

Ueber die gegenseitigen

Beziehungen einiger physikalischer Eigenschaften bei den technisch wichtigsten Metallen.

Von

H. Fritz.

Die Beziehungen der physikalischen Eigenschaften der Körper zu einander sind bis jetzt noch so wenig bekannt, dass jeder Aufschluss darüber und jedes Gesetz, das irgend welche Wahrscheinlichkeit für sich hat, willkommen sein muss. In Folgendem sollen einige solcher Beziehungen zusammengestellt werden, welche sich als beiläufige Resultate einer noch unvollendeten Untersuchung über die Beziehungen der Ausdehnung der Metalle durch Wärme und durch Belastungen ergaben. Die aller Wahrscheinlichkeit nach nicht zufällig auftretenden Beziehungen werden hier nur in der einfachsten Form zusammengestellt; alle weiteren Entwicklungen und Deutungen müssen einer vollständigeren Bearbeitung vorbehalten bleiben.

In direkter Beziehung zu den angedeuteten Untersuchungen steht zunächst die Abhängigkeit der absoluten Festigkeit der Metalle zu dem Verhältniss der Ausdehnungen derselben durch Wärme und Belastung. Um die nothwendigerweise hier einzufügenden Tabellen nicht zu sehr auszudehnen, begnügen wir uns zunächst mit der Zu-

sammenstellung der Mittel aus denjenigen Werthen, welche für die angeführten und eine weitere Anzahl von Metallen später vollständiger angegeben werden.

Metalle	Δ	K	ε	a	$\frac{a}{\varepsilon}$	R	$10 R$
Eisen	7,8	50	0,000053	0,000013	4,07	0,395	3,95
Kupfer	8,8	33	0,000088	0,000017	5,18	0,516	5,16
Platin	22,1	32	0,000061	0,000008	7,63	0,831	8,31
Silber	10,5	26	0,000138	0,000020	6,90	0,636	6,36
Gold	19,2	20	0,000150	0,000015	10,00	0,979	9,79
Blei	11,3	2	0,000566	0,000028	20,21	2,377	23,77

In dieser Tabelle bezeichnet :

Δ Dichtigkeit der Metalle,

K Bruchmodul pro Quadratmillimeter in Kilogrammen,

ε Elasticitätscoefficient,

a Ausdehnung durch Wärme zwischen 0° bis 100° C.,

$$R = \sqrt{\frac{\Delta}{K}} \cdot 1)$$

Da nach obiger Zusammenstellung sehr nahe

$$10 R = \frac{\varepsilon}{a} = 10 \sqrt{\frac{\Delta}{K_1}},$$

so wird

$$K_1 = 100 \Delta \left(\frac{a}{\varepsilon} \right)^2.$$

Inwiefern diese Beziehungen zwischen den angeführten Werthen für andere Metalle ebenfalls Geltung haben, soll die folgende Tabelle zeigen, welche die Grenzwerte der erhaltbaren Werthe von ε , a und K , nebst den aus der Formel berechneten Werthe von K_1 enthält, wenn man

1) Alle angeführten Werthe gelten für die Temperaturen zwischen 10 bis 12 Grad Celsius.

Metalle	Δ	K beobachtet.	ε	a	K_1 berechnet
Eisen	7,8	25-90	{ 0,0000480 Wertheim 573 Weisbach	0,0000116 Borda 125 Horner 144 Troughton	{ 31,9-52,9 70,2
Kupfer	8,8	16-50	{ 0,0000803 Wh. 951 Wb.	0,0000170 Smeaton 178 Borda	{ 28,1-43,24
Platin	22,1	24-41	{ 0,0000587 Wh. 644 Wb.	0,0000075 Froment 88 Dulong	{ 29,9-49,7
Palladium	11,6	27	{ 0,0000850 Wb. 1022 Wh.	0,0000100 Wollaston 112 Fizeau	{ 11,1-20,1
Silber	10,5	16-36	{ 0,0001360 Wb. 1400 Wh.	0,0000191 Laplace 208 Troughton	{ 19,5-24,6
Gold	19,2	10-30	{ 0,0001230 Wb. 1791 Wh.	0,0000140 Ellicot 155 Laplace	{ 11,7-30,5
Aluminium	2,6	11-13	{ 0,0001350 } Wb. 1480	0,0000222 Winnerl 232 Fizeau	{ 6,4-7,7
Zink	7,2	2-16	{ 0,0001053 Wb. 1475 Wh.	0,0000294 } Smeaton 311	{ 31,9-50,6
Zinn	7,3	1,7-4,3	{ 0,0002397 Wb. 2700 Wh.	0,0000194 Laplace 228 Smeaton	{ 3,7-6,6
Cadmium	8,6	2,3-4,8	{ 0,0001844 } Wh. 2488	0,0000119 Wertheim	{ 1,9-3,6
Blei	11,3	1,3-2,4	{ 0,0002000 Wb. 5790 Wh.	0,0000279 Daniell 295 Trinsep	{ 2,6-[24,7]
Wismuth	9,8	0,97	{ 0,0003040 } Wh. 4044	0,0000139 Smeaton	{ 1,16-2,05
Antimon	6,7	0,65-0,7	{ 0,0002076 } Wh. 3181	0,0000108 Smeaton	{ 0,77-1,8
Messing (Zc. Zu. 2)	8,4	12-40	{ 0,0001015 } Wb. 1563	0,0000185 Roy 188 Smeaton	{ 12,0-29,6

die Werthe von $\frac{\alpha}{\varepsilon}$ so combinirt, dass man für K_1 je den Minimal- und den Maximalwerth erhält.

Diese Tabelle ergibt nur für die drei Metalle Aluminium, Blei und Zink wesentliche Ausnahmen. Für Aluminium wurde unter ε der Werth zu Grunde gelegt, welchen Weisbach im I. Bande der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik, S. 370, für den Elasticitätsmodul gibt, woraus unter der Annahme, dass Aluminium gemäss den bei der Anwendung zu technischen Zwecken gemachten Erfahrungen sich ähnlich wie Messing verhalte, der Werth von ε berechnet wurde. Geringe Abänderungen dieses Werthes würden indessen für K einen berechneten Werth ergeben, der dem praktischen gleich käme.

Bei Blei ist der sehr hohe Werth für K_1 (25) mittelst des bei Weisbach (a. a. O.) gegebenen Werthes von ε berechnet, der sich in keiner Weise mit den von Wertheim gefundenen Werthen vereinigen lässt. Letztere liefern dagegen mit der Erfahrung sehr gut übereinstimmende Werthe für K_1 , wie die Zahl 2,6 zeigt.

Endlich ist Zink ein Metall, das auch in anderen Beziehungen sich eigenthümlich verhält und vielfach besprochen wurde. Wertheim gelang es trotz den vielfachen Versuchen verschiedener Metallarbeiter nicht, reines Zink so homogen herzustellen, dass es sich ziehen liess, wesshalb ein Theil seiner Versuche mit unreinem, käuflichem Zinkblech angestellt werden musste. Selbst über die innere Constitution ist vielfach geschrieben worden, indem bald das Gefüge von doppelt krystallinischer Form, bald von unregelmässiger Bruchform sein sollte. Den

grössern, für ϵ angeführten Werth berechnete Wertheim aus den Querschwingungen des reinen Metalles.¹⁾

Ein Ueberblick über die Tabelle zeigt, dass namentlich die homogenen Metalle sich der Formel fügen. Ebenso genügt es hier auf die Aehnlichkeit der Formel $K = 100 \Delta \left(\frac{a}{\epsilon}\right)^2$ mit der allgemeinen Formel für die Anziehung der Massen hinzuweisen, wenn man statt Δ die Massen und statt $\frac{\epsilon}{a}$ den Abstand der anziehenden Massen setzt, während die Constante (hier zu 100 angenommen) theilweise dem constanten Factor für die Anziehung entspricht.

In der folgenden Tabelle sind zusammengestellt: die Schmelztemperaturen (t), die spezifische Wärme (s), die Producte aus den Schmelztemperaturen und der spezifischen Wärme ($t \cdot s$) und endlich die berechneten Werthe für die absoluten Festigkeiten (K_2) der angeführten Metalle nach der Formel $K_2 = \frac{(t - 100) s}{3}$.

¹⁾ Vergleicht man die von Wertheim gefundenen Werthe für die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles in gezogenen Metallen, so tritt Zink in die gleiche Reihenfolge, wie nach obiger Formel, während die andern Metalle nur unbedeutend ihre Stellung ändern:

Metalle.	Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles.	Metalle.	Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles.
Eisen	15,1	Silber	8,1
Kupfer	11,2	Cadmium	7,9
Zink	11,0	Zinn	7,5
Messing	10,7	Gold	6,4
Platin	8,5	Blei	4,3

Metalle	t in Graden Celsius	s nach Régnault.	$t \cdot s$	K_2
Eisen	1600	0,11379	182,1	57
Kupfer	1090	0,09515	103,7	32
Palladium	1700	0,05927	100,8	32
Platin	2500	0,03243	81,1	26
Silber	1000	0,05701	57,0	17
Gold	1250	0,03244	40,5	13
Zink	423	0,09555	40,3	10
Cadmium	500	0,05669	28,3	7,5
Antimon	432	0,05077	21,9	5,6
Zinn	228	0,05623	12,8	2,4
Blei	325	0,03140	10,2	2,3
Wismuth	264	0,03084	8,1	1,6
Messing	900	0,0939-	84,5	24,7
Aluminium	700	0,21430	150,0	[42,8]

Die Tabelle zeigt, dass die Werthe der Produkte aus t und s übereinstimmend mit den absoluten Festigkeiten der Metalle abnehmen und dass die nach der angegebenen einfachen empirischen Formel berechneten Werthe für K_2 , mit Ausnahme des Werthes für Aluminium, entweder innerhalb der in der vorhergehenden Tabelle angegebenen Grenzwertben für die absolute Festigkeit sich bewegen oder doch diese Grenzen nicht sehr überschreiten. Aluminium ist indessen gerade das Metall, das sich dem Dulong'schen Gesetze am wenigsten fügt und wofür der Werth für die spezifische Wärme (nach Régnault) noch nicht ganz sicher bestimmt ist. Mittelst der gleichen Formel berechnet sich der Werth von K_2 für Quecksilber zu — 1,5.

Endlich ist noch eine Tabelle hier beigegeben, in welcher für die gleichen, oben angeführten Metalle die

Dichtigkeiten (Δ) wie in der ersten Haupttabelle, die chemischen Aequivalente (A) und die Quotienten von $\frac{A}{\Delta}$, die Atomvolumen, für die betreffenden Metalle gegeben sind. In der letzten Spalte sind auch hier wieder Werthe für die absolute Festigkeit der Metalle (K_3) enthalten, welche mittelst der Formel $K_3 = \left(\frac{120 \Delta}{A}\right)^3$ berechnet sind. Die Tabelle zeigt, dass die Werthe von $\frac{A}{\Delta}$ eine Reihe bilden, welche jener der Festigkeiten entgegengesetzt ist, so dass durch Multiplication der Werthe von $\frac{A}{\Delta}$ mit den Mittelwerthen von K Zahlen entstehen, welche relativ, mindestens bei weitaus der grössten Anzahl von Metallen, nicht sehr von einer mittleren Constanten abweichen, die hier zu 120

Metalle	Δ	A	$\frac{A}{\Delta}$	K_3
Eisen	7,8	280	35,9	38
Kupfer	8,8	317	36,0	37
Platin	22,1	987	44,7	20
Zink	7,2	326	45,3	12
Palladium	11,6	533	45,9	19
Gold	19,2	$\frac{1967}{2}$	51,3	18
Silber	10,5	$\frac{1080}{2}$	51,4	13
Aluminium	2,6	137	52,7	13
Cadmium	8,6	560	65,1	3,3
Zinn	7,3	590	80,8	6,3
Blei	11,3	1035	91,6	2,3
Antimon	6,7	1220	182,1	0,3
Wismuth	9,8	2080	211,8	0,2
Messing	8,4	320	38,1	31

angenommen ist und unter deren Beziehung sich die ebenfalls einfache empirische Formel für K_3 bilden lässt, welche Werthe ergibt, die ähnlich den Werthen für K_2 sich durchgängig wieder ganz leidlich innerhalb den Grenzen der Beobachtungswerthe für die absolute Festigkeit halten, wie der Vergleich mit den in der ersten Haupttabelle enthaltenen Werthe zeigt.

Für Gold und Silber sind hier die halben Aequivalente gesetzt, wie dies ähnlich bei dem Dulong'schen Gesetze verlangt wird und für Messing ist das mittlere Aequivalent gesetzt. Wie für Messing, so stimmen auch für andere von Wertheim untersuchten Legirungen die berechneten Werthe ganz ordentlich. Hier mag es genügen, nur das Messing, die für die Technik wichtigste und desshalb am genauesten untersuchte Legirung anzuführen. ¹⁾

Während die erste Formel zwei variable Grössen enthält, welche zum grössten Theil durch unbedeutende Aen-

¹⁾ Die Produkte aus den Aequivalentzahlen und den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles in den Metallen sind für die meisten Metalle nahezu constant. Legt man die Wertheim'schen Werthe zu Grunde, so finden nur da und in dem gleichen Sinne Abweichungen statt, in welchen die Werthe des Dulong'schen Gesetzes (das Produkt aus den Aequivalenten und der spezifischen Wärme ist nahe constant) unter dem Mittel bleiben.

Metalle.	A. v.	A. s.	Metalle.	A. v.	A. s.
Eisen	4228	31,9	Silber	4374	30,8
Kupfer	3541	30,0	Cadmium	4414	31,9
Zink	3586	30,2	Zinn	4425	33,0
Messing	3424	30,0	Gold	4197	31,5
Platin	4195	31,6	Blei	4450	32,4

Bei Platin und Silber ist $\frac{A}{2}$, bei Gold $\frac{A}{3}$ genommen.

derungen die von ihnen abhängigen Werthe mit den durch die Beobachtungen erhaltenen Resultaten in die vollkommenste Uebereinstimmung bringen liessen, fehlt den beiden letzten rein empirischen Formeln die Veränderlichkeit beinahe vollkommen, so dass, wenn die Reihen überhaupt nicht gänzlich auf Zufälligkeit beruhen, in den Gleichungen Glieder fehlen, welche den bedeutenden Wechsel in der absoluten Festigkeit erklären oder mindestens darstellen würden. Ohne Interessen dürften indessen immerhin die sich zeigenden Gesetzmässigkeiten nicht sein.

Eine Reihe von Werthen, welche von mehrfachem Interesse ist, bilden die Produkte aus der Dichtigkeit und der spezifischen Wärme für die angeführten Metalle. Obwohl Redtenbacher in seinem »Dynamidensysteme« diese Werthe unter der Benennung »Dichte des Aethers« aufführt und Riess von denselben in seinem Gesetze über die thermische Wirkung der Electricität (der spezifische Widerstand verschiedener Metalle ist proportional dem dreifachen Produkte des Erwärmungsvermögens mit der spezifischen Wärme und dem spezifischen Gewichte) Gebrauch macht, so ist doch, soviel mir bekannt, nirgends darauf hingewiesen worden, dass dieselben in genauer Beziehung zu der absoluten Festigkeit der Metalle stehen, wie die folgende Tabelle zeigt.

Metalle	Δ . s.	Metalle	Δ . s.
Eisen . . .	0,889	Silber . . .	0,598
Kupfer . . .	0,836	Aluminium . . .	0,556
Messing . . .	0,789	Cadmium . . .	0,490
Platin . . .	0,707	Zinn	0,409
Palladium . . .	0,684	Blei	0,350
Zink	0,669	Antimon . . .	0,342
Gold	0,614	Wismuth . . .	0,303

Von der Ausführung einfacher Formeln zur Berechnung der Bruchfestigkeit unter Benützung obiger Werthe sehen wir hier ab; dagegen sei noch erwähnt, dass die Werthe, welche Riess für das Erwärmungsvermögen der Metalle durch Electricität gibt, nahezu den Produkten aus der spezifischen Wärme und den Aequivalenten entsprechend (dem Werthe des Aethers einer Dynamide nach Redtenbacher) wachsen, wie die folgende Zusammenstellung zeigt.

Metalle.	Werthe des Erwärmungsvermögens nach Riess.	Werthe von A. s.
Kupfer . . .	0,113	30,0
Silber . . .	0,127	30,8
Gold . . .	0,211	31,5
Eisen . . .	0,708	31,9
Platin . . .	1,000	31,6
Zinn . . .	1,570	33,0
Blei . . .	2,876	32,4

Bestimmung der horizontalen Componente des Erdmagnetismus auf chemischem Wege.

Von

Dr. Heinrich Schneebeli.

Die absoluten Maasssysteme in der Electrodynamik sind wesentlich

- 1) das magnetische (auf mechanischem Grundmaass basirend),
- 2) das chemische (electrolytische) Maasssystem.