**4. Ueber die specifische Wärme der Metalle,
des Graphits und einiger Legirungen bei tiefen
Temperaturen; von U. Behn.**

(Hierzu Taf. II.)

1. Die vorliegende Arbeit bildet die Fortsetzung der im vorigen Jahre veröffentlichten.¹⁾ Diese wurde ausgedehnt auf die Untersuchung des Graphits und einiger weiterer Metalle, nämlich Sb, Sn, Cd, Ag, Zn und Mg. Ausserdem wurden noch die specifischen Wärmen mehrerer Legirungen gemessen: die des Messings und dreier verschiedener Zinn-Bleilegirungen: Sn_6Pb , SnPb und SnPb_6 .

2. Wie früher wurde die Mischungsmethode benutzt, auch das Verfahren war wesentlich dasselbe. Die Calorimeteereinrichtung war etwas verbessert worden: Der Rührer wurde von einem kleinen Elektromotor getrieben; die Calorimetergefässe (es wurden zwei von passender Grösse²⁾ verwandt) bestanden aus dünnem Silber; sie waren in ähnlicher Weise, wie es von Hrn. Pfaundler angegeben ist, durch ein Wasserbad vor äusseren Temperaturschwankungen geschützt und standen auf kleinen Patentfiberschnitten.

3. Die Metalle, deren specifische Wärme gemessen werden sollte, waren zu Cylindern theils abgedreht, theils gegossen; das Graphitstück, das ich der Freundlichkeit des Hrn. Prof. E. Cohen in Greifswald verdanke, war ebenfalls zu einem Cylinder abgedreht. Die Maasse dieser Cylinder waren annähernd die gleichen: Höhe 6 cm, Durchmesser 2 cm.

4. Der Gang der Messungen war derselbe wie früher. Im speciellen sei bemerkt, dass beim Einsenken in das Wasser des Calorimeters der Magnesiumcylinder sich mit einer dünnen,

1) U. Behn, Wied. Ann. **66**, p. 237. 1898.

2) Der Inhalt dieser Gefässe war 500 ccm und 250 ccm, ihr Gewicht 123,4 g und 60,6 g.

schützenden Hülle von Magnesiumhydrat überzog. Der Graphitcylinder gab nicht unbeträchtliche Mengen¹⁾ Luft ab, die er offenbar im kalten Zustande absorbirt hatte. Jedoch waren beide Erscheinungen quantitativ zu geringfügig, als dass eine Correctur notwendig geworden wäre.

5. Es sei mir gestattet, zunächst die Fehlerquellen — in derselben Reihenfolge wie in der ersten Hälfte dieser Arbeit — zu besprechen.

a) *Unreinheit der Metalle.* Das Messing wurde auf Zinn- und Bleigehalt analysirt, da eine zu erwartende Beimischung von Sn oder Pb von grossem Einfluss auf die specifische Wärme sein musste. Die Angaben über die anderen Metalle sind von den Händlern gemacht.

Sb enthält Spuren von As (Merck).

Sn ist elektrolytisch gewonnen und chemisch rein (Kahlbaum); gegossen.

Cd enthält Spuren von Fe und Zn (Merck); gegossen.

Ag chemisch rein (Heräus).

Zn chemisch rein (Kahlbaum); gegossen.

Mg enthält etwas Fe (Merck).

C dichter Graphit²⁾ aus Sibirien (Alibert-Graphit).

Im Messing wurde gefunden: 1,2 Proc. Zinn und 0,44 Proc. Blei. Im übrigen bestand es aus 6 Teilen Cu und 4 Teilen Zink.

b) Als *Anfangstemperatur der Metallcylinder* wurde (vgl. l. c.) die des Bades genommen.

c) Die *Ueberführung der Cylinder* in das Calorimetergefäss geschah wie im ersten Teile dieser Arbeit und dauerte ca. 1 Secunde. Es waren früher schon Versuche angestellt, um die in dieser Zeit erfolgende Erwärmung berechnen und eine entsprechende Correctur anbringen zu können. Aber diese Versuche schienen nicht ganz einwandfrei und zwar aus folgenden Gründen: Hängt ein auf ca. — 186° gekühltes Metallstück in Zimmerluft, so überzieht es sich, auch wenn die Luftfeuchtigkeit nur eine geringe ist, im Laufe von

1) Nach einer Abkühlung auf — 186° schätzungsweise 5–10 cem. Liess man während des Abkühlens und darnach der Luft freien Zutritt zum Graphit, so absorbirte derselbe pro 1 g etwa $\frac{2}{3}$ cem Luft.

2) Die Brodie'sche Reaction gab derselbe nicht.

20 Secunden mit einem dichten Pelz von Eiskrystallen. Die Condensation des Wassers geschieht unter Wärmeabgabe an das Metall; andererseits wird diese Hülle möglicherweise die Wärmezufuhr merklich hindern. Ausserdem wird beim Einbringen ins Calorimeter der Metallcylinder schnell bewegt; hängt er dagegen, wie bei jenen Versuchen, ruhig, so sind die Bedingungen der Erwärmung andere.

Um die Erwärmung einwandsfreier zu ermitteln, wurde daher die Wärmeabgabe eines gekühlten Metallcylinders im Calorimeter gemessen, der 4 Secunden lang — in dieser Zeit ist von einem Schneeüberzuge noch nichts zu sehen — in der Zimmerluft geschwenkt worden war. Diese Versuche ergaben eine Erwärmung in der Luft pro Secunde um 0,30, 0,22, 0,25 Proc. bei verschiedenen Metallcylindern, um 0,6 Proc. beim Graphit.

Die frühere Correctur scheint also hinreichend genau; im Folgenden ist dieselbe auf 0,3 Proc. erhöht; für das Graphitstück, das einen erheblich kleineren Wärmeinhalt hatte, vielleicht auch durch Strahlung wesentlich mehr verlor als die blanken Metallcylinder, ist die grössere Correctur nicht auffallend.

d) *Thermoelement.* Die Angaben des Zeigervoltmeters wurden nur auf Spannung controllirt. Verschiedene Thermo-elemente Eisen—Constantan, alle von der einen Lieferung, auf die sich die Holborn'sche¹⁾ Formel bezieht, gaben dieselben Angaben, sodass auch eine zeitliche Aenderung derselben unwahrscheinlich ist. Die schwer ausführbaren Siedepunktbestimmungen von flüssigem Sauerstoff und fester Kohlensäure zum Zwecke der Aichung schienen daher entbehrlich. Ueberdies ist der Sublimationspunkt der (unreinen) Kohlensäure, wie man dieselbe den käuflichen Stahlcylindern entnimmt, wegen der Beimischungen von Wasser und Oelen unsicher.

6. Die in den Tabellen gegebenen Zahlenwerte beziehen sich auch hier auf die specifische Wärme des Wassers bei Zimmertemperatur als Einheit.

In Tab. I finden sich die unmittelbar gemessenen mittleren specifischen Wärmen für das Gebiet $+ 18^{\circ}$ bis $- 79^{\circ}$

1) Vgl. l. c.

Tabelle I.

Mittlere spezifische Wärmen, für das Gebiet + 18° bis - 79° (links), und + 18° bis - 186° (rechts).

Sb ¹⁾ Spuren As	Sn chem. rein	Cd Spuren von Fe und Zn	Ag chem. rein	Zn chem. rein	Mg etwas Fe						
0,0484	0,0470	0,0517	0,0505	0,0538	0,0518	0,0544	0,0520	0,0892	0,0839	0,231	0,212
0,0483	0,0473	0,0519	0,0498	0,0536	0,0514	0,0543	0,0517	0,0893	0,0844	0,233	0,209
0,0485	—	—	0,0500	0,0537	0,0518	—	—	—	—	0,234	0,210
0,0484	0,0472	0,0518	0,0501	0,0537	0,0517	0,0544	0,0519	0,0893	0,0842	0,233	0,210

C Alibert-Graphit	Messing 1,2 % Sn, 0,44 % Pb	PbSn	Pb ₂ Sn	PbSn ₆					
0,142	0,105	0,0873	0,0808	0,0887	0,0874	0,0820	0,0812	0,0473	0,0462
0,139	0,106	0,0873	0,0804	0,0891	0,0873	0,0825	0,0813	0,0476	0,0448
0,141	0,106	—	—	—	—	—	—	—	—
0,141	0,106	0,0873	0,0806	0,0889	0,0874	0,0823	0,0813	0,0475	0,0450

1) Hier, und in allen folgenden Tabellen, sind die Metalle nach ihrem Atomgewicht geordnet.

Tabelle II.
Mittlere spezifische Wärmen.

	1 ¹⁾	2	3		1 ¹⁾	3	3
	+ 100° bis + 18°	+ 18° bis - 79°	- 79° bis - 186°		+ 100° bis + 18°	+ 18° bis - 79°	- 79° bis - 186°
Pb	0,0310	0,0300	0,0291	Zn	0,094	0,0893	0,0798
Pt	0,0324	0,0311	0,0277	Cu	0,093	0,0883	0,0716
Jr	0,0323	0,0303	0,0263	Ni	0,109	0,0983	0,0743
Sb	0,050	0,0484	0,0462	Fe	0,113	0,0999	0,0721
Sn	0,055	0,0518	0,0486	Al	0,22	0,195	0,153
Cd	0,056	0,0537	0,0498	Mg	0,25	0,233	0,189
Ag	0,056	0,0544	0,0496	C	0,197	0,141	0,075
Pd	0,059	0,0567	0,0491				

und + 18° bis - 186° der jetzt untersuchten Metalle, des Graphits und der Legierungen.

In Tab. II sind die mittleren spezifischen Wärmen von allen von mir untersuchten Metallen und des Graphits zusammengestellt und zwar 1. für das Gebiet + 100° bis + 18°¹⁾; 2. + 18° bis - 79°; 3. - 79° bis - 186°. Die Werte der dritten Columnne sind aus denen der Tab. I berechnet.

In Tab. IIb finden sich die mittleren spezifischen Wärmen der untersuchten Legierungen und zwar immer nebeneinander die beobachteten und die aus den spezifischen Wärmen der Bestandteile mit Hilfe der Mischungsregel berechneten. Es war ein solcher Vergleich besonders deshalb hier von Interesse, weil er Aufschluss geben musste darüber, wie stark die Unreinheit der untersuchten Metalle die Resultate beeinflussen könne. Nur wenn die Mischungsregel auch in diesen Gebieten mit hinreichender Genauigkeit befolgt wurde, war die Möglichkeit, dass die Beimischungen zu größeren Fehlern Veranlassung gäben, ausgeschlossen. In anderen Temperaturintervallen haben viele Messungen bewiesen, dass bei Legierungen die Mischungsregel immer annähernd gültig ist, sobald man sich nur nicht dem Schmelzpunkt zu sehr nähert.

1) Mittelwerte nach bekannten Autoren.

Tabelle IIb.
Mittlere spezifische Wärmen.

	+ 100° bis + 18°		+ 18° bis - 79°		- 79° bis - 186°	
	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.
Pb ₃ Sn	—	—	0,0323	0,0319	0,0304	0,0306
PbSn	0,0407 ¹⁾	0,0395	0,0389	0,0379	0,0360	0,0356
(47 Pb 53 Sn)	0,0451 ¹⁾	0,0437	—	—	—	—
PbSn ₆	—	—	0,0475	0,0469	0,0428	0,0437
Messing	0,093	0,093	0,0873	0,0880	0,0743	0,0750

Die hier beobachteten Werte zeigen kleine Abweichungen nach beiden Seiten von den berechneten. Im grossen und ganzen kann man, wie zu erwarten war, die Mischungsregel als erfüllt betrachten.

7. In Tab. III finden sich die mittleren Atomwärmen für dieselben Gebiete. Bei der Berechnung wurden die von der Deutschen chemischen Gesellschaft festgesetzten²⁾ Atomgewichte benutzt.

Tabelle III.
Mittlere Atomwärme.

	Atom- gewicht	+ 100° bis + 18°	+ 18° bis - 79°	- 79° bis - 186°		Atom- gewicht	+ 100° bis + 18°	+ 18° bis - 79°	- 79° bis - 186°
Pb	207	6,4	6,2	6,0	Zn	65,4	6,1	5,8	5,2
Pt	195 ³⁾	6,3	6,1	5,4	Cu	63,6	6,0	5,6	4,5
Jr	193	6,2	5,8	5,1	Ni	58,7	6,4	5,8	4,3
Sb	120	6,0	5,8	5,5	Fe	56,0	6,3	5,6	4,0
Sn	118,5	6,5	6,1	5,8	Al	27,1	6,0	5,3	4,2
Cd	112	6,3	6,0	5,6	Mg	24,4	6,1	5,7	4,6
Ag	107,9	6,0	5,9	5,4	C	12,0	2,4	1,7	0,9
Pd	106	6,3	6,0	5,2					

1) Nach Regnault.

2) Berichte der Deutschen chem. Gesellsch. 31. p. 2761. 1898.

3) Statt 196, l. c.

Aus dieser Tabelle ersieht man den Verlauf der mittleren spezifischen Wärmen noch besser als aus den vorausgehenden. Darnach bleibt der schon im ersten Teile der Arbeit ausgesprochene Satz bestehen, dass die spezifischen Wärmen unter 0° mit sinkender Temperatur durchweg abnehmen, und zwar im allgemeinen um so stärker, je kleiner das Atomgewicht des betreffenden Metalles ist und zu je tieferen Temperaturen man herabsteigt.

8. Wissenswert erscheinen nun nicht allein die mittleren spezifischen Wärmen für ein grösseres Temperaturgebiet, sondern oft auch die wahren spezifischen Wärmen für eine bestimmte Temperatur; und da bei fast allen untersuchten Körpern die Abnahme der spezifischen Wärme mit sinkender Temperatur erheblich zunimmt, so ist eine einfache lineare Interpolation kaum statthaft, sie würde zu kleine Werte liefern. Es sind daher im Folgenden die wahren spezifischen Wärmen berechnet. Dabei wurde in gebräuchlicher Weise die Abhängigkeit der wahren spezifischen Wärme c von der Temperatur t^1) vereinfacht auf die parabolische Beziehung:

$$c = A + Bt + Ct^2.$$

Bekannt sind für drei verschiedene Gebiete die mittleren spezifischen Wärmen $c_{1,2}$; nun haben wir, wenn $Q_{1,2}$ die Wärmemenge bedeutet, die erforderlich ist zur Erwärmung eines Grammes von t_1 auf t_2 :

$$\begin{aligned} c_{1,2} &= \frac{Q_{1,2}}{t_2 - t_1} = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_1^2 c \, dt = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_1^2 (A + Bt + Ct^2) \, dt \\ &= A + \frac{B}{2} (t_2 + t_1) + \frac{C}{3} (t_2^2 + t_2 t_1 + t_1^2). \end{aligned}$$

Und durch Einsetzen der drei bekannten $c_{1,2}$ erhält man die Constanten A , B und C , die in der folgenden Tab. IV zusammengestellt sind.

1) Eispunkt gleich 0° .

Tabelle IV.

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	Bemerkungen.
Pb	0,0303	0,0000108	+ 0,0 ₅ 00123	<i>C</i> positiv.
Pt	0,0318	0171	— 00984	
Jr	0,0312	0247	— 00885	
Sb	0,0490	0183	— 00192	
Sn	0,0528	0352	+ 00231	<i>C</i> positiv.
Cd	0,0546	0274	— 00660	
Ag	0,0553	0218	— 0153	
Pd	0,0581	0324	— 0256	
Zn	0,0908	0580	— 0213	
Cu	0,0913	0676	— 0583	
Ni	0,103	135	— 0606	
Fe	0,106	164	— 0660	
Al	0,205	298	— 0693	
Mg	0,232	224	— 1270	
C	0,161	628	— 0112	

Die Sicherheit dieser Zahlen ist gering; besonders weil die zur Berechnung benutzten mittleren spezifischen Wärmen für das Gebiet $+100^{\circ}$ bis $+18^{\circ}$ in anderer Weise mit anderem Material gewonnen sind.

9. Anschaulicher wird der Verlauf der Abhängigkeit der spezifischen Wärmen von der Temperatur aus den Curven der beigegebenen Taf. II. Auffallend sind zunächst die fast geradlinigen Curven für Pb, Sb, Sn und C. Dass die Krümmung der Curven für Pb und Sn eine entgegengesetzte zu sein scheint (entsprechend den $+$ Werten von *C* [Tab. IV]), als bei den anderen, kann wohl auf Versuchsfehlern beruhen. Die starke Abnahme der spezifischen Wärme des Graphits nimmt (wie auch oberhalb 0°) zwischen 0° und -200° noch schwach zu; schliesslich muss aber ein Wendepunkt kommen, da man sonst schon bei -250° zu negativen Werten gelangen würde. Für Sb und Cd haben andere Autoren¹⁾ ein geringes Zunehmen der spezifischen Wärmen mit sinkender Temperatur (zwischen 0° und -80°) gefunden. Zahlenangaben über die Reinheit der von mir verwandten Metalle kann ich allerdings leider nicht machen; dass aber die Beimischungen so gross

1) Vgl. I. c.

gewesen sein sollten, um allein die Abnahme zu erklären, ist sehr unwahrscheinlich.

Ueberall haben wir ein Abnehmen der specifischen Wärmen mit abnehmender Temperatur, und diese Abnahme ist, wie schon oben für die mittleren specifischen Wärmen bemerkt, für die (leichten) Metalle mit kleinem Atomgewicht am grössten. Allein die im ersten Teil der Arbeit ausgesprochene Vermutung, dass alle Curven für die absolute Temperatur 0° einem Punkte zustrebten, kann, wenn man die inzwischen untersuchten Metalle in Betracht zieht, nicht aufrecht erhalten werden. Jedoch scheint noch eine andere Gesetzmässigkeit in dem auf den ersten Blick ziemlich wirren Verlauf der Curven vorhanden zu sein; darauf soll am Schluss der Abhandlung näher eingegangen werden.

10. Zum bequemerem Gebrauch sind in der folgenden Tab. V für diejenigen Temperaturen, bei denen man am bequemsten arbeitet, $+18^{\circ}$, 0° , -79° und -186° ¹⁾ die wahren specifischen Wärmen zusammengestellt. Zu derselben ist folgendes zu bemerken: Die Annahme einer parabolischen Abhängigkeit der specifischen Wärmen von der Temperatur, die ja nur der Einfachheit wegen gewählt ist, wird den That-sachen zum Teil nur schlecht entsprechen, und vornehmlich bei den äussersten Werten, für $+18^{\circ}$ und 0° einerseits und -186° andererseits, merkliche Fehler hervorrufen; besonders bei der Zimmertemperatur, da hier vielfach Wendepunkte in der Nähe zu liegen scheinen. Glücklicherweise ist es aber gerade hier möglich, wahrscheinlichere Werte anzugeben, da ja die Abhängigkeit der specifischen Wärmen von der Temperatur oberhalb 0° meist bekannt sind. Benutzt man für die Zimmertemperatur Formeln, die oberhalb 0° gelten, so wird man von den von mir berechneten im allgemeinen abweichende Werte erhalten, und zwischen beiden kann man dann etwa durch graphisches Interpoliren²⁾ die wahrscheinlichsten Werte finden. Die so erhaltenen Curvenstücke sind auf der Taf. II punktirt;

1) Da die flüssige Luft ihren Siedepunkt stetig von ca. -190° bis -182° ändert, wurde -186° als mittlere Temperatur genommen.

2) Dabei ist möglichst so interpolirt, dass die mittlere specifische Wärme dieselbe bleibt, dass also die Grösse des zwischen der Curve und der Ordinatenaxe liegenden Flächenstücks (Wärmemenge) sich nicht ändert.

ihnen entsprechen in Tab. V die Zahlen, die hinter den eingeklammerten stehen. Uebrigens ist die Correctur nur dort vorgenommen, wo sich erhebliche Discrepanzen bemerkbar machten, wie besonders beim Cu; ferner beim Ag, Pd und Al.

Bemerkenswert ist die specifische Wärme des Graphits, die für -186° bereits auf 0,0405 herabgesunken ist; die Atomwärme beträgt hier also nur noch $12.0,0405 = 0,486$, also weniger als $\frac{1}{10}$ ihres Wertes bei hohen Temperaturen.

Tabelle V.

	Specifische Wärme bei			-186°
	$+18^{\circ}$	0°	-79°	
Pb	0,0305	0,0303	0,0296	0,0288
Pt	0,0321	0,0318	0,0297	0,0259
Jr	0,0312	0,0312	0,0287	0,0237
Sb	0,0494	0,0490	0,0474	0,0450
Sn	0,0535	0,0528	0,0502	0,0471
Cd	0,0550	0,0546	0,0520	0,0473
Ag	(0,0556) 555	(0,0553) 552	0,0526	0,0459
Pd	(0,0585) 582	(0,0581) 577	0,0539	0,0433
Zn	0,0918	0,0908	0,0849	0,0727
Cu	(0,0922) 916	(0,0913) 907	0,0822	0,0588
Ni	0,1053	0,0034	0,0888	0,0572
Fe	0,1087	0,1060	0,0888	0,0525
Al	(0,2106) 2125	(0,2053) 2075	0,177	0,126
Mg	0,2348	0,2320	0,209	0,146
C	0,1730	0,1610	0,111	0,041

11. Zum Schluss können wir uns noch die Frage vorlegen, inwieweit die Ergebnisse dieser Arbeit mit den theoretisch begründeten Ansichten über die specifische Wärme fester Körper im Einklange stehen.

Solche existiren bis jetzt überhaupt nur von seiten der kinetischen Betrachtungsweise, insbesondere hat Hr. Richarz¹⁾ aus wenigen allgemeinen Annahmen über die Atombewegung Schlüsse gezogen, die sich zum Teil sehr gut in den Ergebnissen der experimentellen Forschung bestätigten. Was die Einzelheiten der Deduction betrifft, verweise ich auf die citirte

1) F. Richarz, Wied. Ann. 48. p. 708. 1893.

Abhandlung. Hier will ich von diesen Schlüssen nur einen hervorheben, dass nämlich die Elemente, die der Regel von Dulong und Petit bei Zimmertemperatur nicht folgen, eine besonders starke Abhängigkeit ihrer specifischen Wärme von der Temperatur aufweisen, und dass der Grund beider Erscheinungen darin zu suchen ist, dass bei diesen die Verrückungen der Atome gegen die Atomabstände nicht mehr verschwinden. Dies wird eintreten, einmal dann, wenn die Atomabstände klein sind; zweitens dann, wenn die Verrückungen gross sind. Letzteres wird unter sonst gleichen Umständen offenbar dort der Fall sein, wo das Atomgewicht klein ist, da Atome von geringem Gewicht grössere Geschwindigkeiten, also auch grössere Elongationen erreichen müssen. Treffen gar beide Bedingungen zusammen, so ist die grösste Abhängigkeit von der Temperatur zu erwarten.

Hr. Richarz hat diese Beziehungen nur bei Elementen bis zum Atomgewicht 40 hinauf verificirt, da sich bei noch grösseren Atomgewichten keine erheblichen Abweichungen vom Dulong-Petit'schen Gesetz mehr finden. Aber wenn auch das nicht der Fall ist, so ist doch die Abhängigkeit der specifischen Wärmen von der Temperatur hier noch sehr verschieden¹⁾ und dieser Umstand wird es ermöglichen, bis zum Blei hinauf die von Herrn Richarz begründeten Beziehungen nachzuweisen.

In den Tabellen dieser Arbeit sind die Metalle immer nach dem Atomgewicht geordnet aufgeführt und auch auf der Taf. II finden sich die Curven wesentlich in derselben Ordnung. Zur Orientirung, wie sich nun die Atomvolumina mit wachsendem Atomgewicht ändern, ist noch die Figur²⁾ (p. 268) beigegeben. Sieht man zunächst einmal davon ab, dass der Gang der Atomvolumina ein periodischer ist, so kann man sagen, dass im allgemeinen die Atomvolumina mit wachsendem Atomgewicht zunehmen, etwa so, wie (in der Figur) die grob gestrichelte Linie angiebt.

Es müssen also die auf der Figur mehr rechts stehenden Elemente aus zwei Gründen grosse Veränderlichkeit ihrer

1) Genau genommen schliesst dieses übrigens das erstere ein. Man vergleiche die Atomwärmen für ca. -130° (z. B. Tab. III, letzte Columne). Statt 6,4 wäre hier etwa 5,5 als Constante zu nehmen. Dass man in der Regel die Atomwärmen bei Zimmertemperatur zum Vergleich benutzt, ist doch willkürlich.

2) Nach Lothar Meyer.

spezifischen Wärmen zeigen: erstens weil ihr Atomgewicht klein ist, und dann weil im allgemeinen auch ihr Atomvolumen klein ist.

Und das ist, wie ein kurzer Blick auf die Taf. II lehrt, in der That der Fall.

Gehen wir aber nun näher auf die Perioden der Atomvolumen ein, so finden wir an den Minimumstellen (vgl. Figur, rechts anfangend): 1. C, (B¹), Be); 2. Al, (Si), Mg; 3. Ni, Cu, Fe; 4. Pd, Ag; 5. Jr, Pt.

Dazwischen mit grösserem Atomvolumen: Zn; Cd, Sn, Sb; Pb.

Die Elemente nun, die an den Minimumstellen stehen, haben mit ihren Nachbarn verglichen, wesentlich das gleiche Atomgewicht wie diese, aber ein kleineres Atomvolumen. Bei ihnen ist also die eine Bedingung für grössere Veränderlichkeit der spezifischen Wärmen besser erfüllt als bei ihren Nachbarn. Dementsprechend unterscheidet sich wirklich (vgl. Taf. II) Jr und Pt vom Pb; Pd und Ag von Cd, Sn, Sb; Fe, Ni, Cu von Zn.

Allerdings sind diese Unterschiede nicht eben sehr gross; entscheidend wäre hier das Verhalten der Elemente mit maximalem Atomvolumen: Li, Na, K, Rb, Cs.

Berlin, Physik. Institut d. Univ., Mai 1899.

Nach Abschluss obiger Arbeit erfuhr ich, dass Herr C. C. Trowbridge²⁾ ebenfalls einige Metalle (Cu, Fe, Al) auf

1) Abgesehen von den in Klammern hinzugefügten, sind nur hier untersuchte Elemente aufgeführt.

2) C. C. Trowbridge, Science N. S. 8. p. 6. 1893.

ihre specifische Wärme bei tiefen Temperaturen untersucht hat. Er findet Werthe, die erheblich grösser als die meinigen sind. Es ist jedoch hierbei hervorzuheben, dass Hr. C. C. Trowbridge einmal annimmt, die Temperatur flüssiger Luft sei nach längerem Sieden (— allowed to boil for a considerable[?] time) $181,4^{\circ}$ und zweitens die Metallstücke direct in die flüssige Luft eintaucht.

Aeussere Umstände verschoben die Publication der obigen und der folgenden Arbeit. In letzterer ist die Anmerkung 1, p. 274, jetzt eingefügt.

Berlin, den 10. Januar 1900.

(Eingegangen 11. Januar 1900.)

Tabl II.

Annalen der Physik, IV. Folge, Bd. I.

U. Behn.