



Ueber thermische Nachwirkungen von Zinkstäben

von

Emil Heinemann,

Oberlehrer.



Wissenschaftliche Beigabe zum Oster-Programm

des

Königlichen Gymnasiums in Lyck

für das Schuljahr 1890/91.



Lyck 1891.

Gedruckt in Albert Glanert's Buchdruckerei

1891. Progr. Nr. 13.



Ueber thermische Nachwirkungen von Zinkstäben.

Die Untersuchung der Erscheinungen, welche man Nachwirkungen nennt, hat eine grosse Bedeutung gewonnen, seitdem Loewenherz bei Thermometern nach Siedepunkts-Bestimmungen anhaltende Aenderungen beobachtet hat, ganz besonders aber durch die Resultate der grundlegenden und umfangreichen Arbeiten, welche von Pernet in seiner Eigenschaft als Mitglied des bureau international des poids et mesures in Bréteuil geliefert worden sind und in so hervorragender Weise einen fördernden Einfluss auf die Bestimmung der neuen Mass- und Gewichts-Einheiten in Deutschland gewonnen haben. Im weiteren widmeten Wiebe, Thiesen u. a. den Volumänderungen, welchen Thermometer zwischen den Temperaturen des schmelzenden Eises und des siedenden Wassers ausgesetzt sind, eingehendes Studium. Gewisse dahin gehörende Erscheinungen sind von Thiesen thermische Nachwirkungen genannt worden. Sie sind im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass das Volumen der Thermometergefässe sich auch bei derselben Temperatur ändert, da es nicht bloss von dieser, sondern auch von den Temperaturen, denen das Glas zwischen den Anfangs- und Endtemperaturen, sowie von dem Zeitraum, in welchem es denselben ausgesetzt war, abhängig ist. Wie bei Glas, so sind ähnliche Eigenschaften bei anderen Substanzen festgestellt und genauen Untersuchungen unterzogen worden. Kohlrausch hat bei Hartgummi eine sehr bedeutende und sehr ungleiche Ausdehnung durch die Wärme beobachtet; an einer Platte aus diesem Material zeigte er durch einseitige Erwärmung eine ganz auffallende Formveränderung, welche erst in einem längeren Zeitraum nach der Erwärmung eine Rückkehr zu einer konstanten Länge erkennen liess. Den Grund dieser Erscheinung sieht K., abgesehen von der schlechten Wärmeleitung, in der nachfolgenden wenn auch allmählig schwächer werdenden Ausdehnung, welche noch andauert, auch wenn die wirkende Ursache aufgehört hat.

Für krystallisierte Substanzen ist das frühere Volumen nach dem Erkalten wiedergefunden worden.

Bei den Metallen, z. B. Eisen, ganz besonders aber bei Bronze haben die Untersuchungen von Chatelier grosse Unregelmässigkeiten ergeben, welche den Schluss zulassen, dass dieselben nicht bei einer bestimmten Temperatur ganz bestimmte Dimensionen

annehmen, während die bei Platin beobachteten Aenderungen fast zu vernachlässigen sind. Ueber das Verhalten von Zinkstäben finden sich hier keine Bemerkungen.*)

Die erste Angabe über andauernde Längenänderung bei Zinkstäben finde ich in einer Abhandlung, welche der Präsident der Europäischen Gradmessungs - Kommission, J. J. von Baeyer, im Jahre 1867 der Akademie der Wissenschaften in Berlin vorgelegt hat, um von der bei Vergleichung der Bessel'schen Messstangen gemachten Entdeckung, dass Stäbe von Eisen oder Zink mit der Zeit ihre Ausdehnungskoeffizienten ändern, Kenntnis zu geben.

Bei den vier Messstangen dienen die Eisenstäbe als Massstab, die Zinkstäbe als Metallthermometer.

Zur Begründung seiner Behauptung stellt er die in dem Jahre 1834 bei Gelegenheit der Gradmessung von Ostpreussen, ferner die im Jahre 1846 nach der Küsten - Vermessung und die im Jahre 1854 an denselben Messstangen von einer Belgischen Kommission festgestellten Masse einander gegenüber:

1834.

$e_1 = 0.000014367$	$z_1 = 0.000041497$
$e_2 = 14818$	$z_2 = 41729$
$e_3 = 15015$	$z_3 = 41524$
$e_4 = 15202$	$z_4 = 41799$

1846.

Küstenvermessung Seite 18.

$e_1 = 0.000013921$	$z_1 = 0.000040609$
$e_2 = 13735$	$z_2 = 39080$
$e_3 = 14585$	$z_3 = 40917$
$e_4 = 14405$	$z_4 = 40331$

1854.

compte rendu des opérations de la commission pour étalonner les règles.

$e_1 = 0.000012735$	$z_1 = 0.000037104$
$e_2 = 12330$	$z_2 = 35383$
$e_3 = 12841$	$z_3 = 35758$
$e_4 = 12895$	$z_4 = 35941$

Diese Angaben beziehen sich auf 1 Pariser Linie und 1^o R.

Aus ihnen ergibt sich für Baeyer der Schluss, dass eine fast stetige Aenderung der Stäbe stattgefunden habe und zwar erscheint sie in dem achtjährigen Zeitraum von

*) Eine Abhandlung von Benoit über Messing (travaux et mémoires du bureau international etc) hat mir nicht zur Einsicht vorgelegen.

1846 bis 1854 bedeutend stärker als in dem zwölfjährigen Zeitraum von 1834 bis 1846. Diese bis dahin unbekannte Erscheinung führte zu weitgehenden Vermutungen über den Einfluss derselben auf genaue Messoperationen und auf die unveränderte Erhaltung der Masseinheiten. Zu einem sicheren Resultat wird die Behauptung Baeyers von einer Kommission erhoben, welche im Jahre 1869 in Florenz tagte behufs Ermittlung von Substanzen, deren Ausdehnungskoeffizienten unveränderlich bleiben: wir wissen jetzt mit Sicherheit nur, dass bei Eisen und Zink die Ausdehnungskoeffizienten beständig abgenommen haben. Es wird vermutet, dass dieselbe Eigenschaft allen Metallen und den anderen aus dem Schmelzofen gewonnenen Produkten zukommt.

Zur Erklärung dieser Erscheinung stellte Plateau drei Hypothesen auf, von denen die beiden ersten als die wahrscheinlichsten in ihren schliesslichen Resultaten lauten:

1) les règles exposées aux variations de la température atmosphérique auraient éprouvé un petit recuit chaque fois que cette température s'est élevée et ces petites actions successives auraient peu à peu amoindri leurs coefficients de la dilatation.

2) Zink und Eisen besitzen die Eigenschaft, eine krystallinische Struktur anzunehmen unmittelbar nach ihrer Herstellung, mit der Zeit ändert sich die Anordnung der Moleküle und damit steht im Zusammenhange la modification bien connue qu'éprouvent les essieux des locomotives après quelque temps: ils deviennent cassants et l'on peut admettre, que les ébranlements, aux quels ils ont été soumis sur le chemin de fer, n'ont fait qu'aider la tendance naturelle du métal à adopter cette structure

Dieser Auffassung schliesst sich Baeyer an und sucht eine Erklärung für die von ihm behauptete auffallende Erscheinung in der Verwendung der Stangen und in den verschiedenen Transporten, welche sie zu erleiden hatten. Von Königsberg wurden die Stangen 1836 zu Wasser nach vier Orten gebracht, von 1847 bis 1854 aber den Erschütterungen des Land- oder Eisenbahntransportes ausgesetzt, später bei dem Königlichen Generalstabe deponiert. Da nun besonders das Zink bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den festen Zustand schon bei hohen Temperaturen fest wird, so werden die Moleküle durch die Starrheit ihrer Masse zunächst verhindert, sich einander so zu nähern, als zu ihrem Gleichgewicht bei gewöhnlicher Temperatur notwendig wäre. Dadurch wird ein Zustand innerer Spannung hervorgerufen, der entweder bloss durch die Wirkung der Zeit oder noch schneller durch Erschütterungen in den der Temperatur entsprechenden Zustand des Gleichgewichts übergeht, womit beim Zink ebenso wie beim Eisen eine Verkürzung verbunden ist.

In Rücksicht auf die Wichtigkeit, welche genaue Massvergleiche für die Gradmessungs-Operationen haben, betrieb v. B. eine Untersuchung der von ihm angeregten Frage in grossem Umfange. Seine Vermutung, dass thatsächlich eine Längenänderung der Metalle mit der Zeit stattfindet, führte ihn zu dem Schluss, dass solche Stäbe, welche nachweislich aus älteren Zeiten herrühren und wohl erhalten seien, ein unumstössliches

Beweismaterial für die Feststellung der von ihm behaupteten Thatsache liefern müssten. Seinen dahin zielenden Bemühungen gelang es, im Jahre 1869 von der italienischen Regierung zwei antike Stäbe aus Pompeji zu erhalten. Nachdem die Zusammensetzung dieser Stäbe chemisch analysiert war, wurden nach ihrer chemischen Zusammensetzung neue Stäbe gegossen, um aus den Ausdehnungskoeffizienten der alten und der neuen Stäbe die Veränderung festzustellen, welche die Ausdehnungskoeffizienten der alten Stäbe seit der Zerstörung Pompejis erfahren haben. Bei der weiteren Behandlung dieses Problems liess die sehr erhebliche Schwierigkeit, welche die Bestimmung der absoluten Ausdehnungen darbot, den Wunsch nach einem zuverlässigen Comparator rege werden, nachdem der Bessel'sche Comparator sich nicht als ausreichend erwiesen hatte: „das nächste unabwiesbare Erfordernis war die Herstellung eines Comparators mit tief in den Boden fundamentierten Fixpunkten, welcher absolute Ausdehnung mit Sicherheit zu messen erlaubt.“ Nachdem ein solcher in dem Steinheil'schen Spiegelkomparator unter den schwierigsten Umständen erlangt war, unterzog Sadebeck einige Glas- und Metallstäbe einer sehr eingehenden Untersuchung. Doch störende Einflüsse, welche nach Aufstellung des Apparates sich geltend machten, lassen die gewonnenen Resultate unsicher erscheinen.

Vergl. Publikation des Königl. Preussischen Geodätischen Institutes, Massvergleichungen II. Heft (Beobachtungen auf dem Steinheil'schen Fühlspiegel-Comparator.)

Die sehr umfangreichen Untersuchungen sind bei extremen Temperaturen (7° bis 29°) und bei einer Normaltemperatur von 16° angestellt. Für die Zinktoise ergab sich als lineare Ausdehnung

$$1) z^{\circ} = 0.02070204 \text{ in Pariser Linien.}$$

$$2) z^{\circ} = 0.0225674$$

$$3) z^{\circ} = 0.0228926$$

während im Jahre 1852 (vergl. Baeyer, die Verbindungen der preussischen und russischen Dreiecksketten) die Ausdehnung des Zinkstabes für 1° C gefunden war

$$z^{\circ} = 0.022261 \text{ in Pariser Linien.}$$

Da die Abweichungen zu bedeutend erschienen, wurden neue Beobachtungen bei 11° C und 21° C angestellt. Diese ergaben für den Zinkstab für jeden Grad des hunderttheiligen Thermometers

$$0.02285 \text{ in Pariser Linien}$$

$$0.02296$$

also im Mittel

$$0.022905$$

Die Unsicherheit der Resultate führte zu einer gründlichen Untersuchung des ganzen Apparates. Nach Beseitigung der entdeckten Mängel ergab sich bei der Zinktoise für 1° C die Ausdehnung

$$0.022935 \text{ in Pariser Linien}$$

und aus anderen Beobachtungen und Rechnungen (12 Reihen zu je 10 Einstellungen) hatte sich ergeben

$$0.023235 \text{ in Pariser Linien.}$$

Bei allen der Untersuchung unterworfenen Toisen zeigten sich ausser einer konstanten Differenz auffallende Unterschiede in einzelnen Beobachtungsreihen, welche bis zu 0.002 L gingen und zwar sind sie nach S. dem Umstande zuzuschreiben, „dass die Temperatur der Stäbe nicht ganz mit den Thermometer-Angaben übereinstimmte, wobei indessen die Eigenschaft des Zinkstabes nicht frei von Einfluss zu sprechen ist, indem sich schon bei den Vergleichen von 1852 und 1866 Sprünge gezeigt haben, deren Erklärung man damals allein in der Textur des Metalls zu finden glaubte.“

Die von Baeyer und Sadebeck beklagten unzureichenden Leistungen des Comparators, welche in den baulichen Einrichtungen zum teil ihren Grund hatten, führten dazu, weitere Untersuchungen auf bessere Zeiten zu verschieben. Ob dieselben noch einmal in Angriff genommen sind, ist mir nicht bekannt.

Lediglich durch eine kritische Behandlung der früheren Angaben Baeyers hat A. Boersch*) nachgewiesen, dass dieselben unhaltbar sind. Bei Gelegenheit der Basismessungen von Lecce und Undine zeigten sich in den Jahren 1872 und 1874 bei den Eisen- und Zinkstäben auffallend kleine Ausdehnungskoeffizienten, wie folgende Reihen zeigen:

1872.

italienische Bestimmung.

$e_1 = 0.000008469$	$z_1 = 0.000019033$
$e_2 = 08319$	$z_2 = 18680$
$e_3 = 08219$	$z_3 = 18426$
$e_4 = 07803$	$z_4 = 17633$

1874.

italienische Bestimmung.

$e_1 = 0.000010771$	$z_1 = 0.000024208$
$e_2 = 10474$	$z_2 = 23519$
$e_3 = 10622$	$z_3 = 23754$
$e_4 = 11049$	$z_4 = 24969$

Mit Hilfe derselben Gleichungen, welche in der Gradmessung gegeben sind, unterwirft Boersch die sämtlichen Angaben Baeyers einer Umrechnung und weist nach, dass die scheinbare Abnahme der Ausdehnungskoeffizienten der Eisen- und Zinkstangen des Bessel'schen Basis-Apparates in der Natur der zur Vergleichung angewendeten Metall- und Quecksilberthermometer zu suchen ist. Wenn überhaupt solche Bestimmungen einen Wert haben sollen, so müsse auf die Temperaturangaben die grösste Sorgfalt verwendet werden, während in allen angeführten Fällen darin eine grosse Unsicherheit herrsche im Vergleich zu den Bessel'schen Beobachtungen. Im Jahre 1834 sind die Coefficienten von

*) A. Boersch, astronomische Nachrichten Bd. 99, 1881.

diesem bestimmt worden auf Grund von Angaben der Quecksilber- und Metallthermometer, welche im Laboratorium bei einem möglichst übereinstimmenden Gange der beiden Thermometer zwischen 3° und 17° beobachtet wurden. Abweichend von diesem Gesichtspunkt sind für die im Jahre 1846 berechneten Resultate die Vergleichen der Quecksilber- und Metallthermometer nur zwischen 7° und 14° R im Laboratorium vorgenommen, während die bei den Temperaturen 14° und 23° gemachten Vergleichen im Freien ausgeführt wurden. Noch unsicherer sind die Temperaturbestimmungen für die Belgischen Angaben, da nur zwischen 4° und 7° und zwischen 14° und 23° Angaben gemacht sind, von denen nur die letzteren im Freien angestellt sind; das Intervall 7° bis 14° fehlt.

Bessel hat aber gezeigt, dass bei steigender Temperatur die Quecksilberthermometer den Metallthermometern im Freien oft um 3° vorausseilen, dass dann bei fallenden Temperaturen eine sehr geraume Zeit verstreicht, ehe sich beide einander nähern. Wenn im geschlossenen Raume die Thermometer gegen Sonnenstrahlen und strahlende Wärme geschützt werden können, so weichen sie eben von den andern ab, welche im Freien diesen störenden Einflüssen ausgesetzt gewesen sind.

Unter Berücksichtigung der durch Rechnung erwiesenen Angabe, dass schon bei einer Temperaturdifferenz von 0.5° bis 1° eine auffallende Aenderung in den Resultaten eintreten musste, erklärt sich die Unrichtigkeit der Baeyer'schen Zahlen. Boersch findet als Ersatz für die im Jahre 1846 gefundenen Coefficienten

$e_1 = 0.00001462$	$z_1 = 0.00004264$
$e_2 = 1463$	$z_2 = 4163$
$e_3 = 1510$	$z_3 = 4235$
$e_4 = 1563$	$z_4 = 4375$

Sie zeigen keine Abnahme, sondern sogar eine Vergrößerung, nur beim zweiten Zinkstabe ist ein Schwanken ersichtlich.

Für die italienischen Angaben, welche so auffallend klein erschienen, dass durch sie die neue Untersuchung veranlasst worden war, ergibt die Umrechnung

$e_1 = 0.00001511$	$z_1 = 0.00003312$
$e_2 = 1467$	$z_2 = 3294$
$e_3 = 1453$	$z_3 = 3258$
$e_4 = 1418$	$z_4 = 3204$

Diese Werte nähern sich viel mehr den ursprünglich angegebenen; für Eisen zeigen sie angenähert Uebereinstimmung mit den auf andere Weise abgeleiteten:

für die Toise 10 von Gussstahl 0.00001455

0. 1437 (Stahl)

0. 1525 (Schmiedeeisen).

Für die Zinkstäbe sind allerdings die Abweichungen nicht unbedeutend:

für eine Zinktoise

0.00003318

0. 3710 (gegossen)

0. 3677

0. 3885 (gehämmert).

Die Unregelmässigkeiten und Sprünge, welche besonders bei Zinkstäben beobachtet worden sind, waren in den bisher erwähnten, geodätischen Zwecken dienenden Untersuchungen von den betreffenden Forschern unter der irrtümlichen Annahme beleuchtet worden, dass die Metalle bei derselben Temperatur dieselbe Länge behalten. Erst die Ausbildung und exacte Anwendung der metronomischen Methoden haben neue Gesichtspunkte geschaffen, welche die erwähnten Erscheinungen im rechten Lichte erscheinen lassen.

Ueber die Veränderung der Länge eines Zinkstabes bei derselben Temperatur findet sich zuerst eine Mitteilung von C. B. Comstock in The American Journal of Science 1881 XXII.

Die Survey Lake der Vereinigten Staaten besitzt einen Normal-Massstab (R 1876) und einen Massstab (M. T. 1876), bei welchem ein Stahl- und ein Zinkstab zu einem Metallthermometer vereinigt sind. Es war ein Basis-Messapparat, dessen wesentliche Bestandtheile gusseiserne Röhren von vier meter Länge waren, in denen ein Thermometer aus einem Stahl- und einem Zinkstab sich befand. Unregelmässigkeiten in den Vergleichungs-Resultaten bei zwei Stäben derselben Röhre führte zu der Frage, ob ein Zinkstab bei derselben Temperatur immer dieselbe Länge behalte. Bei den Untersuchungen wurde ein Zinkstab von 1 m Länge abwechselnd erwärmt und abgekühlt. Vor der Erwärmung war seine Temperatur 36° F, dann wurde dieselbe vierundzwanzig Stunden lang auf 70° bis 80° F erhöht, darauf wurde der Stab auf seine ursprüngliche Temperatur abgekühlt und nun seine Länge festgestellt. Dann erfolgte die weitere Abkühlung auf — 3° F, indem der Stab ungefähr 20 Stunden lang in eine Mischung von Schnee und Salz gelegt wurde; nachdem er nochmals auf seine ursprüngliche Temperatur von 36° F erwärmt worden war, wurde seine jetzige Länge festgestellt. Diese beiden Längen bei derselben Temperatur zeigten einen Unterschied von 15 μ . Eine zweite Reihe von Messungen bezieht sich auf einen Zinkstab von vier meter Länge. Bei der Erwärmung von 41° F bis 75° F und darauf folgender Abkühlung auf 43° F betrug die Längenänderung ungefähr 29 μ . Reduciert man dies auf einen Meter, so beträgt im zweiten Falle bei einem Temperaturwechsel von 30° F die Aenderung die Hälfte der beim Temperaturwechsel von —3° bis 75° F beobachteten Veränderung.

Die zu gleicher Zeit für den Stahlstab beobachteten Unterschiede sind unbedeutend, wie folgende Tabelle zeigt, die sich auf einen Stab von vier meter Länge bezieht:

Tag der Vergleichung	Temperatur der Röhre (1).	Temperatur der Röhre (2).	μ $s_1 - s_2$	μ $z_1 - z_2$
März 14.	39°74 F	39°82	—1.0	—2.3
15.	40°58	40°67	—3.8	—5.2
16.	41°79	41°80	—8.9	—2.5
17.	41°90	41°90	—9.7	—2.4
		Mittel	—5.8	—3.1

Die Röhre (1) wurde nun für vierundzwanzig Stunden auf eine Temperatur zwischen 70° und 80° erwärmt und nach der Erwärmung wurden die beiden Stahl- und Zinkstäbe wieder verglichen:

März 18.	46°51	45°12	—10.1	—58.9
19.	44°25	43°69	— 8.4	—46.8
19.	44°02	43°52	+ 0.9	—38.8
19.	43°88	43°50	+ 2.7	—42.1
20.	43°66	43°37	+ 4.6	—33.5
20.	43°70	43°45	— 6.4	—38.8
21.	43°47	43°33	+ 3.5	—35.3
21.	43°51	43°32	+ 1.1	—33.4
22.	43°33	43°12	+ 2.6	—28.8
22.	43°03	42°90	— 4.9	—26.4
23.	42°76	42°59	— 0.6	—29.7
		Mittel	— 0.1	—32.2

Die bedeutenden Sprünge, welche die ersten vier Reihen zeigen, berücksichtigt C. nicht, er zieht nur aus den Beobachtungen vom 20. bis 23. das Mittel. Uebrigens ergibt sich auch hier schon die Vermutung, dass die beim Zink auftretenden Aenderungen nur vorübergehende seien.

Die Frage, ob ähnliche Erscheinungen bei anderen Metallen vorkommen, ist im Jahre 1883 (The American Journal of Science 1883 XXV) von Woodward, Wheeler, Flint, Voigt einer Untersuchung unterzogen worden, sie erstreckte sich auf die Längenänderungen von gewissen Stäben bei der Temperatur des schmelzenden Eises. Die Stäbe waren aus Stahl, Glas, Kupfer, Messing, Zink hergestellt. Ueber letzteren allein mögen hier einige Angaben Platz finden. Seine Länge betrug 1.03 m, er war im Sommer 1881 gegossen. Zur Vergleichung diente ein Massstab aus Stahl, während der andere Stab der Temperatur des schmelzenden Eises ausgesetzt wurde. Nach einer darauf folgenden Erwärmung auf 208° F wurde eine Abkühlung auf —8 F herbeigeführt, worauf der Stab in schmelzendes Eis gelegt wurde. Bevor die Aenderungen der Temperatur vorgenommen wurden, war der Stab viele Monate hindurch wärmer als 32° F gewesen.

Das Endresultat findet sich in folgender Tabelle, welche die Mittelwerte von den an den einzelnen Tagen gemachten Bestimmungen enthält:

Die Veränderung der Temperatur auf 208° vergrösserte den Stab um 139 μ gegen seine ursprüngliche Länge.

Die Temperatur des schmelzenden Eises verkürzte ihn in 4 Tagen um 39 μ . Dann der Temperatur des Vergleichsraumes (45° F) ausgesetzt, zeigte er in 3 Tagen keine weitere Aenderung.

Nach der Abkühlung auf —8 F wurde er wiederum vermindert um 30 μ ; andert-halb Tage im schmelzenden Eise zeigte er keine weitere Aenderung.

Darauf der Temperatur des Vergleichs-Raumes (45° F) ausgesetzt, verlängerte er sich wieder in einem Tage um 15 μ .

Der Stab war dann der Temperatur von 70° ausgesetzt nach der vorangegangenen Abkühlung im schmelzenden Eise: in 4 Stunden verlängerte er sich um 26 μ gegen die vorhergehenden Tage, indem sie ihn noch 11 μ länger liess als seine ursprüngliche Länge war.

Die gesammte Aenderung der Temperatur betrug 216° F.

Die gesammte Aenderung in der Länge bei der Temperatur des schmelzenden Eises betrug 169 μ .

1883.	$z_1 - s_1$	
Januar 28.	12.2	Vor der Erhitzung.
29.	9.0	
30.	9.9	
31.	10.4	
Februar 2.	149.1	Nach der Erhitzung auf 208 F.
3.	116.6	z. blieb anhaltend im schmelzenden Eise.
3.	112.3	
4.	103.3	
5.	100.1	
6.	100.4	
7.	95.3	
8.	98.2	
9.	101.0	
10.	—21.2	Nach der Abkühlung auf —8 F war z im schmelzenden
10.	—18.5	Eise.
11.	—20.1	
12.	—5.5	
13.	+21.1	Nach der Erhitzung auf 70° F.

Aus den andern a. a. O. für Glas, Kupfer, Messing, Stahl mitgeteilten Resultaten ergibt sich der Schluss, dass diese Substanzen in ihrem thermischen Verhalten keine auffallenden Aenderungen gezeigt haben, dass dagegen Zink wegen der bedeutenden Schwankungen sich nicht als Component eines Metallthermometers, noch weniger als Material eines Massstabes eignet.

Die folgenden Massbestimmungen sind im Sommer 1890 in einem physikalischen Praktikum, an welchem ich teilgenommen habe, unter Leitung des Herrn Professor Dr. Pernet in seinem Laboratorium in Berlin ausgeführt worden. Die von demselben gewonnenen Ablesungen sind mir zur weiteren Berechnung und Bearbeitung überlassen worden.

Ein Zinkstab von kreisförmigem Querschnitt, über einen meter lang, war längere Zeit in der Zimmertemperatur von ungefähr 18° sich selbst überlassen. Die Enden des Meters waren durch parallele Striche auf dem Stabe bestimmt. Als Vergleichungs-Massstab diente ein Messing-Meterstab. Beide Stäbe wurden parallel nebeneinander gelegt, so dass die Endstriche des Zinkstabes in ihrer Lage genau den Endmassen des Massstabes entsprachen. Zwischen beiden dicht aneinander gelagerten Stäben lag oben auf ein Thermometer, dessen Kalibrierung vorher genau bestimmt worden war. Auf jeder Seite des Comparators war ein Mikroskop vorhanden, die Pointierungen wurden zuerst an der einen Strecke links, dann an derselben Strecke rechts vorgenommen, darauf wurde ebenso mit den Enden der andern Strecke verfahren. Bei Beginn der Messung wurde die Temperatur abgelesen, nach fünf Messungen (ZMZMZ) wurde abermals die Temperatur notiert, dann wurden nochmals vier Messungen (MZMZ) ausgeführt und schliesslich die Endtemperatur bestimmt. Wegen der eigentümlichen Beleuchtungsverhältnisse wurde auch am Tage mit künstlichem Licht gearbeitet; um die Massstäbe und das Thermometer gegen die strahlende Wärme zu schützen, wurden Decken von nicht leitendem Stoff aufgelegt, diese wurden nur für kurze Zeit entfernt.

Der Zinkstab wurde vor der Erhitzung bei einer im Vergleichsraum herrschenden Mitteltemperatur von $21^{\circ}35$ C gemessen, dieselbe ergibt sich aus drei Thermometer-Ablesungen. An demselben Tage wurde bei einer Mitteltemperatur von $21^{\circ}66$ C eine neue Reihe von Messungen vorgenommen.

An demselben Abend erfolgte die Ueberführung des Stabes in das Wasserbad $6^{\text{h}} 30^{\text{m}}$, von $6^{\text{h}} 50^{\text{m}}$ bis $7^{\text{h}} 10^{\text{m}}$ unterlag er der Temperatur des siedenden Wassers, dann wurde er herausgenommen und nochmals derselben Temperatur von $7^{\text{h}} 20^{\text{m}}$ bis $7^{\text{h}} 40^{\text{m}}$ ausgesetzt. Nach dem zweiten Bade wurde er in den Comparator gebracht und nachdem unter den sorgfältigsten Vorsichtsmassregeln seine Lage zum Massstabe genau justiert worden war, wurde er 15 Stunden lang sich selbst überlassen. Am folgenden Tage sind zwei Reihen von Messungen notiert worden, von denen die erste bei einer Mitteltemperatur von $18^{\circ}80$ C durch einen Zeitraum von sieben Stunden von der zweiten, welche bei einer Mitteltempe-

ratur von 18°73 C stattfand, getrennt war. Nach Verlauf von fünfzehn Stunden wurde eine dritte Reihe von Ablesungen bei einer Mitteltemperatur von 18°16 C vorgenommen.

Am 27. Juli wurde der Zinkstab noch einmal gesotten und zwar war er der Temperatur des siedenden Wassers während einer Stunde ausgesetzt. Darauf erfolgte eine vorläufige Bestimmung bei einer Mitteltemperatur von 19°59 C und nach sieben Stunden eine abermalige Messung bei einer Mitteltemperatur von 19°13 C.

Nach Verlauf von fünfzehn Stunden und darauf nach einem Zeitraum von ungefähr sieben Stunden erfolgte die Beobachtung bei den Mitteltemperaturen von 19°18 C und 19°79 C.

Am 29. Juli wurde die Untersuchung abgeschlossen mit zwei Reihen von Mass-Bestimmungen nach einer Pause von ungefähr dreizehn Stunden resp. zwölf Stunden bei den entsprechenden Temperaturen von 19°55 C und 20°12 C.

In den nachfolgenden Tabellen enthalten die beiden ersten Reihen die Ablesungen L (links) und R (rechts), die danebenstehenden die Verwandlung der Ablesungen in μ .

Z bedeutet den Zinkstab, M den Messing-Massstab.

Mz das Mittel aus zwei aufeinanderfolgenden Z.

Mz—M Unterschied in der Länge der beiden Stäbe.

In der am Ende der Messungen angefügten Zusammenstellung der Resultate ist die Thermometer-Correktion von 0.25° C berücksichtigt, die Längenunterschiede in μ sind auf die Temperatur von 18° C reduciert, der mittlere Ausdehnungskoeffizient zwischen 0° und 40° C beträgt für Zink 29.2 μ , für Messing 18.5 μ .

Die Resultate zerfallen in 3 Gruppen:

1. Vor der Erhitzung.	2. Nach der ersten Erhitzung.	3. Nach der zweiten Erhitzung.
222.8	275.0	292.3
222.1	277.0	290.1
	276.1	288.1
		284.7
		282.3
		280.4

Die erste Erhitzung auf die Siedetemperatur des Wassers bewirkte eine Längenänderung um 53.5 μ im Mittel, welche sich im Zeitraum von 39 Stunden ziemlich konstant erhalten hat. Nach der zweiten Erhitzung erfolgte eine abermalige Verlängerung von 16 μ . Die Abnahme von dem höchsten Punkt erfolgt deutlich in regelmässig verlaufender Weise im Zeitraum von ungefähr 56 Stunden.

Literaturnachweis.

Monatsberichte der Akademie der Wissenschaften. Berlin 1867.

Astronomische Nachrichten. Bd. 99.

Publikation des geodätischen Instituts „Massvergleichungen.“ Bd. 1.

Wiedemann's Journal für Physik. Bd. 149.

Beiblätter. (Bericht über Chateliers Untersuchungen).

The American Journal of Science. Bd. 22. 25.

Metronomische Beiträge. Heft 3.

25. Juli 1890. 4h 30m Nachmittags.

Ablesung.

Temperatur 21°11 C.		Verwandlung in μ .	
L	R	L	R
Z 5.889	4.463	Z 5.9420	1.2126
M 5.975	5.694	M 6.0288	1.5471
Z 5.900	4.462	Z 5.9531	1.2123
M 5.974	5.687	M 6.0278	1.5452
Z 5.903	4.463	Z 5.9561	1.2126

Temperatur 21°34 C.

M 5.973	5.645	M 6.0268	1.5338
Z 5.910	4.483	Z 5.9632	1.2180
M 5.975	5.677	M 6.0288	1.5424
Z 5.904	4.454	Z 5.9571	1.2102

Temperatur 21°56 C.

Differenz in μ .	Differenz Mz—M.
L—R	μ
Z 4.7294	253.4
M 4.4817	
Z 4.7408	259.6
M 4.4826	
Z 4.7435	251.3
M 4.4930	
Z 4.7452	<u>259.7</u>
M 4.4864	
Z 4.7469	Mittel 256 μ

Mitteltemperatur 21°34 C.

25. Juli 1890. 6h Abends.

Ablesung.

Temperatur 21°52 C.		Verwandlung in μ .	
L	R	L	R
Z 5.903	4.460	Z 5.9561	1.2118
M 5.975	5.692	M 6.0288	1.5465
Z 5.905	4.448	Z 5.9582	1.2085
M 5.981	5.686	M 6.0348	1.5449
Z 5.903	4.451	Z 5.9561	1.2093

Temperatur 21°71 C.

M 5.980	5.671	M 6.0338	1.5408
Z 5.903	4.441	Z 5.9561	1.2066
M 5.980	5.673	M 6.0338	1.5414
Z 5.904	4.450	Z 5.9571	1.2091

Temperatur 21°76 C.

Differenz in μ .	Differenz Mz—M.
L—R.	μ .
Z 4.7443	264.7
M 4.4823	
Z 4.7497	258.4
M 4.4899	
Z 4.7468	255.2
M 4.4930	
Z 4.7495	256.4
M 4.4924	Mittel 258.7 μ .
Z 4.7480	

Mitteltemperatur 21°66 C.

26. Juli 1890. 11h 30_m Vormittags.

Ablesung.

Temperatur 18°61 C.			Verwandlung in μ .		
	L	R		L	R
Z	5.804	3.936	Z	5.8562	1.0694
M	5.869	5.200	M	5.9218	1.4128
Z	5.804	3.916	Z	5.8562	1.0640
M	5.874	5.213	M	5.9268	1.4164
Z	5.804	3.933	Z	5.8562	1.0686

Temperatur 18°84 C.					
M	5.872	5.214	M	5.9248	1.4166
Z	5.805	3.927	Z	5.8572	1.0670
M	5.873	5.211	M	5.9258	1.4158
Z	5.807	3.920	Z	5.8592	1.0651

Temperatur 18°96 C.

Differenz in μ .		Differenz Mz—M.	
	L—R.		μ .
Z	4.7868		280.5
M	4.5090		
Z	4.7922		280.0
M	4.5104		
Z	4.7876		280.7
M	4.5082		
Z	4.7902		<u>282.2</u>
M	4.5100		
Z	4.7941	Mittel	280.9 μ .

Mitteltemperatur 18°80 C.

26. Juli 1890. 7h 30m Abends.

Ablesung.

Temperatur 18°60 C.		Verwandlung in μ .	
L	R	L.	R
Z 5.796	3.893	Z 5.8482	1.0577
M 5.861	5.173	M 5.9138	1.4055
Z 5.797	3.890	Z 5.8493	1.0569
M 5.861	5.166	M 5.9138	1.4036
Z 5.799	3.890	Z 5.8512	1.0569

Temperatur 18°72 C.			
M 5.863	5.166	M 5.9158	1.4036
Z 5.798	3.896	Z 5.8502	1.0585
M 5.8625	5.168	M 5.9153	1.4041
Z 5.800	3.897	Z 5.8522	1.0588

Temperatur 18°86 C.

Differenz in μ .

L--R.
Z 4.7904
M 4.5083
Z 4.7923
M 4.5102
Z 4.7943
M 4.5122
Z 4.7917
M 4.5112
Z 4.7934

Differenz Mz—M.

μ .
283.0
283.1
280.8
281.3
<hr/> Mittel 282.1 μ .

Mitteltemperatur 18°73 C.

27. Juli 1890. 10h. 30m Vormittags.

Ablesung.

Temperatur 17 ^o 98 C.		Verwandlung in μ .	
L	R	L	R
Z 5.7895	3.908	Z 5.8416	1.0618
M 5.8595	5.178	M 5.9122	1.4069
Z 5.7855	3.897	Z 5.8376	1.0588
M 5.858	5.171	M 5.9107	1.4049
Z 5.794	3.913	Z 5.8462	1.0632

Temperatur 18 ^o 16 C.			
M 5.859	5.172	M 5.9117	1.4052
Z 5.791	3.915	Z 5.8431	1.0637
M 5.858	5.171	M 5.9107	1.4049
Z 5.796	3.912	Z 5.8482	1.0629

Temperatur 18^o34 C.

Differenz in μ .		Differenz Mz—M.	
L—R.		μ .	
Z	4.7798		274.0
M	4.5053		
Z	4.7788		275.1
M	4.5058		
Z	4.7830		274.7
M	4.5065		
Z	4.7794		276.6
M	4.5058	Mittel	275.1 μ .
Z	4.7853		

Mitteltemperatur 18^o16 C.

Nach den bisherigen Beobachtungen ergibt sich:

Mitteltemperatur:	μ	Reduction auf	μ	Bemerkungen:
21°10 C	256.0	18°	222.8	Vor dem Erhitzen.
21°41 C	258.7	18°	222.2	
18°55 C	280.9	18°	275.0	Nach dem Erhitzen im
18°48 C	282.1	18°	277.0	kochenden Wasser.
17°90 C	275.1	18°	276.1	

An demselben Tage — 27. Juli — wurde der Zinkstab von 11^h 30^m bis 12^h 30^m Vormittags gesotten, dann justiert und zugedeckt bis 12^h 50^m und dann sofort eine vorläufige Bestimmung gemacht:

Ablesung.

Temperatur 19°55 C.		Verwandlung in μ .	
L	R	L	R
Z 5.797	3.750	Z 5.8492	1.0189
M 5.803	4.910	M 5.8552	1.3341
Z 5.7985	3.770	Z 5.8507	1.0243
M 5.797	4.891	M 5.8492	1.3289
Z 5.7995	3.775	Z 5.8517	1.0257

Temperatur 19°63 C.

Differenz in μ .	Differenz Mz—M.
L—R	μ .
Z 4.8303	307.3
M 4.5211	
Z 4.8264	305.9
M 4.5203	
Z 4.8260	Mittel 306.6 μ .

Mitteltemperatur 19°59 C.

27. Juli 1890. 7h 30m Abends.

Ablesung.

Temperatur 19°02 C.		Verwandlung in μ .	
L	R	L	R
Z 5.7890	3.802	Z 5.8411	1.0330
M 5.7910	4.901	M 5.8431	1.3316
Z 5.789	3.795	Z 5.8411	1.0311
M 5.7885	4.907	M 5.8406	1.3332
Z 5.790	3.799	Z 5.8421	1.0322

Temperatur 19°14 C.			
M 5.791	4.901	Z 5.8431	1.3316
Z 5.787	3.785	M 5.8390	1.0284
M 5.7865	4.885	Z 5.8386	1.3273
Z 5.789	3.795	M 5.8411	1.0311

Temperatur 19°24 C.

Differenz in μ .	Differenz Mz—M.
L—R	μ .
Z 4.8081	297.6
M 4.5115	
Z 4.8100	302.6
M 4.5074	
Z 4.8099	298.8
M 4.5115	
Z 4.8106	299.0
M 4.5113	
Z 4.8099	Mittel 299.5 μ .

Mitteltemperatur 19°13 C.

28. Juli 1890. 10^h Vormittags.

Ablesung.

Temperatur 19°01.		Verwandlung in μ .	
L	R	L	R
Z 5.787	3.886	Z 5.8391	1.0558
M 5.785	4.965	M 5.8371	1.3490
Z 5.7895	3.882	Z 5.8416	1.0547
M 5.785	4.961	M 5.8371	1.3479
Z 5.791	3.883	Z 5.8431	1.0550

Temperatur 19°21 C.			
M 5.786	4.955	M 5.8381	1.3463
Z 5.793	3.882	Z 5.8451	1.0547
M 5.787	4.958	M 5.8391	1.3471
Z 5.7925	3.878	Z 5.8446	1.0537

Temperatur 19°32 C.

Differenz in μ .

L—R	
Z	4.7833
M	4.4881
Z	4.7869
M	4.4892
Z	4.7881
M	4.4918
Z	4.7904
M	4.4920
Z	4.7909

Differenz Mz—M.

μ	
	297.0
	298.9
	297.5
	298.6
Mittel	298. μ .

Mitteltemperatur 19°18 C.

28 Juli 1890, 6h 35m Abends.

Ablesung.

Temperatur 19 ^o 61 C.		Verwandlung in μ .	
L	R	L	R
Z 5.793	3.871	Z 5.8451	1.0518
M 5.7885	4.966	M 5.8406	1.3493
Z 5.7915	3.868	Z 5.8436	1.0509
M 5.7875	4.952	M 5.8396	1.3455
Z 5.7945	3.876	Z 5.8467	1.0531

Temperatur 19^o82 C.

M 5.7875	4.965	M 5.8396	1.3490
Z 5.7975	3.890	Z 5.8497	1.0569
M 5.7885	4.963	M 5.8406	1.3484
Z 5.798	3.886	Z 5.8502	1.0558

Temperatur 19^o94 C.

Differenz in μ .	Differenz Mz—M.
L—R	μ .
Z 4.7933	301.7
M 4.4913	
Z 4.7927	299.0
M 4.4941	
Z 4.7936	302.6
M 4.4906	
Z 4.7928	301.4
M 4.4922	
Z 4.7944	
	Mittel 301.2 μ .

Mitteltemperatur 19^o79 C.

29. Juli 1890. 8h 5m Vormittags.

Ablesung.

Temperatur 19°34 C		Verwandlung in μ .	
L	R	L	R
Z 5.790	3.903	Z 5.8421	1.0604
M 5.7845	4.984	M 5.8366	1.3542
Z 5.790	3.905	Z 5.8421	1.0610
M 5.7865	4.978	M 5.8386	1.3525
Z 5.791	3.911	Z 5.8431	1.0626

Temperatur 19°62 C.

M 5.787	4.976	M 5.8391	1.3520
Z 5.7945	3.913	Z 5.8467	1.0632
M 5.7875	4.979	M 5.8396	1.3528
Z 5.7925	3.909	Z 5.8446	1.0621

Temperatur 19°71 C.

Differenz in μ .

	L—R
Z	4.7817
M	4.4824
Z	4.7811
M	4.4861
Z	4.7805
M	4.4871
Z	4.7835
M	4.4868
Z	4.7825

Differenz Mz—M.

	μ .
	299.1
	294.7
	294.9
	296.2
Mittel	296.2 μ .

Mitteltemperatur 19°55 C.

29. Juli 1890. 8h 15_m Abends.

Ablesung.

Temperatur 19 ^o 92 C.		Verwandlung in μ .	
L	R	L	R
Z 5.7955	3.902	Z 5.8477	1.0602
M 5.7875	4.971	M 5.8396	1.3506
Z 5.7975	3.907	Z 5.8497	1.0615
M 5.789	4.977	M 5.8411	1.3523
Z 5.796	3.895	Z 5.8482	1.0583

Temperatur 20 ^o 12 C.			
M 5.7895	4.980	M 5.8416	1.3531
Z 5.799	3.901	Z 5.8512	1.0599
M 5.791	4.974	M 5.8431	1.3514
Z 5.8325	4.022	Z 5.8850	1.0928

Temperatur 20^o30 C.

Differenz in μ .	Differenz Mz—M
L—R	μ .
Z 4.7875	298.9
M 4.4890	
Z 4.7882	300.3
M 4.4888	
Z 4.7899	302.1
M 4.4885	
Z 4.7913	300.0
M 4.4917	
Z 4.7922	
	Mittel 300.4 μ .

Mitteltemperatur 20^o12 C.

Zusammenstellung der Resultate.

In der folgenden Tabelle enthält die erste Reihe das Datum, die zweite die Mitteltemperatur, bei welcher beobachtet worden ist, die dritte die durch die Thermometerkorrektion reducierte Mitteltemperatur, die vierte die aus der Berechnung sich ergebenden μ , die fünfte Reihe die auf die Temperatur von 18° reducierten μ .

25. Juli	21°34	21°10	256.0	222.8	} vor der Er- hitzung.
	21°66	21°41	258.7	221.1	
26. Juli	18°80	18°55	280.9	275.0	} nach der ersten Er- hitzung.
	18°73	18°48	282.1	277.0	
27. Juli	18°16	17°91	275.1	276.1	} nach der zweiten Er- hitzung.
	19°59	19°34	306.6	292.3	
	19°13	18°88	299.5	290.1	
28. Juli	19°18	18°93	298.	288.1	} nach der zweiten Er- hitzung.
	19°79	19°54	301.2	284.7	
29. Juli	19°55	19°30	296.2	282.3	}
	20°12	19°87	300.4	280.4	

