als jenes, und immer beobachtete ich eine starke Temperaturzunahme an den untersuchten Streifen. Um eine Idee von einer solchen Erwärmung zu geben, sage ich, daß hundert rasche Ausziehungen des Streifens von 3^{mm} Dicke denselben so erwärmten, daß die darauf gesetzte Säule das Galvanometer um 90° ablenkte. Diese Ablenkung

verminderte sich rasch. Eben solche Ausziehungen am 4^{mm} dicken Streifen ausgeführt, erwärmten diesen noch mehr und so, daß die Säule das Galvanometer mit starkem Impulse 90° ablenkte und mehrere Minuten abgelenkt hielt, selbst nach zehn bis zwölf Minuten wich es noch von Null ab. Durch nur zehn Ausziehungen wich das Galvanometer 20° ab. Klar ist, daß die Temperaturzunahmen desto größer sind, je kürzer die Zeit ist, in welcher der Versuch ausgeführt wird, weil in demselben Verhältnisse der durch Ausstrahlung bewirkte Verlust geringer wird. Oftmals habe ich dieselben Versuche angestellt und immer mit demselben Erfolg. Zur Wiederholung eines Versuches ist indess erforderlich, daß die Säule, sey sie frei oder auf das Kautschuk gesetzt, keinen Strom am Galvanometer anzeige. Da der die Säule berührende Theil des Kautschuks sich rascher erkaltet als der freie, so habe ich mich beim Experimentiren zuvörderst versichert, indem ich sie auf verschiedene Punkte des Streifens setzte, daß er überall gleiche Temperatur mit der Umgebung hatte.

Diese Erscheinung findet ihre Erklärung in dem Kraftverbrauch, welcher beim Ausdehnen und Zusammenziehen des Kautschuks stattfindet. In der That weiß man, daß die vollkommenen Gase, wenn sie beim Ausdehnen eine Arbeit verrichten, sich erkälten, desto mehr, als sie im comprimierten Zustande mehr erwärmt waren, und überdies, daß die geleistete Arbeit beim Comprimiren eines Gases um eine gegebene Größe vollkommen gleich ist der, welche es beim Ausdehnen erzeugt, wenn keine Verluste stattfinden. Im Kautschuk findet keine solche Gegenseitigkeit statt, wegen der geringen Beweglichkeit seiner Theilchen und wegen des Widerstandes, den sie, um sich zu verstellen, überwinden müssen. Ein Theil der ihnen mitgetheilten Kraft wird demnach zur inneren Arbeit verbraucht, und während der Zeit des Ausdehnens in Wärme verwandelt, und ein anderer Theil wird ebenso während der Zeit des Zusammenziehens verbraucht und verwandelt. Daher kommt es, daß die auf das Ausdehnen des Kautschuks verwandte Kraft

nicht ganz bei der Zusammenziehung desselben wieder erzeugt wird. Ein solcher Schluss geht aus folgender Beobachtung klar hervor. Beim Studium der Elasticität des Kautschuks habe ich beobachtet, dass diese Substanz beim Hinzufügen gegebener Gewichte sich mehr verlängert, als es sich beim Fortnehmen dieser Gewichte verkürzt. Solche Versuche habe ich neuerdings wiederholt, und die Resultate derselben sind in folgender Tafel enthalten.

Kautschukfaden, 6^{mm} dick. Länge desselben bei der Belastung.

Hinzugefügt		Fortgenommen		Unterschied der beiden Längen
Belastungen	Längen	Verbliebene Belastungen	Längen	
	mm		mm	mm
1	246,72	1 ¹⁾	254,50	7,78
2	310,42	2	318,10	7,68
3	396,20	3	419,00	22,80
4	476,58	4	493,20	16,62
5	537,90	5	566,40	28,50
6	586,10	6	622,60	36,50
7	618,60			

Jede Belastung entspricht einem Gewicht von 640 Grm.

Aus der letzten Spalte dieser Tafel und anderer, die ich Kürze halber nicht mittheile, geht hervor, dass bei Fortnahme einer gegebenen Belastung der Faden sich weniger verkürzt, als dieselbe Belastung ihn verlängert hatte; und der Unterschied ist desto größer, je größer die Verlängerungen gewesen sind. Diese Beobachtung führt natürlich zu der Annahme, dass die Verkürzungen geringer sind als die Verlängerungen nicht wegen verminderter Elasticität, sondern weil das Kautschuk bei seinem Zusammen-

1) Diese Beobachtungen wurden gemacht, indem man zunächst eine nach der anderen alle spannenden Belastungen bis zur siebenten anhielt, und darauf eine jedesmal in derselben Ordnung fortnahm; No. 1 in dieser Columnne entspricht also einer einzigen verbliebenen Belastung, während alle übrigen fortgenommen waren, No. 2 entspricht zwei verbliebenen Belastungen bei Fortnahme der übrigen, und sofort bei den anderen Nummern.

ziehen nicht dieselbe Kraft entwickelt, wie bei seiner Verlängerung, wodurch ein Theil der Kraft, welche bei der Zusammenziehung sich äußern würde, durch eine innere Arbeit verbraucht, und in Wärme umgewandelt wird. Nothwendigerweise muß eine solche innere Arbeit auch bei der Ausziehung stattfinden, wodurch das Kautschuk sich bei einer Reihe von Ausziehungen und Zusammenziehungen erwärmt, weil ein Theil der beim Ausziehen entwickelten Kraft sich in Wärme verwandelt, und weil auch ein Theil der mechanischen Kraft, welche sich bei Zusammenziehung entwickeln würde, ebenfalls in Wärme verwandelt wird. Vielleicht könnte man sagen, das Kautschuk sey gleichsam eine teigige Masse, in welcher beim Phänomen der Verlängerung und Verkürzung die Theilchen einander reiben, wie bei der Wärme-Erregung. Wie dem auch sey: die vorhin gegebene Erklärung von der Wärme-Entwicklung findet eine glänzende Bestätigung durch einige Versuche die neuerlich Warburg in dem berühmten Laboratorium von Magnus angestellt hat ¹⁾. Derselbe beweist durch verschiedene Versuche, daß die starren Körper, wenn sie einen Ton geben oder fortpflanzen, sich erwärmen, weil die anfängliche lebendige Kraft in innere Arbeit und in Wärme umgewandelt wird, wodurch die Körper desto mehr Wärme entwickeln als sie die ihnen eingeprägte oder von ihnen fortgepflanzte Schallbewegung schneller auslöschen. Das Kautschuk ist unter den untersuchten Körpern derjenige, welcher sich am meisten erwärmt, weil er die Schallvibrationen am schnellsten auslöscht. Die Analogie zwischen Warburg's Beobachtungen und den meinigen ist vollständig und die Erklärungen stimmen vollkommen mit den vorher von mir gegebenen Daten. Daraus können wir überdies den Schluss ziehen, daß auch diejenigen Körper, welche sich beim Ausziehen erkälten und beim Zusammenziehen erwärmen, sich bei einer Reihe wiederholter rascher Ausziehungen erwärmen müssen, weil auch in solchen Körpern ein Theil der ver-

1) Ann. Bd. CXXXIX. S. 89.

wendeten Kraft sich in innere Arbeit und darauf in Wärme verwandeln muß. Auf diese Frage gedenke ich bei einer anderen Gelegenheit zurückzukommen.

VIII. *Ueber den Einfluß der Wärme auf die Elasticität des Kautschuks;*
von G. Schmulewitsch.

(*Bullet. de l'acad. de St. Petersbourg* T. XIV, p. 517.)

W. Thomson hat bekanntlich auf Grund der Ausdehnungscoefficienten verschiedener Körper durch die Wärme die Formel aufgestellt ¹⁾:

$$H = \frac{t}{j} \cdot p \cdot e.$$

mittels welcher die Quantität der Wärme bestimmt werden kann, welche bei der Ausdehnung dieser Körper absorbiert oder bei der Compression frei wird. Diese Formel wurde glänzend noch durch Joule auf experimentellem Wege bestätigt. Er bestimmte die Wärmequantitäten, die in Körpern bei ihrer Ausdehnung absorbiert wurden, mittelst feiner thermo-elektrischer Nadeln, die an den Körpern hafteten, und eines Galvanometers: seine Zahlen passen aufs merkwürdigste zu der Thomson'schen Formel. Unter den vielen Körpern, die Joule auf diese Weise untersuchte, waren auch Prismen und Cylinder von Kautschuk. Bei mechanischer Ausdehnung dieser letzteren bemerkte Joule ²⁾

1) *Philosoph. Mag.* 1857, Vol. VIII, p. 564. *On the thermal effects of longitudinal compression of solids, by J. P. Joule, and on the alterations of temperature, accompanying changes of pressure in fluids, by W. Thomson.*

2) *Ib. ib.* p. 355. *On the thermo-electricity of ferruginous metals, and on the thermal effects of stretching solid bodies; by J. P. Joule.*