

Zwei Mittheilungen

von

H. Fritz.

A. Ueber die gegenseitigen Beziehungen der physikalischen Eigenschaften technisch wichtiger Metalle und einiger anderer Stoffe.

Im XVI. Band dieser Zeitschrift veröffentlichte der Verfasser die Resultate einer Untersuchung über die gegenseitigen Beziehungen der physikalischen Eigenschaften technisch wichtiger Metalle, woran die Voraussetzung geknüpft wurde, dass im Verlaufe einer Reihe von Jahren neue Versuche und daran angeknüpfte Betrachtungen weitere Aufklärung bringen würden. Wenn die gehegten Erwartungen auch nur in bescheidenem Masse erfüllt wurden, so lohnt es sich immerhin auf derartige Untersuchungen zurückzukommen, da einerseits die damals aufgefundenen Beziehungen nicht werthlos wurden, sondern neue Stützen fanden und andererseits neue Beziehungen von nicht weniger Interesse aufgefunden werden konnten.

Zunächst lässt sich die Formel $K_1 = \alpha \cdot \Delta \left(\frac{\alpha}{E}\right)^2$ noch mehr oder weniger gut, ohne Aenderung der Constanten α auf folgende unten angeführte Stoffe anwenden. Es bezeichnet K_1 den Werth der Bruchbelastung eines Quadratmillimeters in Kg., Δ die Dichtigkeit, α den Coefficienten

der Ausdehnung durch Wärme pro Grad Celsius zwischen 0° und 100° , E den Elasticitätscoefficienten und α eine Constante, die nahe 100 ist, desshalb bequem zu 100 angenommen wird. Wir wiederholen, dass, wenn Δ die Masse, $\left(\frac{E}{\alpha}\right)^2$ das Quadrat der Entfernung, K die Grösse der Anziehung vertritt, die obige Formel die Form des Attractionsgesetzes hat.

Stoffe	Δ	K beobachtet	E	α	K_1 berechnet
Stahl (weich)	7,7	40–100	{0,0000333 Redtenbacher 0,0000591 Wertheim	{0,0000107 Ellicot 0,0000119 Smeaton	} 25,3–98,6
Stahl (hart)	—	—	0,0000400 Hütte	{0,0000123 Smeaton 0,0000137 Laplace	} 69,6–90,9
Gusseisen	7,2	10–25	{0,0000787 Wertheim 0,0001000 Allgemein	{0,0000106 Fizean 0,0000112 Adie	} 7,6–14,5
Messing	8,4	12–40	{0,0001015 0,0001563} Weisbach	{0,0000182 Ellicot 0,0000214 Daniell	} 11,4–37,9
Bronze (Kanonenmetall)	8,8	26	0,0001427 Redtenbacher	{0,0000178 Fizean 0,0000185 Daniell	} 13,2–15,7
Phosphorbronze	—	40	0,0001014 Dingl. Journ.	0,0000180 »	27,5
Glas	2,5	0,3–2	0,0001451 Wertheim	{0,0000081 Dulong 0,0000094 Régnault	} 0,78–1,03
Eis	0,91	0,05–0,08	{0,00540 0,00844} Fabian	{0,0000513 Pohrt 0,0000528 Plücker	} 0,0034–0,0087

Durchweg stimmen auch hier die berechneten Werthe innerhalb der Grenzen, wie sie sich bei unserer ersten Veröffentlichung für die damals benützten Metalle ergaben. Geringe Aenderungen der Werthe von E , α oder der Constanten würden genügen, um die gerechneten Werthe von K_1 mit den durch Versuche gefundenen in Einklang zu bringen. Ein bestimmter Entscheid lässt sich erst dann geben, wenn alle Eigenschaften an dem gleichem Stücke untersucht werden und die Einflüsse der Unreinheit, des Bearbeitungszustandes, der Dimensionen u. s. w. der benutzten Stücke mit in Betracht gezogen werden können. Die wesentlichste Ausnahme zeigt das Eis, wofür sehr wenige Versuche vorliegen und wofür sehr wahrscheinlich die Constante eine andere sein wird, als für Körper, deren Schmelzpunkt weiter von der Temperatur entfernt liegt, bei welcher die Versuche gemacht wurden. Da die meisten Versuchsergebnisse bei $10-15^{\circ}$ C. erhalten wurden, so würden aller Wahrscheinlichkeit nach von der Temperatur abhängige Coefficienten eingeführt oder die Constante darnach geändert werden müssen. Ausserdem werden Metalle und nicht metallische Verbindungen kaum übereinstimmende Constanten erfordern.

Durchweg parallel der absoluten Festigkeit ändern sich die Werthe der Producte aus Dichtigkeit und specifischer Wärme — «Dichte des Aethers» nach Redtenbacher, «Relative Wärme» nach gewöhnlicher Bezeichnung —, wodurch sich diese Werthe gleichfalls benutzen liessen, um aus ihnen für die meisten Metalle practisch genau genug die Festigkeit abzuleiten. Formeln von verschiedener Form liessen sich leicht ableiten.

Da sich indessen mindestens eben so schöne Resultate erzielen lassen mit den reinen Beobachtungswerthen, als

mit sozusagen willkürlich aufgesuchten Hilfsgrößen, wenn man die Quotienten der Schmelztemperaturen durch die Atomvolumen benutzt, so ist auf die Aufstellung anderer Formeln zu verzichten. Ohne dass wir durch die Einführung von Constanten die gefundenen Werthe den Beobachtungsergebnissen näher anzupassen suchen, geben wir in folgender Zusammenstellung, unter Benutzung der angegebenen, theilweise früher ebenfalls gebrauchten Werthe, die nach den Formeln

$$K_4 = \frac{t \Delta}{A} \text{ und}$$

$$K_5 = t \cdot \Delta \cdot s \cdot \frac{\Delta}{A} = \Delta^2 \cdot t \cdot \frac{s}{A}$$

sich ergebenden Werthe, welche jetzt nicht mehr die erheblichen Ausnahmen, wie sie sich nach den Formeln K_1 und K_2 (S. 165 und 167, Bd. XVI dieser Zeitschrift) ergaben, zeigen. Es bezeichnen t die Schmelztemperatur, s die spezifische Wärme, A die chemischen Aequivalente und Δ die Dichtigkeit.

Metalle	K beobachtet	t in Graden Celsius	s nach Régnault	Δ	A	K_4	K_5
Eisen	25-65	1600	0,11379	7,8	280	44,6	39,6
Kupfer	16-50	1050	0,09515	8,9	317	29,5	25,0
		1200				33,7	28,5
Platin	24-41	1700	0,03243	21,5	987	39,9	26,4
		2500				55,7	38,8
Palladium	27	1700	0,05912	12,1	533	38,2	27,4
Silber	10-36	916	0,05701	10,5	1080	18,0	10,6
		1000			19,4	11,6	
Gold	10-30	1100	0,03244	19,3	1967	21,6	13,5
		1250			24,5	15,3	
Aluminium	11-13	700	0,21430	2,6	137	15,2	7,4
Zink	5-16	423	0,09555	7,2	326	9,3	6,3
Zinn	1,7-4,3	228	0,05623	7,3	590	2,8	1,1
Cadmium	2,3-4,8	360	0,05669	8,6	560	5,5	2,7
Blei	1,3-2,4	325	0,03140	11,3	1035	3,5	1,2
Wismuth	0,97	264	0,03084	9,8	2080	1,2	0,33
Antimon	0,6-0,7	432	0,05077	6,7	1220	2,3	0,81
Messing	12-40	900	0,0939-	8,4	320	23,6	18,6

Die Werthe von K_4 entsprechen etwas besser den festeren, diejenigen von K_5 den weniger festen Metallen. Die Einführung von Constanten würde beide Formeln den durch Versuchen gefundenen Werthen noch besser anschmiegen. Dass die Formeln aller Wahrscheinlichkeit nach auf Metalle, vielleicht auch auf andere Körper, welche nicht auf ihre absolute Festigkeit genauer untersucht sind, sich anwenden liessen, mögen folgende Zahlen zeigen. Man findet für:

	K_4	K_5
Kalium	0,13	0,019
Natrium	0,38	0,108
Quecksilber	-0,55	-0,143

Nach Obigem treten die Werthe $\frac{E}{a}$, $t \frac{A}{A}$, ts und K in Beziehungen zu einander, welche hier nicht weiter zu verfolgen sind; dies um so weniger, als manche der Werthe noch der nöthigen Sicherheit ermangeln und die Werthbestimmungen je an ganz verschiedenen Stücken des gleichen Metalles vorgenommen wurden, so dass ein zuverlässiger Vergleich geradezu noch unmöglich ist. Erörterungen über den möglichen Zusammenhang und die Abhängigkeit der einzelnen Werthe schliessen wir für jetzt aus.

Ueber die Beziehungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles in den Metallen und der specifischen Wärme, wie der Werthe des Erwärmungsvermögens der Metalle durch Electricität und der Producte aus Aequivalenten und specifischer Wärme, verweisen wir auf die oben genannte Abhandlung.

Gegenüber dem Ausspruche Grove's (in «Verwandtschaft der Naturkräfte», deutsch von Schaper, S. 47): die specifische Wärme der Metalle stehe in keinem

Verhältniss zu ihrer Dichtigkeit oder ihrem Ausdehnungscoefficienten für Wärme, verweisen wir auf die vorher gegebenen Werthe von K_5 , K_2 und K_1 , wie darauf, dass selbst aus der einfachen Reihe der Werthe Δs (Product aus Dichtigkeit und specifischer Wärme) der Zusammenhang mit der Festigkeit sich erkennen und sogar die absolute Festigkeit sich sehr annähernd berechnen lässt. Setzen wir beispielsweise

$$K_6 = 70 \cdot s^2 \cdot \Delta - 6,$$

so erhalten wir für die Werthe K_6 bei

Eisen	49,3	Gold	20,5	Zinn	5,6
Kupfer	42,9	Silber	17,4	Blei	2,6
Messing	37,6	Aluminium	15,6	Antimon	2,1
Platin	28,9	Zink	14,4	Wismuth	0,65
Palladium	26,8	Cadmium	11,5		

Wir erhalten somit Werthe, welche sich der Reihe der Werthe der absoluten Festigkeit schon sehr gut anschmiegen und durch Aenderung der Formel sich noch günstiger gestalten liessen.

Aus den Producten der Werthe der linearen Ausdehnung durch Wärme und der Schmelztemperaturen, und somit auch, da nach den Formeln für K_1 und K_2

$$K_1 = \alpha \cdot \Delta \left(\frac{\alpha}{E} \right)^2 \text{ und } K_2 = \frac{(A - 100) s}{3},$$

durch Einsetzen der Werthe $E \frac{K}{\Delta}$ oder $\frac{3K}{s} + 100$, lässt sich eine Reihe bilden, welche der Leistungsfähigkeit der Metalle für Wärme oder Electricität nahe entsprechende Werthe gibt, wie folgende Zusammenstellung zeigt, wobei wir die Metalle nach den von Wiedemann gefundenen Werthen ordnen.

	Leitungsfähigkeit		Werthe		der Producte $a\sqrt{t}$
	der Wärme	Electricität	der Ausdehnung (a)	Schmelztemp. (t)	
Silber	100	100	0,0000200	1000	0,0006320
Kupfer	74	73	0,0000184	1100	6169
Gold	53	59	0,0000155	1250	5472
Messing	24	22	0,0000182	900	5460
Zink	19	?	0,0000294	423	6056
Cadmium	?	?	0,0000313	360	5937
Zinn	15	23	0,0000228	228	3443
Eisen	12	13	0,0000121	1600	4840
Stahl	12	?	0,0000120	1500	4644
Blei	9	11	0,0000280	325	4040
Platin	8	10	0,0000075	2000	3353
Wismuth	2	2	0,0000125	264	2025

In dieser Reihe bilden Zink und Zinn wesentliche Ausnahmen; besser stimmen diese Werthe in der von Franklin und Ingenhaus bestimmten Reihenfolge. Seit Forbes nahm man allgemein an, dass die Leitungsfähigkeit für Wärme und Electricität bei den verschiedenen Metallen stets proportional seien. H. F. Weber (Monatsbericht der Berl. Akad. d. Wiss., Mai 1880) zeigt in eingehenden Versuchen, dass von dieser Regel Abweichungen statthaben und es lassen sich aus seinen Versuchen folgende Verhältnisse berechnen, welchen wir die Verhältnisse der Werthe $a\sqrt{t}$ gegenüber stellen

	Leitungsfähigkeit der Wärme	Electricität	Werthe $a\sqrt{t}$
Silber	100	100	100
Kupfer	75	64	99
Zink	28	26	95
Cadmium	20	23	93
Messing	14	11	86
Zinn	13	15	54

Hiernach hätten wir die gleiche Reihenfolge in der Abnahme der Wärmeleitungsfähigkeit und den Werthen

von $a\sqrt{t}$. Letztere Werthe liessen sich noch ändern, da diejenigen von a bei verschiedenen Beobachtungen bedeutend abweichen und es liesse sich eine Formel den Erfahrungswerthen besser anpassen, als in der obigen einfachen Form geschehen; da aber die Werthe der Leitungsfähigkeit selbst noch sehr verschieden erhalten werden, so ist davon abzusehen.

Stellen wir noch die Quotienten der Werthe der Schmelztemperatur und der Dichtigkeit der Metalle zusammen, dann erhalten wir für

Blei	28,8	Kupfer	117,9
Zinn	31,2	Platin	{ 79,1 bei $t = 1700^\circ$
Gold	57,0		{ 116,3 „ $t = 2500^\circ$
Zink	58,8	Eisen	205,1
Silber	95,0		

Wir erhalten damit eine Reihenfolge der Metalle wie der Grössen der Quotienten, welche mit derjenigen Ordnung übereinstimmen, in welcher sich (nach Prechtl) an den Metallen die Formveränderungen am leichtesten oder vollkommensten durch Hämmern vornehmen lassen.

Unsere Zusammenstellungen ergeben, dass, mindestens bei den angeführten Metallen, die Eigenschaften nicht zufällig, sondern genau gesetzmässig wechselnde sind.

B. Zur Periodicität der Hagelschäden.

In Jahrgang XIX, 1874, dieser Zeitschrift machte der Verfasser zuerst auf die Periodicität der Hagelfälle aufmerksam. Mit Hülfe eines schon reichhaltig zu nennenden Beobachtungsmateriales entwickelte er dann das damals Gegebene weiter in seiner von der holländischen Gesellschaft der Naturwissenschaften in Harlem preisgekrönten

Schrift: «Die Beziehungen der Sonnenflecken zu den magnetischen und meteorologischen Erscheinungen der Erde.» Die darin enthaltene Zusammenstellung wurde im Ganzen als der angegebenen Periodicität entsprechend anerkannt, zu den einzelnen Reihen indessen bemerkt, dass sich manche nicht den Perioden fügen. Weder der Verfasser, noch irgend Jemand, welcher mit der Aufstellung derartiger Beobachtungsreihen, wie mit dem wechselnden Auftreten der Hagelfälle bekannt ist, konnte annehmen, dass jede einzelne derselben sich stricte dem Gesetze füge. Ganz gelegentlich kam der Verfasser in der letzten Zeit dazu, die in der obenangeführten Schrift benützten Beobachtungsreihen von 226 Stationen zusammenzufassen und erhielt dann die unten, durch fünfjährige Mittel ausgeglichene Reihe.

Es umfassen die 226 Reihen:

Frankreich	1802—1866	mit 23	Stationen
Italien	1801—1871	„ 5	„
Belgien und Holland	1830—1874	„ 10	„
Oestereich	1801—1873	„ 118	„
Süd-Deutschland	1803—1874	„ 45	„
Schweiz	1816—1875	„ 14	„
Nord-Deutschland	1831—1874	„ 6	„
Grossbritannien	1832—1874	„ 5	„

Jahre	Ausgeglichene Jahressummen- mittel	Abweichung vom Mittel 8,7	Jahre	Ausgeglichene Jahressummen- mittel	Abweichung vom Mittel 8,7
1803	7,4	—1,3	1811	5,0	—3,7
04	7,6	—1,1	12	5,1	—3,6
05	7,5	—1,2	13	5,2	—3,5
06	7,5	—1,2	14	6,2	—2,5
07	5,3	—3,4	15	6,3	—2,4
08	5,0	—3,7	16	7,2	—1,5
09	5,2	—3,5	17	8,6	—0,1
1810	5,7	—3,0	18	8,5	—0,2

Jahre	Ausgeglichene Jahressummen- mittel	Abweichung vom Mittel 8,7	Jahre	Ausgeglichene Jahressummen- mittel	Abweichung vom Mittel 8,7
1819	9,0	+0,3	1847	10,3	+1,6
1820	8,1	-0,6	48	11,7	+3,0
21	8,0	-0,7	49	10,5	+1,8
22	7,5	-1,2	1850	9,5	+0,8
23	7,0	-1,7	51	9,7	+1,0
24	7,0	-1,7	52	9,2	+0,5
25	8,0	-0,7	53	8,4	-0,3
26	8,5	-0,2	54	8,4	-0,3
27	9,1	+0,4	55	8,9	+0,2
28	9,8	+1,1	56	9,2	+0,5
29	9,2	+0,5	57	9,7	+1,0
1830	9,2	+0,5	58	9,7	+1,0
31	8,9	+0,2	59	10,1	+1,4
32	7,6	-1,1	1860	9,6	+0,9
33	9,0	+0,3	61	8,8	+0,1
34	8,8	+0,1	62	8,2	-0,5
35	9,7	+1,0	63	7,6	-1,1
36	9,7	+1,0	64	7,6	-1,1
37	10,5	+1,8	65	8,5	-0,2
38	10,2	+1,5	66	8,1	-0,6
39	10,5	+1,8	67	8,7	0
1840	10,3	+1,6	68	11,0	+2,3
41	9,9	+1,2	69	10,8	+2,1
42	9,3	+0,6	1870	10,0	+1,3
43	9,4	+0,7	71	9,7	+1,0
44	9,2	+6,5	72	8,3	-0,4
45	9,8	+1,1	73	6,6	-2,1
46	9,5	+0,8			

Hier haben wir entschiedene Maxima der Hagel-
fälle um

1804 1819 1828 1839 1848 1859 1869,
welche den Sonnenfleckenmaxima von

1804 1816 1829 1837 1848 1860 1870

so genau, als von einem sehr ungleichartigen und gerade

nicht sehr feinen Beobachtungsmateriale verlangt werden kann, entsprechen. Aehnlich verhalten sich die Minima beider Erscheinungen.

In der obigen Reihe schwanken die Minima gegenüber den Maxima im Mittel von 7,7 : 9,9, oder es verhielten sich die jährlichen Hagelfälle zur Zeit der Minima zu jenen der Maxima im Mittel wie 0,77 : 1, oder nahe so, wie sich dies aus der geringern Anzahl von Beobachtungen, welche damals zu Grunde gelegt werden konnten, im Jahre 1874 ergab. Es wird kaum nothwendig sein, zu erwähnen, dass in der Wirklichkeit die Unterschiede grösser sind, da in Folge der fünfjährigen Ausgleichungen die Minima sich etwas erhöhen, die Maxima sich dagegen etwas erniedrigen. Das Schwanken der mittleren Werthe in den einzelnen Zeitabschnitten liegt sehr wesentlich an dem ungleichartigen, zur Verfügung stehenden Materiale, wobei indessen, um die Schwankungen möglichst zu vermindern, alle Beobachtungsreihen auf ein allgemeines Mittel reducirt wurden. Man darf daraus nicht direct auf die secularen Perioden schliessen. Ohne dass wir für dieses Mal auf neues Beobachtungsmaterial uns zu stützen nothwendig haben, sehen wir in der obigen Zusammenstellung eine Bestätigung des 1874 aufgestellten Satzes: die Hagelerscheinung ist mit den Sonnenflecken veränderlich und erreicht nahe oder vollständig mit den letzteren ihre Maxima und Minima.
