

**VI. Ueber die Abhängigkeit der Elasticität des  
Kautschuks von der Temperatur;  
von Johannes Russner.**

---

Die eigenthümlichen physikalischen Eigenschaften des Kautschuks scheinen zuerst von Gough<sup>1)</sup>, und zwar schon im Jahre 1806, bemerkt worden zu sein. Er beobachtete, als er einen Streifen dieser Substanz an die Lippen brachte und plötzlich ausdehnte, dass sich der Kautschuk bei dieser Dehnung ziemlich auffällig erwärmte, und dass ein durch ein Gewicht gespannter Kautschukstreifen beim Erwärmen kürzer, bei Abkühlung wieder länger wurde.

Joule<sup>2)</sup> hat die Versuche Gough's, welche längere Zeit hindurch theils ganz vergessen, theils nur unvollkommen bekannt waren, mit vulkanisirtem Kautschuk wiederholt. Bei geringen Dehnungen zeigte sich, ähnlich wie bei anderen Substanzen, eine Abnahme der Temperatur, und erst bei grösserer Dehnung fand Erwärmung statt. Villari<sup>3)</sup> hat diese Versuche von Joule wiederholt und bestätigt gefunden. Als neue Thatsache nahm er wahr, dass die Temperaturerhöhung beim Ausziehen grösser ist als die Temperaturerniedrigung beim Zusammenziehen. Diese Eigenthümlichkeit findet nach Villari darin ihre Erklärung, dass ein gedehnter Kautschukstreifen nach Entfernung der spannenden Gewichte nie ganz die alte Länge wieder annimmt; beim Zusammenziehen wird demnach eine geringere Kraft entwickelt, als beim Ausdehnen. Vielleicht finden auch beim Ausziehen Reibungen der in neue Lagen übergehenden Molecüle statt, welche eine Vermehrung der producirtten Wärme veranlassen.

Ein anderer Erklärungsversuch letzterer Erscheinung wäre folgender. Wird Kautschuk stark gedehnt, so findet in der Längsrichtung Ausdehnung, in der dazu senkrechten

---

1) Gough, Nicholson's Journ. **13**. p. 305. 1806.

2) Joule, Phil. Mag. **8**. p. 355. 1857.

3) Villari, Pogg. Ann. **144**. p. 274. 1871.

Richtung Verdichtung statt. Es ist nun sehr wahrscheinlich, dass die bei der Verdichtung auftretende Erwärmung grösser ist, als die Abkühlung durch die Ausdehnung. Entfernt man jetzt die dehnende Kraft, so findet bei der Zusammenziehung in der Längsrichtung Erwärmung und in der Querrichtung Abkühlung statt. Da nun der Kautschuk nicht sofort auf seine ursprüngliche Länge zurückgeht, wird die bei der Verkürzung auftretende Abkühlung in der Querrichtung geringer sein, als die vorher erfolgte Erwärmung, es bleibt eine Temperaturerhöhung im Vergleich zur anfänglichen Temperatur.

Die Verkürzung des gespannten Kautschuks bei Erwärmung erklärt Schmulewitsch<sup>1)</sup> durch die Annahme, dass die Wärme einerseits den Kautschuk in normaler Weise ausdehne, gleichzeitig aber seinen Elasticitätsmodul vergrössere. Er fand seine Annahme durch einen Versuch bestätigt, indem die Spannung einer Saite, welche mit dem Kautschuk in Verbindung war, grösser wurde, als man den Kautschuk erwärmte. Exner<sup>2)</sup> bestimmte durch Versuche die Schallgeschwindigkeit im Kautschuk bei verschiedenen Temperaturen und fand eine beträchtliche Abnahme derselben, woraus die Abnahme der Elasticität des Kautschuks mit der Temperatur folgt. Durch Belastung von verschiedenen Kautschukcylindern und Messung der dabei eingetretenen Verlängerungen, habe ich den Elasticitätsmodul bei verschiedenen Temperaturen bestimmt und gefunden, dass derselbe mit steigender Temperatur ausserordentlich rasch abnimmt.<sup>3)</sup>

Da nun nach zwei verschiedenen zuverlässigen Methoden gefunden worden ist, dass der Elasticitätsmodul von Kautschuk mit zunehmender Temperatur ebenso kleiner wird, wie der anderer fester Körper, muss das Resultat von Schmulewitsch unrichtig sein, welches auch folgende Ueberlegung bestätigt. Verhindert man die Verlängerung eines festen Körpers bei Erwärmung, so übt derselbe einen Druck aus. Um die Grösse dieses Druckes zu erfahren, braucht man nur auszurechnen, welche Kraft erforderlich wäre, um die Länge eines Körpers nach Erwärmung, auf die anfängliche Länge

1) Schmulewitsch, Pogg. Ann. **144**. p. 280. 1871.

2) Exner, Wien. Ber. **69**. p. 1.

3) Russner, Carl's Rep. **18**. p. 206. 1882.

vor Erwärmung zu bringen. Hierbei muss der Elasticitätsmodul der Endtemperatur genommen werden. Ebenso verhält es sich beim Kautschuk. Soll gespannter Kautschuk seine Länge bei Erwärmung beibehalten, sich somit nicht verkürzen, so muss die Belastung vergrössert werden. Bei dem Versuche von Schmulewitsch konnte der an einer Saite befestigte Kautschuk sich nicht verkürzen, die Spannung der Saite musste daher grösser werden.

Von anisotropen Körpern, den Krystallen, ist uns bekannt, dass sich dieselben im allgemeinen durch Erwärmung sehr stark und in der Richtung der Axen verschieden ausdehnen, und dass in einzelnen Fällen nach einer Richtung eine Contraction eintritt. Für kleine Längenänderungen verhält sich nach den Versuchen von Joule der Kautschuk ganz so, wie die anderen festen Körper. Wird aber Kautschuk stark gedehnt, so ist leicht einzusehen, dass seine Elasticitätsverhältnisse in der Längs- und Querrichtung verschiedene werden. Der isotrope Kautschuk im ungedehnten Zustande verwandelt sich durch Dehnung in einen anisotropen Körper, die Wärmeausdehnung wird nach verschiedenen Richtungen verschieden gross und bei einer bestimmten Dehnung wird auch nach einer Richtung Verkürzung eintreten. Diese natürliche Erklärung für das Verhalten des gespannten Kautschuks habe ich vor acht Jahren gegeben<sup>1)</sup>, ohne dass mir eine Abhandlung von Kundt bekannt war, welche dieser Erklärung grosse Wahrscheinlichkeit gibt. Kundt<sup>2)</sup> hat durch Versuche nachgewiesen, dass gespannter Kautschuk Dichroismus zeigt, somit ein anisotroper Körper ist. Fizeau<sup>3)</sup> hat gefunden, dass solche Körper sich in Bezug auf die Ausdehnung durch die Wärme ganz ebenso verhalten, wie in Bezug auf Lichterscheinungen.

Der gespannte Kautschuk muss sich demnach bei Erwärmung in der Längs- und Querrichtung verschieden ausdehnen und meine oben gegebene Erklärung ist nach diesen Betrachtungen richtig. Ich war daher nicht wenig überrascht,

1) Russner, Carl's Rep. 18. p. 216. 1882.

2) Kundt, Pogg. Ann. 151. p. 125. 1874.

3) Fizeau, Pogg. Ann. 128. p. 564. 1866; 132. p. 292. 1867; 135. p. 372. 1868.

als in diesen Annalen eine Abhandlung von Graetz<sup>4)</sup> erschien, in welcher die Erklärung von Schulewitsch als die richtige hingestellt wird. Da ich zu dieser Zeit mit anderen Arbeiten beschäftigt war, konnte ich erst jetzt auf dieselbe zurückkommen.

Graetz bestimmte nach der Methode der Torsionsschwingungen den Torsionsmodul  $F$  in seiner Abhängigkeit von der Temperatur. Die Beziehung zwischen diesem und dem Elasticitätsmodul  $E$  ist:

$$F = \frac{E}{2(1 + \mu)}.$$

Da sich  $\mu$ , die Verminderung des zur Zugrichtung senkrechten Durchmessers nach Versuchen nicht erheblich ändert, so ist die Abhängigkeit von  $F$  und  $E$  von der Temperatur die gleiche.

Die Versuche wurden in der Weise angestellt, dass der Kautschukfaden an beiden Enden zwischen zwei kleine Messingplatten eingeklemmt wurde. Die oberen Platten waren an einem Eisencylinder befestigt, der in einen an der Wand befestigten Arm eingeschraubt war. An die unteren Platten waren Backen eines Holzcyinders befestigt, der an seinem unteren Ende fest in den röhrenförmigen Ansatz einer Hohlkugel aus Messing passte. Die hohle Messingkugel konnte durch ein seitlich vorhandenes Loch mehr oder weniger mit Sand oder Eisenfeilspänen gefüllt werden, um passende Spannungen und Längen der Kautschukfäden hervorzubringen. Die Kautschukfäden befanden sich in dem Hohlraume eines Ringcyinders von Blech, der mit Wasser von 55–60° gefüllt und der allmählichen Abkühlung überlassen wurde. Die Beobachtungen brauchten sich zur Bestimmung von  $dF/dT$  nur auf die Schwingungsdauer zu beziehen, die aus acht bis zwanzig Schwingungen abgeleitet wurde. Als zugehörige Temperatur wurde das Mittel aus den Temperaturen bei Beginn und Schluss des Beobachtungssatzes angenommen.

Es wurden zwei verschiedene Fäden von rothem Kautschuk, zwei desgleichen von grauem und zwei von schwarzem Kautschuk der Beobachtung unterzogen. Diese sechs Be-

---

4) Graetz, Wied. Ann. 28. p. 354. 1886.

obachtungen an verschiedenen Kautschukfäden ergaben ausnahmslos eine beträchtliche Abnahme der Schwingungszeit und somit ein Wachsen des Torsionsmodul mit steigender Temperatur. Graetz nimmt nun nach diesen Versuchen an, dass der isothermische Elasticitätsmodul des Kautschuks mit wachsender Temperatur zunimmt, wie dies Schmulewitsch schon aus seinen Versuchen gefunden hat. In Wirklichkeit dehnt sich somit der Kautschuk wie alle Körper mit wachsender Temperatur aus; die gleichzeitige Zunahme des Elasticitätsmodul aber führt die wirkliche Ausdehnung in in eine scheinbare Zusammenziehung über.

Betrachtet man jedoch diese Versuche etwas genauer, so findet man, dass dieselben nicht unter allen Umständen das ergeben, was Graetz gefunden hat; der Torsionsmodul kann mit steigender Temperatur abnehmen, obzwar die Schwingungszeit kleiner wird. Der Torsionsmodul  $F$  wird nach der Formel berechnet:

$$F = \frac{2\pi}{g} \cdot \frac{Kl}{t^2 r^4}.$$

In dieser Formel bedeutet  $l$  die Länge des Kautschukfadens,  $r$  seinen Halbmesser,  $K$  das Trägheitsmoment des schwingenden Gewichtes bezogen auf die Drehungsaxe,  $t$  die Schwingungsdauer in Sekunden.

Graetz beobachtete z. B. die Schwingungsdauer bei der 5. Versuchsreihe zu 33,838 Sekunden, als der Kautschuk eine Temperatur von  $52,1^\circ$  hatte. Jetzt wurde der Kautschuk der Abkühlung überlassen; die anfängliche Länge von 302 mm bei  $52,1^\circ$  verlängerte sich bis  $20^\circ$  abgekühlt um 2,5 mm und die Schwingungsdauer betrug jetzt 35,357 Sekunden. Das Volumen des gespannten Kautschuks nimmt nun mit sinkender Temperatur ebenso ab, wie dieses bei anderen Körpern der Fall ist. Wenn hierbei eine Verlängerung eintritt, muss nothwendiger Weise der Durchmesser kleiner werden; die neue Länge nach der Abkühlung ist somit  $l(1 + \alpha t)$  und der neue Radius  $r(1 - \beta t)$ , wenn  $\alpha$  und  $\beta$  die Ausdehnungscoefficienten in der Längs- und Querrichtung bedeuten. Der Torsionsmodul  $F_1$  bei niederer Temperatur ist dann:

$$F_1 = \frac{2\pi K}{g} \cdot \frac{l(1 + \alpha t)}{t_1^2 r^4 (1 - \beta t)^4}.$$

Nimmt man für  $\beta$  einen grösseren Werth als den Coëfficienten für ungedehnten Kautschuk, weil die Verkleinerung des Halbmessers durch die Temperaturerniedrigung und wegen der dabei stattfindenden Verlängerung des Kautschuks bewirkt wird, so wird nach obigen Formeln  $F_1$  grösser als  $F$ , der Torsionsmodul somit auch in niedriger Temperatur grösser als in höherer Temperatur.

Bei dem gedehnten Kautschuk ist nach Kundt die Elasticität in der Längs- und Querrichtung verschieden. Bestimmt man von demselben den Torsionsmodul, so ist derselbe nur ein mittlerer Werth für die Elasticität des gespannten Kautschuks und zur Erklärung der Zusammenziehung bei Erwärmung nicht zu gebrauchen, da hierbei nur die Elasticität in der Längsrichtung in Betracht kommt.

Mit dem Begriffe Elasticitätsmodul steht auch der Begriff Festigkeitsmodul im Zusammenhange; je grösser der Elasticitätsmodul eines Körpers ist, desto grösser ist auch sein Festigkeitsmodul. Die Wahrnehmung, dass Kautschuk bei Erwärmung grössere Festigkeit erlangt, ist wohl noch von Niemandem gemacht worden. Meine, schon vor langer Zeit gegebene Erklärung für das Verhalten von gespanntem Kautschuk, ist somit durch die Versuche von Graetz nicht widerlegt worden.

Nachdem nun die Folgerungen aus den Graetz'schen Versuchen nicht zutreffen, ist auch dessen Angriff auf die Richtigkeit einer theoretischen Betrachtung von Dahlander<sup>1)</sup> hinfällig geworden. Dahlander hat nachgewiesen, dass sich theoretisch zwischen der Grösse  $d\alpha/dP$ , d. i. der Zunahme des Ausdehnungscoëfficienten mit der Spannung und der Grösse  $dE/dT$ , d. i. der Zunahme des Elasticitätsmodul mit der Temperatur eine Beziehung finden lasse. Diese Beziehung zwischen  $d\alpha/dP$  und  $dE/dT$  verlangt, dass diese beiden Grössen entgegengesetzte Vorzeichen haben, dass also mit wachsender Temperatur der Elasticitätsmodul eines Körpers abnimmt. Für Metalldrähte hat Dahlander seine Formel bestätigt gefunden, welche nun auch für das Kautschuk stimmt.

---

1) Dahlander, Pogg. Ann. 145. S. 147. 1872.

Durch die Versuche von Graetz veranlasst, dieser Frage nochmals näher zu treten, habe ich wieder an verschiedenen Kautschuksorten und bei verschiedenen Temperaturen die Verlängerungen gemessen, welche an ungedehntem Kautschuk durch kleine Belastungen bewirkt werden. Mein Versuchssapparat war dem von Graetz ganz ähnlich, nur wurde das Wasser im Ringcylinder durch seitliche Gasflammen und mit Hülfe eines Elster'schen Experimentir-Gasdruckregulators auf constanter Temperatur erhalten. Da die elastischen Nachwirkungen beim Kautschuk sehr gross sind, so wurde zuerst die nach 1 Minute durch die aufgelegte Belastung stattgefundene Verlängerung gemessen und dann von 5 zu 5 Minuten dieselbe bestimmt. Die an den verschiedenen Kautschuksorten angehängte Wagschale hatte ein Gewicht von 35 g. In nachstehenden Tabellen sind die erhaltenen Resultate zusammengestellt.

## I. Reines, rohes Kautschuk.

$l = 980$  mm,  $q = 1,412$  qcm, spec. Gew. = 0,913.

Belastung in Grammen	Zeit in Minuten	19 °		45 °	
		Verläng. mm	Differenz	Verläng. mm	Differenz
20	1	1,97		2,90	
	5	2,40	0,43	3,95	1,05
	10	2,60	0,20	4,55	0,60
	15	2,75	0,15	4,95	0,40
	20	2,80	0,05	5,25	0,30
40			2,05		3,05
	1	4,85		8,30	
	5	5,40	0,55	9,40	1,10
	10	5,70	0,30	10,15	0,75
	15	5,95	0,25	10,67	0,52
60	20	6,10	0,15	11,07	0,40
			2,01		3,13
	1	8,11		14,20	
	5	8,70	0,59	15,45	1,25
	10	9,08	0,38	16,30	0,85
80	15	9,35	0,27	16,95	0,65
	20	9,60	0,25	17,50	0,55
			2,00		3,05
	1	11,60		20,55	
	5	12,20	0,60	21,85	1,30
80	10	12,67	0,47	22,75	0,90
	15	13,00	0,33	23,50	0,75
	20	13,22	0,22	24,05	0,55

Nach diesen beiden Versuchsreihen wurde der Kautschukstreifen entlastet und nach 24 Stunden war erst die

bewirkte Verlängerung von 24,05 mm bis auf 2,85 mm bei einer Temperatur von 21° zurückgegangen. Die Erwärmung erfolgte jetzt auf 59°. Während bei obigen Versuchen die Belastung immer um 20 g vermehrt wurde, konnte dieselbe jetzt nur um 10 g erfolgen, da die Dehnung und elastische Nachwirkung bei dieser Temperatur sehr bedeutend war.

Belastung in Grammen	Zeit in Minuten	59 °		19 °	
		Verläng. mm	Differenz	Verläng. mm	Differenz
10	1	2,45	1,15	1,20	0,30
	5	3,60	0,67	1,50	0,20
	10	4,27	0,43	1,70	0,13
	15	4,70	0,40	1,83	0,07
	20	5,10	0,25	1,90	0,10
20	25	5,35	2,65	2,00	1,25
	1	8,00	1,35	3,25	0,40
	5	9,35	0,90	3,65	0,22
	10	10,25	0,60	3,87	0,18
	15	10,85	0,50	4,05	0,15
30	20	11,35	0,37	4,20	0,15
	25	11,72	2,68	4,35	1,30
	1	14,40	1,50	5,65	0,35
	5	15,90	1,00	6,00	0,30
	10	16,90	0,80	6,30	0,23
	15	17,70	0,70	6,53	0,14
	20	18,40	0,50	6,67	0,13
	25	18,90		6,80	

Mit 50 g und der Schale belastet und langsam von 21° auf 45° erwärmt, verkürzte sich dieser Kautschukstreifen um 3,65 mm, bis 59° erwärmt um 7,45 mm; als letztere Temperatur constant blieb, fand nach dieser Verkürzung eine bedeutende Verlängerung statt, ein Beweis für die starke Abnahme des Elasticitätscoefficienten, was auch aus den beiden angeführten Tabellen ersichtlich ist. Aus diesem Versuche folgt auch, dass dieser ziemlich starke Kautschukstreifen (1,4 qcm) durch die Belastung von 85 g schon bedeutend anisotrop geworden war. (Siehe Tab. II bis V p. 541 u. 542.)

Während aus den Tabellen für den schwarzen und grauen vulkanisirten Kautschuk die Abnahme des Elasticitätsmodul mit Erhöhung der Temperatur deutlich zu ersehen ist, ist ein solcher Unterschied für den schwarzen Kautschukschlauch fast nicht wahrzunehmen. Wiederholte Versuche mit dem-



selben und anderen Kautschukschläuchen ergaben immer dasselbe Resultat; die Verlängerung durch ein spannendes Gewicht war in höherer Temperatur beinahe gleich oder auch etwas kleiner als bei niederer Temperatur. Aus nachstehender Betrachtung geht hervor, dass zur Abnahme des Elasticitätsmodul in höherer Temperatur eine grössere Verlängerung nicht erforderlich ist. Der Elasticitätsmodul  $E$  wird nach der Formel berechnet:

$$E = \frac{lP}{q} \cdot \frac{1}{\delta}.$$

In dieser Formel bedeutet  $l$  die Länge,  $q$  den Querschnitt des Körpers,  $\delta$  die durch das Gewicht  $P$  bewirkte Verlängerung. Erwärmt man einen isotropen Körper, so wird die neue Länge  $l(1 + \alpha t)$ , der veränderte Querschnitt  $q(1 + \alpha t)^2$ , und die Verlängerung  $\delta_1$ , wenn  $\alpha$  den Wärmeausdehnungscoefficienten bezeichnet. Der Elasticitätsmodul  $E_1$  bei höherer Temperatur ist somit:

$$E_1 = \frac{l(1 + \alpha t)P}{q(1 + \alpha t)^2} \cdot \frac{1}{\delta_1} = \frac{lP}{q} \cdot \frac{1}{(1 + \alpha t)\delta_1}.$$

## II. Schwarzer, vulcanisirter Kautschukcylinder.

$l = 1005$  mm,  $q = 0,677$  qcm, spec. Gew. = 0,947.

Belastung in Grammen	Zeit in Minuten	21°		60,5°	
		Verläng. mm	Differenz	Verläng. mm	Differenz
10	1	2,35		2,77	
	5	2,75	0,40	3,10	0,33
	10	2,92	0,17	3,35	0,25
	15	3,04	0,12	3,45	0,10
	20	3,10	0,06	3,53	0,08
20			2,47		2,79
	1	5,57	0,43	6,32	0,48
	5	6,00	0,23	6,80	0,20
	10	6,23	0,17	7,00	0,12
	15	6,40	0,10	7,12	0,13
30	20	6,50		7,25	
			2,46		2,88
	1	8,96	0,54	10,13	0,52
	5	9,50	0,23	10,65	0,25
	10	9,73	0,17	10,90	0,20
40	15	9,90	0,12	11,10	0,10
	20	10,02		11,20	
			2,58		2,93
	1	12,60	0,50	14,13	0,52
	5	13,10	0,28	14,65	0,33
40	10	13,88	0,17	14,98	0,12
	15	13,55	0,15	15,10	0,20
	20	13,70		15,30	

## III. Grauer, vulcanisirter Kautschuk.

 $l = 1098 \text{ mm}$ ,  $q = 1,056 \text{ qcm}$ , spec. Gew. = 1,244.

Belastung in Grammen	Zeit in Minuten	20°		43°	
		Verläng. mm	Differenz	Verläng. mm	Differenz
100	1	4,10		4,85	
	5	4,30	0,20	5,05	0,20
200	1	8,85	4,55	10,05	5,00
	5	9,22	0,37	10,33	0,28
300	1	14,02	4,80	15,45	5,12
	5	14,47	0,45	15,75	0,30

## IV. Schwarzer Kautschukschlauch.

 $l = 996 \text{ mm}$ ,  $q = 0,622 \text{ qcm}$ , spec. Gew. = 0,943.

Belastung in Grammen	Zeit in Minuten	17°		43°	
		Verläng. mm	Differenz	Verläng. mm	Differenz
10	1	1,81		1,85	0,00
	5	1,86	0,05	1,85	
20	1	3,61	1,75	3,68	1,83
	5	3,81	0,20	3,81	0,13
30	1	5,51	1,70	5,60	1,79
	5	5,66	0,15	5,75	0,15
40	1	7,46	1,80	7,54	1,79
	5	7,66	0,20	7,70	0,16

## V. Schwarzer Kautschukschlauch.

 $l = 997 \text{ mm}$ ,  $q = 0,854 \text{ qcm}$ , spezifisches Gewicht = 0,930.

Belastung in Grammen	Zeit in Minuten	24°		47°	
		Verläng. mm	Differenz	Verläng. mm	Differenz
20	5	2,60		2,53	
40	5	5,13	2,53	5,13	2,60
60	5	7,90	2,77	7,93	2,80
80	5	10,72	2,82	10,58	2,65
100	5	13,50	2,78	13,38	2,80
120	5	16,45	2,95	16,13	2,75

Soll  $E_1$  kleiner als  $E$  werden, so ist nach diesen beiden Gleichungen nur erforderlich, dass  $(1 + \alpha t) \delta_1$  grösser als  $\delta$  wird. Es kommt somit nicht allein auf die Verlängerung  $\delta_1$  an, sondern auf das Product  $(1 + \alpha t) \delta_1$ . Ist daher  $\delta_1$  kleiner

als  $\delta$ , so kann immer noch das Product  $(1 + \alpha t) \delta_1$  grösser als  $\delta$  sein, wenn der Ausdehnungscoefficient  $\alpha$  des Körpers gross ist, wie dieses beim Kautschuk zutrifft.

Ist bei einem Körper  $E_1$  kleiner als  $E$ , wie dieses bisher immer beobachtet wurde, und die durch ein bestimmtes Gewicht hervorgebrachte Verlängerung in höherer Temperatur kleiner als in niederer, so kann diese Erscheinung auch dadurch hervorgebracht sein, dass die Wärmeausdehnung in der Längsrichtung kleiner ist, als in der darauf senkrechten Richtung; der Körper ist in diesem Falle anisotrop. Bei einem Kautschukschlauch ist dieser Fall denkbar, es kann bei der Fabrikation durch Ausübung eines Druckes, besonders in höherer Temperatur, derselbe dauernd anisotrop gemacht werden. Diese Vermuthung wurde durch einen Versuch bestätigt gefunden. Der zuerst in der Tabelle angeführte Kautschukschlauch wurde längere Zeit einer Temperatur von ungefähr  $99^\circ$  ausgesetzt und hierauf ebenso belastet wie im ersten Fall. Die dabei erhaltenen Verlängerungen sind wieder in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Belastung in Grammen	Zeit in Minuten	20°		44°	
		Verläng. mm	Differenz	Verläng. mm	Differenz
10	1	2,93		3,29	
	5	3,28	0,35	3,62	0,33
20	1	6,38		6,92	
	5	6,83	0,45	7,19	0,27
30	1	9,88		10,62	
	5	10,28	0,40	11,02	0,40
40	1	13,48		14,39	
	5	13,98	0,50	14,87	0,48

Durch Vergleichung der zuerst erhaltenen Werthe mit den jetzt gefundenen folgt, dass durch längere Erwärmung auf  $99^\circ$  der Kautschukschlauch sich geändert hat. Die Verlängerung, welche durch die Belastung bis 40 g bewirkt wurde, ist jetzt bei  $44^\circ$  um 0,89 mm grösser als bei  $20^\circ$ , während diese Differenz im ersten Falle nur unbedeutend war.

Chemnitz, März 1891.