

zu erfahren, wie gross die Festigkeit der Metalle bei der Temperatur der siedenden Luft ( $-186^{\circ}$ ) ist. Zu meinen ZerreiBversuchen verwendete ich Drähte und das Verfahren war folgendes. Ein Glaszylinder von 35 mm lichte Durchmesser und 200 mm Länge wurde an dem einen Ende mit Kork verschlossen (Fig. 3) und durch diesen mehrere starke Eisendrähte gezogen, an welche die Versuchsdrähte mit Hilfe von Oesen befestigt wurden. Zur Aufhängung der Versuchsdrähte an einen Haken wurde an denselben ein zweiter starker Eisendraht befestigt. Die ZerreiBversuche wurden nicht nur in flüssiger Luft, sondern auch in einem Gemisch von fester Kohlensäure und Aether ( $-80^{\circ}$ ) und bei Zimmertemperatur ( $18^{\circ}$ ) vorgenommen. Die flüssige Luft und die feste Kohlensäure wurden in den genannten Glaszylinder gebracht, so dass die Versuchsdrähte ganz in den tiefen Temperaturen sich befanden. An die unteren Eisendrähte wurde eine grössere Wagschale zur Aufnahme der Belastung gehängt. Gegen Wärmezufuhr zu den Kälteflüssigkeiten wurde der Glaszylinder mit Seidenabfällen als schlechtesten Wärmeleiter stark bekleidet und eine Fangvorrichtung angebracht, damit bei dem stattfindenden Bruch eines Drahtes das Gefäss mit dem Kältemittel in senkrechter Stellung erhalten blieb. Die Belastung wurde immer um 0,5 kg bis zum Bruche eines Drahtes vermehrt. Die Versuchsergebnisse sind aus nachstehender Tabelle zu ersehen und in Fig. 4 graphisch dargestellt. Die Bruchbelastungen für Blei sind wegen den kleinen Werten in zehnfacher Vergrösserung aufgetragen worden. Zur Berechnung der Bruchfestigkeit für die Flächeneinheit wurde nicht der Bruchquerschnitt, sondern der anfängliche Querschnitt genommen.

	Stärke in mm	Querschnitt in qmm	Bruchbelastung in kg bei			Bruchfestigkeit in kg/qmm		
			$18^{\circ}$	$-80^{\circ}$	$-186^{\circ}$	$18^{\circ}$	$-80^{\circ}$	$-186^{\circ}$
Blei . . .	2,51	4,95	9,2	12,7	22,2	1,86	2,57	4,49
Blei . . .	3,47	9,46	17,0	26,2	35,0	1,80	2,77	3,70
Kupfer . .	1,01	0,802	21,0	23,7	28,0	26,18	29,55	34,91
Aluminium	1,25	1,227	20,0	22,7	—	16,30	18,50	—
Eisen . . .	0,51	0,20	7,3	10,7	16,2	36,50	53,50	81,00
Eisen . . .	1,04	0,85	33,2	37,7	—	39,06	44,35	—

Nach diesen Versuchen nimmt die Festigkeit von Blei und Eisen etwas stärker zu als die Temperatur abnimmt, während die Zunahme der Festigkeit bei Kupfer proportional mit der Temperaturabnahme vor sich zu gehen scheint.

Der elektrische Leitungswiderstand der Metalle ändert sich mit der Temperatur, und zwar nimmt er zu, wenn die Temperatur steigt. Clausius<sup>3)</sup> hat darauf aufmerksam gemacht, dass der Temperaturkoeffizient der Metalle nahe so gross ist, wie der Ausdehnungskoeffizient der Gase 0,003667, woraus dann folgen würde, dass der Leitungswiderstand der absoluten Temperatur proportional sei und bei  $-273^{\circ}$  gleich Null werden müsste. Obwohl sich nun diese Beziehung durch die nachherigen Versuche von Mathiessen und v. Bose<sup>4)</sup> nicht bestätigt hat, so haben doch Messungen von v. Wroblewski<sup>5)</sup> ergeben, dass der Widerstand des Kupfers noch rascher sinkt als die absolute Temperatur, so dass dieselbe bei den niedrigen Kältegraden, welche man durch Verdampfen von flüssigem Stickstoff erreicht (ungefähr  $-200^{\circ}$ ), schon auf einen sehr geringen Bruchteil herabsinkt. Nachstehend ist eine der von v. Wroblewski mitgeteilten Versuchsreihen wiedergegeben, welche er mit einem über 2 m langen Kupferdraht erhalten hat.

Temperatur nach Celsius	Widerstand in S.E.
25	19,262
0	17,489
-103	9,769
-146	6,738
-193	2,754
-201	1,655

Diese Resultate lassen erwarten, dass der Widerstand des Kupfers noch lange vor dem Erreichen des absoluten Nullpunktes der Temperatur sich dem Werte Null nähert.

Holborn und Wien haben den elektrischen Widerstand von Platin in Bädern von flüssiger Luft, und in solchen aus Alkohol und fester Kohlensäure bestimmt<sup>6)</sup>. Die Temperatur  $t$  lässt sich als Funktion des Widerstandes  $W$  durch eine Gleichung zweiten Grades bis auf ungefähr  $1^{\circ}$  Genauigkeit darstellen, während die mittleren Abweichungen der Beobachtungen nur einige Zehntel Grad betragen. Diese Gleichung ist

$$t = -258,3 + 5,0567 W + 0,005855 W^2.$$

Wenn es gestattet wäre, diese Formel für Temperaturen unter  $-190^{\circ}$  zu extrapolieren, so würde für die Temperatur  $-258,3^{\circ}$  der elektrische Widerstand des Platins Null werden.

<sup>3)</sup> Poggend. Ann., 104 S. 650.

<sup>4)</sup> Ibid. 115 S. 391.

<sup>5)</sup> Wiedem. Ann., Bd. 26 S. 27.

<sup>6)</sup> Ibid. 1897 Bd. 59 S. 219.

Die spezifische Wärme mehrerer Körper in tiefen Temperaturen hat in neuester Zeit U. Behn bestimmt<sup>7)</sup>. Die Versuche wurden nach der Mischungsmethode angestellt, welche bisher immer das beste Resultat ergeben hatten. Die mittleren spezifischen Wärmen innerhalb einiger Temperaturgrenzen sind folgende:

	100 bis $18^{\circ}$	18 bis $-80^{\circ}$	$-80$ bis $-186^{\circ}$
Blei . . . . .	0,0310	0,0300	0,0291
Platin . . . . .	0,0324	0,0311	0,0277
Iridium . . . . .	0,0323	0,0303	0,0263
Palladium . . . . .	0,0590	0,0567	0,0491
Kupfer . . . . .	0,0940	0,0883	0,0716
Nickel . . . . .	0,1090	0,0983	0,0743
Eisen . . . . .	0,1130	0,0999	0,0721
Aluminium . . . . .	0,220	0,1950	0,1530

Wie man aus dieser Tabelle ersieht, nimmt auch die spezifische Wärme mit Abnahme der Temperatur sehr erheblich ab.

Allgemein zeigt sich, dass eine bleibende Formveränderung stets eine Festigkeitsänderung, also auch eine Änderung in der molekularen Anordnung des Materials zur Folge hat. Es lag daher die Frage nahe, ob durch Strecken auch Dichteänderungen an verschiedenen Stellen des Materials hervorgerufen würden. Die von L. Grunmach<sup>8)</sup> ausgeführten Versuche bejahen diese Frage.

Der zu untersuchende cylindrische Eisenstab, welcher nach Massgabe nebenstehender Skizze abgedreht worden war (Fig. 3), wurde an den Stabköpfen in vertikaler Richtung in eine ZerreiBmaschine gespannt, bei welcher die Kräfteerzeugung durch eine hydraulische Presse erfolgt. Die Beziehungen zwischen Belastung und Dehnung des Stabes sind in Fig. 4 dargestellt, in welcher die Ordinaten den Belastungen und die Abszissen den zugehörigen Dehnungen entsprechen. Solche Linien wurden von der ZerreiBmaschine selbstthätig verzeichnet. Es lassen sich an derselben drei Teile unterscheiden: erstens der bis zur Proportionalitätsgrenze geradlinig verlaufende Teil, zweitens bei dem benutzten Material der Teil nach Ueberschreitung der „Streckgrenze“, bei welcher der Stab eine gewisse Zeit lang beträchtlich sich streckt, ohne dass die Belastung zunimmt, und endlich der dritte Teil bis zur „ZerreiBgrenze“. Bei der Streckgrenze treten bestimmte Veränderungen im Aussehen des Probestabes auf. War der Stab vorher poliert, so verschwindet die Politur, die Oberfläche verändert sich auffällig, sie wird rau und es treten die sogen. „Streckfiguren“ auf, das sind Liniensysteme, welche an verschiedenen Stellen zur Zugrichtung geneigten Richtungen hervortreten, ferner schwächer ausgebildete Liniensysteme, die nahezu senkrecht zur Zugrichtung verlaufen. Diesen Zustand bezeichnet man als „Fliesen“. Die „Streckfiguren“ verschwinden allmählich wieder, und die Last steigt von neuem

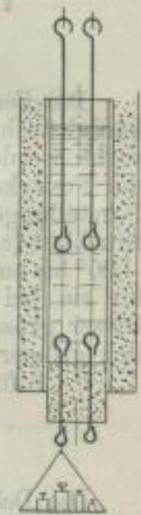


Fig. 3.

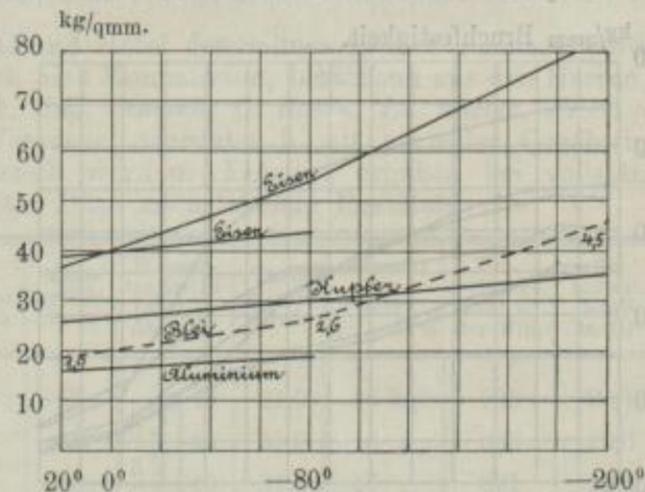


Fig. 4.

an bis zur höchst getragenen Last, der Bruchlast. Unter dieser bildet sich bei zähem Material eine Einschnürung, die allmählich zunimmt, bis schliesslich unter der ZerreiBlast der Bruch des Stabes stattfindet. Im Augenblick des Bruches ist die getragene Last kleiner als die höchstgetragene Last, weil der Querschnitt infolge der Einschnürung kleiner geworden ist.

Nachdem der Versuchsstab in seiner Mitte zerrissen war, wurde er vorsichtig in die 12 Stücke zerschnitten und das spezifische Gewicht dieser Stücke auf das Sorgfältigste durch Wägungen in der Luft und in Wasser bestimmt. Die Resultate

<sup>7)</sup> Wiedem. Ann., 1898 Bd. 66 S. 237.

<sup>8)</sup> Ibid. 1899 Bd. 67 S. 227.