

# Die gegenseitigen Beziehungen der physikalischen und chemischen Eigenschaften der chemischen Elemente und Verbindungen

von

**Hermann Fritz,**

*Professor am Eidgenössischen Polytechnicum in Zürich.*

(Mit 2 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 17. Juni 1892.)

## Vorwort.

Die eigenthümliche Verschiedenheit der Festigkeit bei den verschiedenen Körpern veranlassten den Verfasser, im Jahre 1869 eine Studie darüber zu beginnen, in welcher Weise die Festigkeit von den übrigen Eigenschaften der Körper abhängig sein möge, da anzunehmen war, dass in dieser Beziehung die Natur nicht gesetzlos sei.

Zunächst lag die Vermuthung nahe, dass die Festigkeit in gewisser Beziehung zu der Dichtigkeit stehe, wenn für die Cohäsion ähnliche Gesetze angenommen werden dürften, wie sie für die Attraction erkannt wurden, oder wenn man gar ein und dieselbe Kraft als Ursache beider Erscheinungen nehmen könne; eine solche Vermuthung lag nahe, trotzdem Physiker längst lehrten: Die Festigkeit steht in keiner Beziehung zur Dichte.<sup>1</sup> Scheinbar ist dies allerdings der Fall; es haben Eisen und Zinn nahe gleiche Dichten, aber sehr ungleiche Festigkeiten; das leichte Aluminium ist relativ fest, das dichte Blei sehr wenig fest; die so ungleich dichten Metalle Kupfer und Platin nähern sich in den Festigkeiten u. s. w.

---

<sup>1</sup> Vergl. u. A. Mousson, Physik auf Grundlage der Erfahrung, I. Aufl., Zürich 1858, 8.

Nachdem die einfache Formel:

$$K = 100\Delta \left( \frac{\alpha}{\varepsilon} \right)^2$$

(vergl. S. 758) den Beziehungen zwischen der Festigkeit und anderen Eigenschaften der Körper genügeleistend sich zeigte, lag die Versuchung nahe, auf dem eingeschlagenen Wege weiter zu forschen. Das Resultat ist für die wichtigsten und einige weitere Fälle in dem Texte wiedergegeben. Manche der gegebenen Beziehungen der physikalischen und chemischen Eigenschaften in ihrer Gegenseitigkeit und manche der Formeln können nur auf die Annäherung Anspruch machen; alle aber zeigen, dass auf dem eingeschlagenen Wege ein Einblick in die Natur einer Reihe der Beziehungen der Eigenschaften der Körper untereinander ermöglicht wird, dass der Weg dadurch angebahnt scheint, der zum tiefern Eindringen in die Theorien über die Constitution der Körper einzuschlagen empfehlenswerth ist. Leider erfordert die weitere Verfolgung derartiger Aufgaben ein Maass an Zeit, das dem Verfasser nicht zur Verfügung steht und fehlen vor Allem zu derartigen Untersuchungen die mannigfaltigsten Beobachtungsergebnisse noch vollständig, oder es bedürfen die vorliegenden weiterer eingehender Prüfungen um die Richtigkeit der Annahmen oder der Resultate bestätigen zu können oder um sie verwerfen zu müssen. Vor Allem sollten die einzelnen Körper an einzelnen bestimmten Stücken in Bezug auf alle Eigenschaften untersucht werden; nicht aber eine jede Eigenschaft an einem anderen Stücke, da je nach der chemischen Reinheit, nach der Bearbeitung u. s. w. die Resultate oft sehr abweichend, ja sogar sehr unbrauchbar werden.

Die Beziehungen  $K = 100\Delta \left( \frac{\alpha}{\varepsilon} \right)^2$  wurden aufgefunden am 14. Jänner 1870 und veröffentlicht in: Vierteljahrsschrift der Naturf. Gesellschaft in Zürich 1871, B. XVI.

Die Beziehungen  $As \cdot \Delta s \sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}} = \sqrt[3]{\frac{T \cdot \Delta s}{1 \cdot 28}}$  wurden in der Form  $As \cdot \Delta s = \sqrt[3]{ts}$  veröffentlicht in: Berichten der deutsch. chemischen Gesellschaft 1884, Jahrgang XVII, Heft 14, Nr. 490,

dann in jetziger Form (vom 1. September (1887) in: Naturwissensch. Rundschau, Jahrg. II, Nr. 44, October 1887.

Einige der übrigen Beziehungen wurden nebenbei in diversen Schriftwerken berührt.

---

Den Gestirnen des Himmels entlauschte die Jahrtausende lang mit Ausdauer fortgesetzte Beobachtung die Gesetze, nach welchen sie im Weltraume kreisen, die Gesetze, nach welchen sich die Systeme der Weltkörper erhalten. Die Beobachtung löste die Aufgabe, trotzdem die an sich einfachen Bahnen der Planeten, Kometen, Meteoriten und Sterne infolge des beweglichen Standpunktes scheinbar oft sehr verworren sind. Von anfangs bescheidenen Erfolgen gelangten die nicht rastenden Beobachter und Physiker, namentlich Copernicus, Kepler und Newton zur Erkenntniss der Bewegungsgesetze und ihrer Ursache. Man erkannte nicht nur die merkwürdige Einfachheit des Weltenbaues hinsichtlich der Bewegung der einzelnen Weltkörper; die Gesetze ermöglichten auch die Bestimmung der Entfernungen und Massenwerthe derselben und gestatteten den weiteren Ausbau der Erkenntniss im Weltenbaue und selbst die Auffindung neuer Glieder der Systeme auf dem Wege der Berechnung — Neptun, Siriusbegleiter u. dergl.

Die Entwicklung des heutigen Wissens über die physikalischen und chemischen Beziehungen der die Weltkörper bildenden einfachen Stoffe (Elemente) und deren Verbindungen untereinander gestattete wohl die Einsicht in eine ganze Reihe theils wichtiger, theils interessanter Beziehungen und Gesetze, ohne dass es gelungen wäre den Schleier über dem Gesamtmechanismus zu lüften, ohne einen Einblick in ähnlicher Weise in die Beziehungen der kleinsten Theilchen zueinander zu erhalten, wie dies für die Weltkörper im Grossen der Astronomie möglich wurde.

Wie einstens nach Copernicus' und Kepler's Entdeckungen die Gesetze der Planetenbewegungen durch ihre Einfachheit in Erstaunen setzten, so wird möglicherweise es zukünftig, nach der Auffindung, gleichfalls überraschen, wie einfach die Gesetze der gegenseitigen Beziehungen auch der

kleinsten Körperelemente hinsichtlich ihrer gesammten Eigenschaften sich erweisen. Ebensowenig aber als Kepler und Newton ihre Gesetze aus den Beobachtungen der Bewegungen einzelner Körper von Sternhaufen ihrer verwickelten Bahnen halber abzuleiten vermocht hätten, sondern von dem einfachsten zu den zusammengesetzteren Systemen übergehen konnten, da ihnen glücklicherweise die Natur die Beobachtung der Planeten- und Mondbewegungen gestattete, ebensowenig wird es rathsam sein an zusammengesetzten chemischen Verbindungen oder gar an organischen Gebilden die verschiedenartigsten Beziehungen und Gesetze ableiten zu wollen. Derartige Studien müssen umso mehr an einfachen Körpern begonnen werden, als nicht die günstigen Verhältnisse in der Constitution der Körper und Körperbestandtheile herrschen können, wie bei den im Weltraume weit von einander sich bewegenden Weltkörpern. Im Weltraume sind, vorab im Sonnensystem, die Massen in grossen Entfernungen von einander derartig vertheilt, dass die Störungen verhältnissmässig gering, vielfach vernachlässigbar werden, während bei den Körpern die Störungen der sich sehr nahe liegenden Moleküle und Atome sehr gross werden, wie dies schon aus den Veränderungen der Eigenschaften eines Stoffes durch Zuführung oft nur geringer Quantitäten eines andern Stoffes hervorgeht.

Stellt man sich die Körper aus Molekülen, diese aus Atomen und diese vielleicht wieder aus Theilchen höherer Ordnungen zusammengesetzt vor, dann lässt sich die Berechtigung der Annahme der Zusammensetzung der kleinsten Massen und deren bleibendes Bestehen nach einfachen Gesetzen rechtfertigen. Nach herrschender Anschauung legt man den die Körper bildenden kleinsten Theilchen Bewegungen bei. Obwohl auch andere Anordnungen denkbar sind, spricht die Unmöglichkeit der Beobachtung solcher Bewegungen nicht dagegen. Die besten Fernrohre zeigen ja selbst in den Sternhaufen keinerlei Bewegung, trotzdem solche in hohem Masse vorhanden sein muss. Hier, wie bei der Körperwelt, fehlen dem Menschen die entscheidenden optischen Hilfsmittel.

Beständen die Molekel aus wenigen Atomen, die Körper nur aus wenigen Molekeln, und wären dieselben je durch grosse

Zwischenräume getrennt, dann könnte man die Berechnungen in ähnlicher Weise versuchen wie bei den Planeten oder andern Weltkörpern. Allerdings hätte man an die Stelle der Attraction und der Tangentialkraft die Cohäsion und die derselben entgegenwirkende Wärme zu setzen. Der Wirklichkeit entspricht bei festen und flüssigen Körpern bestimmt und bei den Gasen wahrscheinlich nicht eine solche Annahme, wodurch die Aufgabe eine weit schwierigere würde. Will man aus den bei einem Planeten beobachteten Störungen auf die Bahn eines unbekanntem störenden Körpers schliessen, dann hat man mit 13 Unbekannten — 6 Elementen der gestörten, 6 Elementen der störenden Planeten-Bahn und die Masse des störenden Körpers — zu rechnen. Werden beide Bahnen in einer Ebene liegend angenommen, dann bleiben noch 9 Unbekannten übrig. Ja selbst bei gegebenen Bahnen sind derartige unter dem Namen »das Problem der drei Körper« bekannten Aufgaben nicht direct lösbar, auch wenn die Massen der umlaufenden Körper klein gegenüber der Centralmasse sind. Treten weitere anziehende Massen hinzu oder bewegen sich die Körper um mehrere, anstatt um einen Centralkörper, dann werden die Bewegungen derartig complicirt, dass nur in wenigen und einfacheren Fällen die Bahnen zu bestimmen sind. In einem Sternhaufen gestatten die jetzt bekannten Hilfsmittel die theoretische Verfolgung der Bahnen nicht. Weit complicirter wird somit die Verfolgung der Vorgänge in körperlichen Massen sein, welche aus einer grossen Anzahl von Molekeln und diese wieder aus Atomen bestehen. Eine Vorstellung der Bewegungen im Körpertheilchen lässt sich nur unter angenommenen Vereinfachungen machen; eine theoretische Darstellung derselben ist unmöglich, wenn man sich nicht auf die einfachste Annahme beschränken will. Vorläufig bleibt man angewiesen auf empirische Ergründung der bestehenden Gesetze, deren Begründung möglicherweise im Laufe der Zeiten erfolgt. Alle analytischen Behandlungen zur Auffindung der bestehenden Gesetze sind mit dem Fehler von Voraussetzungen behaftet, welche nur aus Analogien gefolgert und oft willkürlich ergänzt werden müssen. Ist auch nur eine Annahme nicht naturgemäss, dann fällt das ganze Gebäude in sich zusammen; nur zufällig wird man zu naturgemässen

Schlüssen gelangen. Dazu kommt, dass die analytische Behandlung auf sehr schwierige oder geradezu unlösbare Aufgaben stösst. Ein vortreffliches Beispiel eines derartigen Problems und dessen Lösbarkeit bietet F. Redtenbacher's »Dynamiden-System«, Mannheim 1857, 4<sup>o</sup>, als Grundzüge einer mechanischen Physik, welche anstrebt als Grundlage für das gesammte Gebiet der Physik und damit auch der Chemie zu dienen. Gedrängt spricht sich der Verfasser am Schlusse der Einleitung, S. 25, über die Schwierigkeiten aus. Die Grösse der Aufgabe und die Schwierigkeit deren Lösung ergibt sich sofort, wenn man die Fundamente durchgeht, auf welchen der Verfasser aufbaut; die trotz aller Sorgfalt in der Auswahl der Annahmen über die Eigenschaften der Bildung und beherrschenden Gesetzen der Atome und Moleküle hervortretende Willkürlichkeit muss sofort die Richtigkeit mancher Resultate in Frage stellen.

Einfacher stellt sich die Aufgabe, wenn man auf mehr empirischem Wege, unter Festhalten an geeignet scheinenden Vorstellungen zu den Gesetzen und dann zu deren Begründung zu gelangen sucht, entsprechend wie sich in der Astronomie nach Ergründung der Bewegungsgesetze durch Kepler die Begründung durch Newton entwickelte. Auf diesem Wege wird die Lösung auch scheinbar sehr schwieriger Aufgaben möglich. Ohne die vorhergegangene Auffindung der gegen Erwarten einfach sich erwiesenen Bewegungsgesetze aus den scheinbar so zusammengesetzten Planetenbewegungen wäre das noch einfachere Attractionsgesetz niemals aufgefunden worden.

---

Ordnet man die chemischen Elemente nach ihren Atomvolumina, dann machen sich schon theilweise die verwandten Gruppierungen geltend, wie sie von Newland, Mendeljeff, L. Mayer, V. Mayer u. A. aus den Atomgewichten und aus dem chemischen Verhalten zu ermitteln versucht wurden; es zeigt sich aber auch sofort und weit klarer als bei der Ordnung nach Atomgewichten unverkennbar das Bestehen einer Reihe von gesetzmässigen Beziehungen der Eigenschaften der verschiedenen Elemente untereinander. Im Anfange stehen die Elemente mit den höchsten Schmelztemperaturen und Festig-

keiten: Kohlenstoff und Bor; dann folgen die magnetischen, durchweg festen und zähen Metalle: Nickel, Kobalt, Mangan, Kupfer, Eisen, Chrom, dann die Platinmetalle mit hohen Schmelztemperaturen und geringerer Festigkeit; es treten in Beziehung Phosphor, Schwefel, Arsen und Selen; es vereinigen sich die Halogenen Jod, Brom und Chlor, dann wieder die Verwandten Barium und Strontium u. s. w., vor Allem aber nehmen durchweg mit zunehmendem Atomvolumen und mit abnehmenden Werthen der relativen Wärme die Schmelztemperaturen wie die Festigkeiten der Elemente ab. Die Reihe beginnt mit dem festen Diamanten, den harten Borkrystallen und endigt mit den weichen Alkalimetallen, wie folgende Zusammenstellung zeigt, in welcher die Atomgewichte mit  $A$ , die Dichtigkeiten mit  $\Delta$  (Atomvolumen durch  $\frac{A}{\Delta}$ ), mit  $s$  die spezifische Wärme bei gewöhnlicher Temperatur ( $\Delta s$  die relative Wärme = spezifische Wärme, bezogen auf die Volumeneinheit) bezeichnet sind.

Elemente	$\frac{A}{\Delta}$	$\Delta s$	Elemente	$\frac{A}{\Delta}$	$\Delta s$
Kohlenstoff.....	3·43	0·37	Wolfram .....	9·51	0·69
	5·45	0·60	Gold .....	10·09	0·62
Bor .....	4·22	0·65	Silber .....	10·26	0·60
	4·33	0·61	Aluminium .....	10·43	0·57
Beryllium .....	4·33	0·95	Molybdän .....	11·16	0·62
	5·55	1·22	Silicium .....	11·32	0·42
Nickel .....	6·52	0·95	Lithium .....	11·86	0·56
Kobalt .....	6·68	0·94	Uran .....	12·83	0·52
Mangan .....	6·85	0·96	Kadmium .....	13·02	0·47
Kupfer.....	7·11	0·85	Arsen .....	13·16	0·31
Eisen .....	7·17	0·87		15·95	0·43
Chrom... ..	7·69	0·75	Germanium.....	13·21	0·41
Rhodium .....	8·53	0·71	Gallium.....	13·25	0·46
Iridium .....	8·62	0·78	Magnesium.....	13·80	0·44
Ruthenium .....	8·66	0·73	Quecksilber .....	14·71	0·44
Osmium .....	8·71	0·70	Hiobium .....	14·92	0·42
Palladium .....	8·87	0·71	Indium .....	15·33	0·42
Platin .....	9·01	0·70	Schwefel .....	15·61	0·36
Zink .....	9·07	0·68	[Arsen .....	15·95;	
Titan .....	9·08	0·69	Phosphor im Mittel ..	15·42]	
Vanadium .....	9·25	0·69	Zinn .....	16·39	0·40

Elemente	$\frac{A}{\Delta}$	$\Delta s$	Elemente	$\frac{A}{\Delta}$	$\Delta s$
Tantal	16.89	0.38	Calcium	25.47	0.27
Thallium	17.14	0.40	Jod	25.71	0.27
Phosphor	17.43	0.31	Chlor	25.82	0.25
	18.42	0.40		Brom	26.60
Antimon	17.91	0.33	Strontium	34.68	0.19
Selen	17.95	0.35	Barium	36.05	0.18
Blei	18.12	0.35	Kalium	45.58	0.15
Tellur	20.28	0.32	Rubidium	56.15	0.12
Thorium	21.91	0.30	Cäsium	70.59	0.09
Wismuth	21.22	0.30	Chlor, Gas	14.76	0.297
Cerium	21.79	0.30	Fluor	14.47	0.351
Zirkon	21.81	0.29	Wasserstoff	14.49	0.238
Didym	22.31	0.30	Sauerstoff	14.32	0.242
Lanthan	22.35	0.28	Stickstoff	14.44	0.237
Natrium	23.61	0.28			

Wenn auch manche den Eigenschaften nach nahe verwandten oder in der Natur häufig zusammen vorkommenden Stoffe in der Zusammenstellung getrennt stehend erscheinen, so tritt doch in den Zahlen eine gewisse Verwandtschaft hervor. Es weichen bei Arsen und Phosphor, je nach dem Zustande die Werthe von  $\frac{A}{\Delta}$  stark ab. Nimmt man die ebenfalls in der Tabelle eingetragenen Mittelwerthe, dann ist  $\frac{A}{\Delta}$  bei Phosphor 15.42, bei Arsen 15.95, bei Schwefel 15.65. An den grösseren Werth von Phosphor schliesst sich Selen an — Phosphor 17.43, Selen 17.95. Die in ihrem Verhalten gewisse Ähnlichkeit zeigenden Schwefel, Selen und Tellur haben die Werthe  $\frac{A}{\Delta} = 15.61, 17.95$  und 20.28, wobei das Mittel  $\frac{15.61 + 20.28}{2} = 17.95$  ist. Für die Alkalimetalle ist

	$\frac{A}{\Delta}$	$\Delta s$
Lithium	11.86	0.56
Natrium	23.61 = 2.11.8	0.28
?	34.60 = 3.11.5	0.19
Kalium	45.58 = 4.11.4	0.15
Rubidium	56.12 = 5.11.2	0.12
Cäsium	70.59 = 6.11.7	0.09



Die augenscheinliche Verwandtschaft letzterer Zahlenwerthe könnte durch geringe Änderungen der Werthe von  $\Delta$  und  $s$  noch erhöht werden.

Nebenbei sei hier auf das vielfache Vorkommen von Elementen, in der Natur nebeneinander, deren Atomvolumen nahe gleich sind oder in einfachen Verhältnissen stehen, so z. B. Tellur, Silber und Gold (Tellurgold) mit den Atomvolumina  $20\cdot3$ ,  $10\cdot3$  und  $10\cdot1$ , Selen und Blei (Selenblei), beide nahe 18. Schwefel mit Kupfer, Eisen, Kobalt, Nickel, Mangan, nahe 16 gegen 7 bis 8, Arsenik mit Eisen, Kobalt, Nickel, ähnlich wie vorher u. s. w., hingewiesen.

Wie vorher bemerkt, ordnen sich im Allgemeinen die angeführten Elemente nach abnehmender Festigkeit bei abnehmender Schmelztemperatur.

Stellt man die einfache Formel für die Festigkeit

$$K_1 = \frac{(t-100)s}{3} = \frac{(T-373)s}{3} \quad \dots(I)$$

auf, wenn  $K$  die absolute Festigkeit (Zugfestigkeit) in Kilogramm pro Quadratmillimeter,  $t$  die Schmelztemperatur vom Eisschmelzpunkte,  $T$  die Schmelztemperatur vom natürlichen Nullpunkte gerechnet und  $s$  die spezifische Wärme bei gewöhnlicher Temperatur bezeichnet, dann erhält man

Metalle	Berechnete	Beobachtete	Werthe von	
	Werthe von $K_1$	Werthe von $K$	$t$	$s$
Eisen . . . . .	57	30—50	1500°	0·1115
Kupfer . . . . .	29	20—36	1060	0·0959
Palladium . . . . .	27	27	1500	0·0590
Platin . . . . .	18	24—36	1780	0·0325
Silber . . . . .	16	16—30	950	0·0570
Gold . . . . .	10	10—30	1050	0·0320
Zink . . . . .	10	5—16	430	0·0940
Kadmium . . . . .	4·8	2·3—4·8	500	0·0550
Antimon . . . . .	5·7	0·65—0·70	440	0·0492
Zinn . . . . .	2·4	1·7—4·3	235	0·0548
Blei . . . . .	2·4	1·3—2·4	330	0·0310
Wismuth . . . . .	1·8	0·97	275	0·0308

Durchweg stimmen die berechneten und beobachteten Werthe von  $K$  innerhalb der Beobachtungsgrenzen überein. Ferner erhält man noch bei

Metalle	Berechnete	Beobachtete	Werthe von	
	Werthe von $K_1$	Werthe von $K$	$t$	$s$
Chrom . . . .	60	?	1500	0·1100
Nickel . . . .	48	fester als Eisen	1500	0·1056
Kobalt . . . .	49	zäher als Eisen	1600	0·1067
Iridium . . . .	21	?	1950	0·0350
Selen . . . .	2·9	weich	217	0·0880

u. s. w.

Die absolute Festigkeit des Diamanten und der Bergkrystalle muss nach obiger Formel sehr gross ausfallen, da dieselben nicht geschmolzen werden konnten. Für Quecksilber ergibt sich die Festigkeit zu  $-1\cdot5$ , was nicht widerspricht. Die Werthe, welche für zusammengesetzte oder legirte Metalle erhalten werden, entsprechen durchweg der Erfahrung. Man erhält für

Stahl	den Werth von $K_1 = 65$
Messing	» » » » = 23
Bronze	» » » » = 24 u. s. w.

Für einzelne Metalle und Verbindungen stimmt diese einfache Formel nicht. Man erhielte beispielsweise für Aluminium  $K_1 = 43 \text{ kg}$  pro Quadratmillimeter oder einen 3—5fach zu grossen Werth, für Gusseisen 40—45  $\text{kg}$ , was der Druck-, aber nicht der Zugfestigkeit entspricht. Für Gallium, Natrium, Kalium und hellen Phosphor würden die Festigkeitswerthe negativ, was wieder bei Brom und noch mehr bei Chlor stimmt.

Änderungen der Constanten würden die Formel der Wirklichkeit in einzelnen Fällen etwas mehr anschliessen; vollständig ist dies mit der einfachen Form der Formel nicht möglich, wie schon aus den Zahlen der letzten Zusammenstellung hervorgeht. Ausnahmen können nicht vermieden werden.

Auch unter Benützung der Werthe für die relative Wärme ( $\Delta s$ ) lassen sich ziemlich annähernd die Festigkeitswerthe darstellen. Setzt man beispielsweise

$$K_2 = 60 \cdot \overline{\Delta s^3}, \quad \dots (II)$$

dann erhält man für

Eisen .....	$K_2 = 41$
Kupfer .....	32
Platin .....	19
Palladium .....	18
Silber .....	12
Gold .....	14
Aluminium .....	11
Zink .....	18
Zinn .....	4
Kadmium .....	7
Blei .....	3
Wismuth .....	2
Antimon .....	2

Diese Zahlen sind theilweise noch günstiger als diejenigen nach der vorhergehenden Formel; entsprechend jener zeigen sie indessen auch Abweichungen.

Da ferner die Festigkeit mit wachsendem Atomvolumen durchweg abnimmt und, nach Vorhergehendem, die absolute Festigkeit proportional den Producten aus der Schmelztemperatur und der specifischen Wärme, wie auch aus Dichte und letzterer im Allgemeinen ist, so muss eine Gesetzmässigkeit hier nahe liegen.

Setzt man unter der sich nachher begründeter zeigenden Annahme, dass die Festigkeit proportional der Dichte ( $\Delta$ ) und umgekehrt dem Quadrate des Atomdurchmessers  $\left(\sqrt[3]{\left(\frac{A}{\Delta}\right)^2}\right)$ , dividirt durch einen Werth  $x^2$ , welcher der Wärmewirkung und den Anziehungsverhältnissen in einem dicht geschlossenen System entspricht, so dass entsprechend der Anziehung der Gesamtmassen  $K = \beta \cdot \frac{\Delta}{R^2}$ , wenn  $\beta$  ein Coëfficient der Anziehung, der nachher in den Werth von  $x$  eingeschlossen wird und  $R^2 = \left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot x^2$  oder  $x = \left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot R$ , dann findet sich, dass man den Werth

$$x = 1.4 \sqrt[3]{\frac{\Delta}{A}} \cdot Ts$$

setzen kann.

Es wird nämlich, wenn man für die verschiedenen Metalle die Werthe von  $\Delta$  und  $K$  einsetzt, den Werth von  $\beta$  in  $x$  einschliesst, bei

	$R$	$x = \left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{1}{3}} : R$	$1 \cdot 4 \sqrt[3]{\frac{\Delta}{A}} \cdot Ts$
Eisen . . . . .	0·43	4·5	4·3
Aluminium . . . . .	0·47	4·7	4·8
Kupfer . . . . .	0·52	3·7	3·7
Silber . . . . .	0·64	3·4	4·4
Palladium . . . . .	0·67	3·1	3·2
Zink . . . . .	0·77	2·7	2·7
Platin . . . . .	0·80	2·6	2·6
Gold . . . . .	0·98	2·2	2·2
Blei . . . . .	2·39	1·10	1·4
Antimon . . . . .	3·09	0·84	1·5
Wismuth . . . . .	3·13	0·90	1·0

u. s. w.

Somit lässt sich setzen in

$$\left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{1}{3}} = x \cdot R \quad x = 1 \cdot 4 \sqrt[3]{\frac{\Delta}{A}} \cdot Ts$$

und

$$K_3 = \frac{\Delta}{\left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{2}{3}}} : \left(1 \cdot 4 \sqrt[3]{\frac{\Delta}{A}} Ts\right)^2 = 2 \cdot \frac{\Delta \cdot Ts^{\frac{2}{3}}}{\left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{4}{3}}} \quad \dots (III)$$

Diese Formel (III) ergibt die Werthe

für	$K_3$ (berechnet)	gegenüber $K$ (beobachtet)
Eisen . . . . .	41	30–50
Kupfer . . . . .	32	20–36
Platin . . . . .	37	24–36
Palladium . . . . .	29	27
Silber . . . . .	21	16–30
Gold . . . . .	21	10–30
Aluminium . . . . .	9	8–12
Zink . . . . .	1·2	5–16
Zinn . . . . .	3·0	1·7–4·3
Kadmium . . . . .	6·1	2·3–4·8
Blei . . . . .	3·3	1·3–2·4
Wismuth . . . . .	1·3	0·97

für	$K_3$ (berechnet)	gegenüber $K$ (beobachtet)
Antimon.....	2·8	0·65—0·70
.....	.....	.....
Nickel <sup>1</sup> .....	48	fester als Eisen
Kobalt.....	46	zäher als Eisen
Magnesium.....	3·6	nicht fest
Selen.....	2·1	wenig fest
Indium.....	3·7	weicher als Blei
Gallium.....	3·9	zähe, mit dem Messer schneidbar
Kalium.....	0·04	weich
Natrium.....	0·63	weich

Für die übrigen Elemente, deren Festigkeitsverhältnisse höchstens ganz allgemein bekannt sind, wird  $K_3 =$

Beryll.....	106	Quecksilber.....	3·0
Mangan.....	63	(im festen Zustande bleiähnlich)	
Chrom.....	34	Schwefel.....	1·8
Rhodium.....	28	Thallium.....	0·87
Iridium.....	67	Phosphor.....	0·98—1·60
Ruthenium.....	44	Cer.....	2·6
Osmium.....	48	Jod.....	0·98
Titan.....	26	Chlor.....	0·04
Wolfram.....	26	Brom.....	0·62
Molybdän.....	14	Barium.....	0·68
Lithium.....	12	Rubidium.....	0·12
Uran.....	17	Cäsium.....	0·08
Arsen.....	4·1		

Einen Widerspruch mit der Erfahrung zeigt keiner der Werthe, wenn sie auch nicht immer den beobachteten oder wahrscheinlichen Werthen genau entsprechen. Wären von allen den angeführten Körpern Resultate von Festigkeitsversuchen bekannt, dann dürfte die Annäherung an die wahren Werthe sich noch verbessern lassen.

Der Ausdruck

$$K_3 = \frac{2 \cdot \Delta \cdot \overline{Ts}^{\frac{2}{3}}}{\left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{4}{3}}}$$

<sup>1</sup> Bei den letzten acht Metallen lassen sich in Ermangelung von Versuchswerthen nur die nebenstehenden allgemeinen Angaben machen. Nach Le Chatellier trägt Nickel bis zu 55 kg pro Quadratmillimeter.

oder auch

$$K_3 = \frac{2 \cdot \Delta \left( \frac{\Delta}{A} \cdot T_s \right)^{\frac{2}{3}}}{\left( \frac{A}{\Delta} \right)^{\frac{2}{3}}}$$

deutet auf ein bestimmtes Princip der Constitution der Körper hin. Klarer tritt dieses im Folgenden hervor.

Nimmt man alle Körper als aus kleinen, sich gegenseitig anziehenden Massentheilchen bestehend an und setzt voraus, dass sich Atome und Moleküle nach ähnlichen Gesetzen anziehen, wie solche für die Weltkörper erkannt wurden, also entsprechend der Formel  $A = f \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$ ,<sup>1</sup> oder, wenn die Acceleration einer Masse  $m$  gegen festliegende Massen oder Massencentren  $M$  zu bestimmen wäre,  $A = f \left( \frac{M+m}{R^2} \right)$ , oder unter Vernachlässigung von  $m$  gegenüber  $M$  (der gesammten anziehenden Masse)

$$A = f \cdot \frac{M}{R^2};$$

wird die Anziehung der absoluten Festigkeit ( $K$  = Belastung auf Zug in Kilogrammen pro Quadratmillimeter) proportional angenommen und, nach vorgenommenen Versuchen zur Ergründung der Beziehungen zwischen den anziehenden Massen und den Entfernungen derselben untereinander — denkbar wäre für verschiedene Stoffe Gleichheit der Massen bei verschiedenen Abständen, Gleichheit der Abstände bei Verschiedenheit der Massen oder, was am wahrscheinlichsten, Ungleichheit von Massen und Entfernungen — die Masse jeweilig proportional der Dichtigkeit der betreffenden Körper genommen, dann würden

<sup>1</sup> Es bedeuten  $A$  Anziehung,  $M$  anziehende,  $m$  angezogene Masse,  $R$  Abstand der sich gegenseits anziehenden Massen und  $f$  einen Attractions-coefficienten, der gleichzeitig die Massstäbe der verschiedenen Werthe vermittelt.

sich die Entfernungen der einzelnen anziehenden Theilchen berechnen, wenn  $\Delta$  die Dichtigkeit bezeichnet, nach

$$R = \sqrt{f \cdot \frac{\Delta}{K}}$$

Setzt man vorläufig den Werth von  $f = 1$ , dann erhält man für die Metalle

	$\Delta$	$K$	$R$ oder	$10 R$
Eisen .....	7·8	42	0·431	4·31
Kupfer .....	8·9	33	0·516	5·16
Platin .....	21·6	32	0·801	8·01
Silber .....	10·5	26	0·636	6·36
Gold .....	19·5	20	0·983	9·83
Blei .....	11·4	2	2·387	23·89

Da nun die annähernd als Mittelwerthe für richtig gehaltenen Ausdehnungscoefficienten für Belastung ( $\epsilon$ ) in Kilogrammen pro Quadratmillimeter (Elasticitätscoefficienten) und durch Wärme ( $\alpha$ ) pro 1° C. und ihre Verhältnisse für die angeführten Metalle folgende Zusammenstellung ergeben, in welcher in der letzten Columnne der Werth von  $10 R$  wiederholt ist,

	$\epsilon$	$\alpha$	$\frac{\epsilon}{\alpha}$	$10 R$
Eisen .....	0·000052	0·000012	<b>4·33</b>	4·31
Kupfer .....	0·000088	0·000017	<b>5 18</b>	5·16
Platin .....	0·000059	0 000008	<b>7 35</b>	8·01
Silber .....	0·000138	0·000020	<b>6·90</b>	6·36
Gold .....	0·000150	0·000015	<b>10·00</b>	9·83
Blei .....	0·000560	0·000027	<b>20·74</b>	23·87

so zeigt sich eine einfache Beziehung zwischen den in Fragen stehenden Werthen; es zeigt sich die absolute Festigkeit abhängig von der Dichtigkeit und dem Verhältniss der Ausdehnung der Körper durch Belastung und Wärme. Der Werth von  $R$  (Abstand der mittleren Anziehungscentren) für ein Metall ist gleich dem  $\frac{1}{10}$  fachen Werthe des Verhältnisses  $\frac{\epsilon}{\alpha}$ , wenn

$$\frac{\epsilon}{\alpha} = \frac{\text{Ausdehnung pro } 1 \text{ kg Belastung und Quadratmillimeter}}{\text{Ausdehnung pro } 1^\circ \text{ C. Wärme zwischen } 0 \text{ und } 100^\circ}$$

Geringe Änderungen der benützten Werthe von  $\varepsilon$  und  $\alpha$  würden genügen, um die Übereinstimmung mit den berechneten Werthen von  $R$ , welche selbst wieder von der genauen Bestimmung von  $K$  und  $\Delta$  abhängig sind, herbeizuführen.

Innerhalb der Grenzen der in folgender Tabelle enthaltenen

Werthe berechnen sich die Werthe von  $\frac{\varepsilon}{\alpha}$  und  $10R = \sqrt{\frac{\Delta}{K}}$ , wenn für  $K$  mittlere Werthe gesetzt werden, für

	$\frac{\varepsilon}{\alpha}$	$10R$		$\frac{\varepsilon}{\alpha}$	$10R$
Eisen.....	3·33—4·70	4·31	Aluminium ..	5·82—6·62	5·70
Kupfer.....	4·37—5·66	5·16	Zink.....	3·33—5·02	7·70
Platin.....	6·67—8·59	8·01	Zinn.....	10·51—13·92	14·50
Silber.....	6·54—7·37	6·36	Kadmium ...	5·83—12·83	14·80
Gold.....	7·94—12·79	9·83	Wismuth....	22·52—33·42	31·30
Blei.....	17·95—20·74	23·87	Antimon ...	18·05—29·45	30·90
Palladium ...	7·20—11·23	6·70	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....
Stahl.....	2·40—5·50	3·10	Messing ....	4·70—8·60	6·50
Gusseisen ...	7·10—9·40	6·00	Bronze.....	7·70—8·00	5·80

und selbst bei

Glas.....15·40—18·00 15·80.

Die grössten Abweichungen finden sich bei jenen Metallen, für welche die Festigkeit am wenigsten genau bekannt ist, wie sich später zeigt.

Die allgemeine Giltigkeit der hier ausgedrückten Beziehungen geht aus folgender Tabelle schon hinreichend hervor, ganz abgesehen davon, dass sie weiter bestätigt wird.

Die zur Berechnung dienliche Formel erhält die einfache Form

$$K_4 = 100 \Delta \left( \frac{\alpha}{\varepsilon} \right)^2 \quad \dots (IV)$$

Die Zahl 100 umfasst den an die Stelle des Attractionscoefficienten tretenden Cohäsionscoefficienten, vertritt



den Einfluss der gegenseitigen Anziehungsweise der einzelnen Anziehungscentren und schliesst die Maassstabsverhältnisse für die verschiedenen Werthe der Formel ein.  $K_4$  entspricht, wie schon früher  $K_1$ ,  $K_2$  u. s. w. dem Werthe der absoluten Festigkeit des Materials in Kilogrammen pro  $1\text{ mm}^2$  Querschnitt.

In der Tabelle sind den technisch wichtigsten Metallen aus den Elementen noch einige Verbindungen und Legirungen beigefügt, für welche die nothwendigen Beobachtungen vorliegen und erhaltbar waren. In den Columnen für  $K$  (beobachteten Festigkeitswerthen),  $\epsilon$ ,  $\alpha$  und  $K_4$  sind die Grenzwerte der Beobachtung und der Rechnung angeführt, wodurch eine bequemere Einsicht in die Richtigkeit der Formel möglich wird als bei, wenn auch noch so unparteiisch, ausgewählten Mittelwerthen.

Wesentliche Ausnahmen bilden nur Aluminium und Zink. Bei Aluminium genügen geringe Änderungen der einzelnen Werthe, welche sämmtlich genauerer Bestimmungen bedürfen. Nach Wagner, »Chem. Technol.«, I, S. 124, ist Aluminium im Grösseren noch nicht rein dargestellt. Im vorigen Jahrzehnt sah man die Herstellung des von Silicium und Eisen freien Aluminium für ein Problem an. Die Versuche bezogen sich alle auf chemische Verbindungen oder Legirungen; daher die hohen Festigkeitswerthe (11—13 kg und mehr). Seitdem die Aluminiumfabrik in Neuhausen a. Rh. (seit 1890) nahezu reines Aluminium herstellt, ist dessen Festigkeit auf 8 kg gesunken und wird höchst wahrscheinlich bei ganz reinem Metalle noch etwas sinken, sich somit noch mehr dem theoretischen Werthe nähern. Ähnlich verhält es sich mit dem Zink, dem überhaupt in seinem ganzen Verhalten merkwürdigen Metalle, das bald von krystallinischer, bald von unregelmässiger Bruchform sein soll, dessen Geschmeidigkeit über  $150^\circ$  abnimmt, bei  $200^\circ$  sehr spröde wird. Wertheim gelang es nicht, trotz verschiedener Versuche mehrerer Metallarbeiter, reines Zink so homogen herzustellen, dass es sich ziehen liess, wesshalb ein Theil seiner Versuche mit unreinem käuflichem Zink angestellt werden mussten. Den grösseren von ihm für  $\epsilon$  veröffentlichten Werth erhielt Wertheim aus den Querschnittsschwingungen des

Material	Dichte $\Delta$	Festigkeit $K$ beobachtet	$\varepsilon$	$\alpha$	$K_1$ berechnet	Bemerkungen
Eisen .....	7.8	25—60	$\left. \begin{array}{l} 0.0000480 \\ 0.0000434 \end{array} \right\}$ Wertheim $\left. \begin{array}{l} 0.0000480 \\ 0.0000434 \end{array} \right\}$ Weisbach	$\left. \begin{array}{l} 0.0000116 \\ 0.0000121 \\ 0.0000144 \end{array} \right\}$ Borda $\left. \begin{array}{l} 0.0000168 \\ 170 \\ 184 \end{array} \right\}$ Fizeau $\left. \begin{array}{l} 170 \\ 184 \end{array} \right\}$ Smeaton $\left. \begin{array}{l} 0.0000075 \\ 88 \end{array} \right\}$ Stampfer $\left. \begin{array}{l} 0.0000091 \\ 118 \end{array} \right\}$ Fromant $\left. \begin{array}{l} 0.0000091 \\ 118 \end{array} \right\}$ Dulong $\left. \begin{array}{l} 0.0000191 \\ 208 \end{array} \right\}$ Fizeau $\left. \begin{array}{l} 0.0000140 \\ 155 \end{array} \right\}$ Laplace $\left. \begin{array}{l} 0.0000222 \\ 252 \end{array} \right\}$ Winnerl $\left. \begin{array}{l} 0.0000294 \\ 311 \end{array} \right\}$ Karmarsch $\left. \begin{array}{l} 0.0000191 \\ 228 \end{array} \right\}$ Smeaton $\left. \begin{array}{l} 0.0000313 \\ 119 \end{array} \right\}$ Laplace $\left. \begin{array}{l} 0.0000280 \\ 309 \end{array} \right\}$ Smeaton $\left. \begin{array}{l} 0.0000313 \\ 119 \end{array} \right\}$ Kopp $\left. \begin{array}{l} 0.0000280 \\ 309 \end{array} \right\}$ Wertheim $\left. \begin{array}{l} 0.0000280 \\ 309 \end{array} \right\}$ Daniel $\left. \begin{array}{l} 0.0000280 \\ 309 \end{array} \right\}$ Stapfer	35.9—70.2 27.7—46.7 29.0—47.9 9.6—23.0 19.6—24.6 11.6—30.7 5.9—9.4 28.8—52.6 3.8—6.6 1.9—3.4 [12.9—22.7]? 2.7—3.5	$K = 60 - 65$ bei Eisen mit 0.4% Kohlen- stoff, wofür der kleinere Wertheim's- sche Werth für $\varepsilon$ gilt.
Kupfer .....	8.9	20—36.1	$\left. \begin{array}{l} 0.00008032 \\ 9510 \end{array} \right\}$ Wertheim			
Platin .....	21.5	24—36.1	$\left. \begin{array}{l} 0.0000587 \\ 644 \end{array} \right\}$ Wertheim $\left. \begin{array}{l} 0.0000850 \\ 1022 \end{array} \right\}$ Wertheim			
Palladium .....	12.1	27	$\left. \begin{array}{l} 0.0001360 \\ 1400 \end{array} \right\}$ Wertheim			
Silber .....	10.5	16—30	$\left. \begin{array}{l} 0.0001320 \\ 1791 \end{array} \right\}$ Wertheim			
Gold .....	19.3	10—30	$\left. \begin{array}{l} 0.0001850 \\ 1469 \end{array} \right\}$ Weisbach $\left. \begin{array}{l} 0.0001037 \\ 1475 \end{array} \right\}$ Wertheim			
Aluminium .....	2.6	8—13	$\left. \begin{array}{l} 0.0002397 \\ 2700 \end{array} \right\}$ Wertheim			
Zink .....	7.2	5—16	$\left. \begin{array}{l} 0.0001844 \\ 2488 \end{array} \right\}$ Wertheim			
Zinn .....	7.3	1.7—4.3	$\left. \begin{array}{l} 0.0005346 \\ 5634 \end{array} \right\}$ Wertheim			
Kadmium .....	8.6	2.3—4.8				
Blei .....	11.3	1.3—2.4				

Wismuth . . . . .	9·8	0·97	0·0003040 4044	Wertheim	0·0000121 135	Fizeau	0·87—1·93
Antimon . . . . .	6·7	0·65—0·7	0·0002076 3181	Wertheim	0·0000108 115	Smeaton Fizeau	0·77—2·06
Stahl (weich) . . . . .	7·7	40—100	0·0000333 591	Redtenbach. Wertheim	0·0000107 119	Ellicot Troughton	25·3—98·6
Stahl (hart) . . . . .	—	—	0·0000400	Hütte	0·0000123 137 138	Smeaton Laplace Berthoud	69·6—90·6
Gusseisen . . . . .	7·2	10—25	0·0000787 1000	Wertheim Allgem.	0·0000106 112	Fizeau Adie	7·6—14·5
Messing . . . . .	8·4	12—40	0·00001015 1563	Weisbach	0·0000182 214	Elliot Daniell	11·4—37·9
Bronze . . . . .	8·8	16—26	0·0001427	Redtenbach.	0·0000178 185	Fizeau Daniell	13·2—15·7
Phosphorbronze . . . . .	—	40	0·0001014	Dingl. Journ.	0·0000180	.....	27·5
Glas . . . . .	2·5	0·3—2·0	0·0001451	Wertheim	0·0000081 94	Dulong Regnault	0·78—1·03
Eis . . . . .	0·91	0·05—0·08	0·00540 0·00844	Fabian	0·0000513 528	Pohrt Plücker	0·0034— —0·0087

<sup>1</sup> Je nach der Bearbeitung weit höher.

reinen Metalles.<sup>1</sup> Was für die Festigkeit gilt, ist in gleicher Weise von Einfluss bei der Bestimmung der übrigen Constanten der physikalischen Eigenschaften des Zinkes. Durchweg zeigt Zink Ausnahmestellung.

Eine weitere Ausnahme bildet das Eis, wofür sehr wenige Versuche vorliegen und wofür möglicherweise die Constante eine andere sein kann als für andere Körper, deren Schmelzpunkt weiter von derjenigen Temperatur entfernt liegt, bei welcher die Versuche gemacht wurden. Da die meisten Versuche bei 10—15° C. erhalten wurden, so würden wahrscheinlicher Weise von den Temperaturen abhängige Coëfficienten eingeführt oder die Constanten darnach geändert werden müssen. Ausserdem ist es sehr wahrscheinlich, dass metallische und nicht metallische Körper, namentlich zusammengesetzte, nicht ganz übereinstimmende Constanten erfordern. Leider lassen die auffindbaren Versuche die Untersuchung im Stiche. Solche zu ergänzen, ist der Verfasser nicht in der Lage.

Im Übrigen stimmen die berechneten Werthe durchweg innerhalb den Grenzen der Beobachtungen. Geringe Änderungen der Werthe von  $\epsilon$ ,  $\alpha$  oder  $\Delta$  oder selbst der Constanten würden genügen, die für  $K_4$  berechneten Werthe den durch Versuche gefundenen noch besser anzuschliessen.

Zu den vorliegenden, wie zu allen ähnlichen Untersuchungen sollten die verschiedenen in Betracht kommenden Eigenschaften an den gleichen Versuchsstücken ausgeführt werden und nicht je an ganz verschiedenen, da die Einflüsse

---

<sup>1</sup> Vergleicht man die von Wertheim gefundenen Werthe für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in gezogenen Metallen, so tritt Zink in die gleiche Reihenfolge, wie nach obiger Formel, während die übrigen Metalle nur unbedeutend ihre Stellungen ändern.

Metalle	Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles	Metalle	Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles
Eisen . . . . .	15·1	Silber . . . . .	8·1
Kupfer . . . . .	11·2	Kadmium . . . . .	7·9
Zink . . . . .	11·0	Zinn . . . . .	7·9
Messing . . . . .	10·7	Gold . . . . .	6·4
Platin . . . . .	8·2	Blei . . . . .	4·3

der Unreinheit, der Bearbeitung, der Dimensionen u. u. s. sich sonst viel zu viel, oft in ganz entgegengesetztem Sinne geltend machen. Selbst eine grosse Anzahl von Versuchen an verschiedenen Stücken vermag solche Mängel nicht auszugleichen.

Nach obiger Formel  $K_4 = 100 \Delta \left( \frac{\alpha}{\varepsilon} \right)^2$  sollte, da bei den gleichen Metallen die Werthe von der Dichtigkeit und für die Ausdehnung durch Wärme wenig schwanken, der Werth von  $K \cdot \varepsilon^2 = \text{Constante}$  (nahe) sein. In der That zeigte der Verfasser 1887 (Schweiz. Bauzeit., April, Bd. 9), dass sich aus vielen eingehenden Versuchen über die Festigkeit von Flusseisen (respective Flusstahl) folgende Resultate ergaben:

Belastung in Tonnen pro Quadratcenti- meter . . . . .	3·5—4	4—4·5	4·5—5	5—5·5	5·5—6	6—6·5	6·5—7
Anzahl der Versuche . . .	9	45	37	45	41	20	11
Mittlere Dehnung pro 20 cm Länge	26·8	24·5	23·8	22·0	20·6	19·4	19·1%
Ausgleichung	26·5	25·0	23·5	22·0	20·5	19·0	17·5%
Belastung in Tonnen pro Quadratcenti- meter . . . . .	7—7·5	7·5—8	8—8·5	8·5—9	9—9·5	9·5—10	
Anzahl der Versuche . . .	13	3	3	0	1	3	
Mittlere Dehnung pro 20 cm Länge	17·0	13·6	18·3	—	10·5	8·4%	
Ausgleichung	16·0	14·6	13·0	11·5	10·0	8·5%	

Ähnlich, wenn auch nicht so regelmässig, verhält sich das Verhältniss der Dehnung zur Tragfähigkeit.

Bezeichnet  $\mathfrak{A}$  die Ausdehnung bis zum Bruche pro 20 cm Länge, mit  $K$  die Belastung der Querschnittseinheit (hier Quadratcentimeter) in Tonnen, dann lässt sich setzen

$$\mathfrak{A} = 37.75 - 3 K$$

und

$$(K \pm x)\mathfrak{A} = \text{Const. oder } (K \pm x)\mathfrak{A}^2 = \text{Const.}$$

Diese Formel entspricht der angegebenen Form  $K \cdot \varepsilon^2 = \text{Const.}$ , wobei nicht ausseracht zu lassen, dass die Maassstäbe (Kilogramm, Tonnen, Quadratmillimeter und Quadratcentimeter) verschieden sind und einmal nur Einheitsdehnungen ohne Bruch, das anderemal beim Bruche in Betracht kommen.

Für den Fall des Entsprechens der Formel  $K_4 = 100 \Delta \left(\frac{\alpha}{\varepsilon}\right)^2$  der Wirklichkeit muss sie auch bei höheren Temperaturen genügen. Da  $\Delta$ ,  $\alpha$  und  $\varepsilon$  in der erforderlichen Weise sich ändern, so genügt in der That die Formel auch für diesen Fall, wie die Anwendung auf Kupfer zeigt. Nach Dulong ist

$$\begin{aligned} \alpha \text{ bei } 0-100^\circ & 0\cdot0018115 \\ \alpha \text{ » } 0-300^\circ & 0\cdot0055555, \end{aligned}$$

somit auch im letzten Falle bei  $100^\circ$  Temperaturunterschied um  $0\cdot001852$  ausgedehnt, also nahe constant, während nach Wüllner

$$\begin{aligned} \frac{1}{\varepsilon} \text{ bei } 20^\circ & 10\cdot519 \text{ kg} \\ \frac{1}{\varepsilon} \text{ » } 200^\circ & 7862 \end{aligned}$$

bei Kupfer beträgt. Da sich  $\Delta$  und  $\alpha$  bei diesen Temperaturen wenig,  $\varepsilon$  stärker ändert, so wird, da  $\frac{10519}{7862} = 1\cdot3$ ,

$$K'_4 = K_4 \left(\frac{1}{1\cdot3}\right)^2 = 0\cdot6 K_4.$$

Parker beobachtete die Festigkeit bei Kupferröhren

gewalzt	}	bei $16^\circ$ zu $22\cdot5 \text{ kg}$
		» $199$ » $16\cdot8$
gezogen	}	» $16$ » $31\cdot5$
		» $199$ » $22\cdot6$
elektrolytisch hergestellt	}	» $16$ » $37\cdot8$
		» $199$ » $23\cdot8$

während nach der letzten vereinfachten Formel die Festigkeit betragen sollte

bei 200° und gewalzten Röhren.....	13·5 kg
» » » gezogenen » .....	18·9
» » » elektrolytisch hergestellten Röhren .....	22·7

Mit den von Fizeau für die Ausdehnung des Kupfers gegebenen Werthen geht die Formel über (wenn die Dichtigkeitsänderung vernachlässigt wird) in  $K_4''' = K_4 \left( \frac{1.13}{1.34} \right)^2 = 0.711 K_4$  und obige Werthe in 16·00, 22·37 und 26·88 oder nach der Correctur der Dichtigkeit in die Werthe 14·2, 19·9 und 23·7.

Nach Versuchen des Franklin-Institutes nimmt die Festigkeit des Kupfers bei 180° C. um 15%, bei 240° um 20% der ursprünglichen Festigkeit ab. Ändert sich  $\alpha$  um 1·2,  $\epsilon$  um 1·34, dann müsste  $K_4''' = \left( \frac{1.2}{1.33} \right)^2 K_4 = 0.8 K_4$  werden oder die Festigkeit sich um 20% vermindern. Für das erste Beispiel würde nach diesen Verhältnissen die Festigkeit der aus Kupfer gewalzten Röhren bei 200° nahe 18 kg gegenüber den beobachteten 16·8 kg sein.

Für andere Metalle liegen leider keine genügenden Versuchsergebnisse vor. Die für Stahl und Eisen vorliegenden Versuche widersprechen nicht.

Da bei Flüssigkeiten der Elasticitätsmodul sehr klein, der Werth von  $\epsilon$  somit sehr gross wird, so muss nach unserer Formel (IV) auch die Festigkeit nahe gleich Null sein.

Sind die im Vorhergehenden benutzten Beziehungen nur annähernd richtig, dann müssen sich die gefundenen Werthe für die Entfernung der Atom- (respective Molekül-) Mittelpunkte auch wieder annähernd durch die angenommenen Werthe der Atomdurchmesser  $\left( \sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}} \right)$  darstellen lassen, wenn die Annahme berechtigt ist, dass bei festen und flüssigen Körpern die Distanzen wesentlich von den Dimensionen der kleinsten sie bildenden Theilchen abhängig sind, dass diese somit nicht durch grosse Zwischenräume voneinander getrennt werden. Vollständig wird die Übereinstimmung nicht sein können, da die Entfernung der

Anziehungsmittelpunkte nicht einzig von dem Atomvolumen abhängig zu sein braucht und da nicht nur zwei Kerne aufeinanderwirken, sondern das ganze Massensystem sich gemeinschaftlich und gegenseitig anzieht und aufeinander wirkt.

In folgender Tabelle sind zunächst für die hinsichtlich der Festigkeit genauer untersuchten Metalle die entsprechenden Werthe für  $\sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}}$  (die Entfernung der Centren der Atome und Moleküle proportional denselben angenommen), für  $\sqrt{\frac{\Delta}{K}}$  (dem aus der Festigkeit sich ergebenden Abstände ( $R$ ) der Atom- und Molekülmittelpunkte) zusammengestellt und in der letzten Columnne mit Hilfe der Gleichung  $y = ax + b$ , wenn für  $y$   $\sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}}$  und für  $x$   $\sqrt{\frac{\Delta}{K}}$ , für  $a$  0·3 und für  $b$  1·8 gesetzt wird.

Metalle	$\sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}}$	$\sqrt{\frac{\Delta}{K}}$	Berechnete Werthe $y = 0\cdot3x + 1\cdot8$		
		Extreme	Mittel	Extreme	Mittel
Eisen . . . . .	1·92	0·52—0·34	0·44	1·96—1·90	1·93
Kupfer . . . . .	1·93	0·74—0·41	0·66	2·02—1·92	1·99
Silber . . . . .	2·17	0·81—0·45	0·69	2·04—1·94	2·01
Gold . . . . .	2·16	1·39—0·80	0·98	2·24—2·04	2·09
Platin . . . . .	2·01	0·95—0·72	0·84	2·09—2·02	2·05
Palladium . . . . .	2·07	0·67	0·67	2·02	2·00
Aluminium . . . . .	2·18	0·49—0·42	0·46	1·95—1·93	1·94
Kadmium . . . . .	2·29	1·93—1·33	1·57	2·37—2·19	2·27
Blei . . . . .	2·63	2·95—2·17	2·51	2·68—2·45	2·55
Antimon . . . . .	2·63	3·35—3·10	3·22	2·81—2·75	2·77
Wismuth . . . . .	2·77	3·19	3·19	2·75	2·75
Zink . . . . .	2·09	1·20—0·66	1·09	2·16—2·00	2·08
Zinn . . . . .	2·53	2·07—1·30	1·44	2·42—2·19	2·23
Messing . . . . .	1·97	0·84—0·46	0·60	2·05—1·94	1·98

Berechnet man die Abweichung der Mittel der ersten und der letzten Columnnen, dann erhält man  $2\cdot24 - 2\cdot22 = 0\cdot02$ .

Es ergeben sich somit für beide Werthe ähnliche Reihen und nur wenig voneinander abweichende Mittel; es scheint somit die Annahme gerechtfertigt, dass zwischen beiden Werthen innerhalb gewisser, durch die Natur, wie



durch die Beobachtungswerthe beeinflussten Grenzen Parallelität des Ganges besteht.<sup>1</sup>

Umgekehrt müssen sich nun aus den gegebenen Beziehungen die einzelnen Werthe berechnen lassen, wenn die nothwendigen Constanten bestimmt sind. In der That gibt die Formel

$$K_3 = 0.09 \Delta : \left[ \left( \frac{A}{\Delta} \right)^{\frac{1}{3}} - 1.8 \right]^2 \quad \dots (V)$$

mit der Erfahrung nahe übereinstimmenden Werthe; so für

Eisen . . . . .	48	kg	pro	Quadratmillimeter
Kupfer . . . . .	46	»	»	»
Gold . . . . .	25	»	»	»
Blei . . . . .	1.5	»	»	»
Zinn . . . . .	1.5	»	»	»
Messing . . . . .	23	»	»	»

u. s. w.

Somit entsprechen die aus den Festigkeitsverhältnissen abgeleiteten Werthe der Entfernungen der Atom- (respective Molekül-) Kernmitten den aus dem Atomvolumen abgeleiteten Werthen. Es lassen sich schon jetzt die einen, wenn auch nur annäherungsweise, auf den anderen Werth beziehen, und es lassen sich die einzelnen unbekanntten Werthe, wenn die übrigen gegeben sind, mit Hilfe einfacher Gleichungen innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler berechnen.

Da nach Obigem  $\left( \frac{A}{\Delta} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.3 \left( \frac{\Delta}{K} \right)^{\frac{1}{2}} + 1.8$  und (nach IV)

$$10 \sqrt{\frac{\Delta}{K}} = \frac{\varepsilon}{\alpha}, \text{ so wird } 0.03 \frac{\varepsilon}{\alpha} + 1.8 = \left( \frac{A}{\Delta} \right)^{\frac{1}{3}} \text{ werden.}$$

<sup>1</sup> Bemerkt sei, dass zwischen den Werthen von  $\frac{A}{\Delta}$  und  $\frac{\varepsilon}{\alpha}$  noch die einfache Beziehung  $\frac{A}{\Delta} = 3.5 \sqrt{\frac{\varepsilon}{\alpha}}$  (nahe) besteht. Es ist beispielsweise bei

	$3.5 \sqrt{\frac{\varepsilon}{\alpha}}$	$\frac{A}{\Delta}$		$3.5 \sqrt{\frac{\varepsilon}{\alpha}}$	$\frac{A}{\Delta}$
Eisen . . . . .	6.4—7.6	7.2	Kadmium . . . . .	8.4—12.3	13.0
Platin . . . . .	7.7—10.3	9.0	Wismuth . . . . .	16.6—20.3	21.2
Silber . . . . .	8.9—9.5	10.3	Antimon . . . . .	14.9—19.0 *	17.9
Gold . . . . .	9.9—13.5	10.1	Aluminium . . . . .	8.4—9.0	16.4

Für organische Körper, und zwar für Holzarten, erhält man, wenn die bisherigen Bezeichnungen beibehalten werden

	$\Delta$	$K$	$\frac{1}{\varepsilon}$	$\alpha$	$\Delta \left(\frac{\alpha}{\varepsilon}\right)^{1/2}$
Pappel	0.477	1.97 (3.6)	517.2	0.0000746	0.00071
Fichte	0.599	2.48 (4.8)	564.2	608	0.00086
Buche	0.823	3.57	980.4	604 } 716 }	0.00393 0.00303
Ahorn	0.674	3.58 (6.6)	1121.4	512	0.00176
Tanne	0.493	4.18	1113.2	...	...
Birke	0.812	4.30	997.2	...	...
Erle	0.601	4.54	1108.1	699	0.00361
Eiche	0.808	6.49 (7.1)	921.3	746	0.00382
Esche	0.697	6.78 (6.6)	1121.4	951	0.00787
Espe	0.603	7.20	...	...	...
Akazia	0.717	7.93	1261.9	...	...
Ulme (Rüster)	0.580	...	1165.5	635	0.00499

Auch hier wachsen im Allgemeinen die Werthe der letzten Columnen wie diejenigen der Werthe von  $K$ , der Festigkeitswerthe. Bei der beschränkten Anzahl der vorliegenden Versuche und dem starken Wechsel der verschiedenen Werthe der Resultate, der sogar bei der Dichtigkeit ( $\Delta$ ) noch erheblich ist, darf man weder eine genauere Übereinstimmung erwarten, noch würde es zweckentsprechend sein, durch genauere Bestimmung einzelner Constanten eine grössere Übereinstimmung erreichen zu wollen.

Bast trägt nach Fr. Haberlandt im Mittel 34.6 (ausnahmsweise 50)  $kg$  pro  $1 mm^2$ , wobei er sich nur um 1.27%<sub>0</sub> dehnt. Es würde somit  $\varepsilon = 0.00035$ . Bei  $\Delta = 0.9$  und  $\alpha = 0.000065$  (mittlere Dehnung durch Wärme bei Holz) würde sich die Festigkeit zu 45  $kg$  pro  $1 mm^2$  berechnen, wenn man aus vorstehender Tabelle eine Zahl von 1500 bestimmt, mit welcher die Werthe der letzten Columnen vorstehender Tabelle vervielfacht werden müssten, um sie den Festigkeitswerthen der Hölzer zu nähern.

Nach der Formel (IV)  $K_h = 100 \Delta \left(\frac{\alpha}{\varepsilon}\right)^2$  und nach der Formel (III)

$$K_3 = 2 \cdot \frac{\Delta \cdot \overline{Ts}^{\frac{2}{3}}}{\left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{4}{3}}}$$

wird

$$\frac{\varepsilon}{\alpha} = 7 \sqrt[3]{\left(\frac{A}{\Delta}\right)^2 \cdot \frac{1}{\overline{Ts}}}$$

Nun ist aber auch

$$\frac{\varepsilon}{\alpha} = 7 \frac{\sqrt[3]{A}}{As \cdot \Delta s} \quad 1$$

Setzt man beide Werthe einander gleich, dann wird

$$As \cdot \Delta s \cdot \sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}} = \sqrt[3]{T \cdot \Delta s},$$

oder nach Einführung einer Maassstabsconstanten

$$As \cdot \Delta s \cdot \sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}} = \sqrt[3]{\frac{T \cdot \Delta s}{1 \cdot 28}}$$

oder

$$\overline{As}^3 \cdot \overline{\Delta s}^3 = \frac{T \cdot \Delta s}{1 \cdot 28} \cdot \frac{A}{\Delta} \quad 2$$

Somit ist: das Product aus den dritten Potenzen der Atom- und relativen Wärme gleich dem Quotienten aus der Schmelztemperatur mal der relativen Wärme durch das Atomvolumen.

Setzt man in diese Formel (V) die entsprechenden Werthe ein, dann erhält man, wenn die Werthe der specifischen

<sup>1</sup> Nach Einsetzen der betreffenden Werthe erhält man für

Eisen . . . . .	3·5	Gold . . . . .	10·4
Kupfer . . . . .	5·6	Blei . . . . .	18·4
Platin . . . . .	9·0	Zinn . . . . .	12·7
Wismuth . . . . .	21·8		

u. s. w. (vergl. Tabelle S. 16.)

Die Constante 7 sollte etwas kleiner gewählt werden; der Einfachheit halber wurde sie der vorhergehenden gleichgesetzt.

<sup>2</sup> Der Grundanschauung gemäss, Alles auf bekannte Verhältnisse zu beziehen, blieben in den Formeln die Werthe  $As$  = Atomwärme,  $\Delta s$  = relative

Wärme ( $s$ ) berechnet werden, folgende Tabelle, in welcher die beobachteten Werthe von  $s$  beigesetzt sind.

In der folgenden Tabelle sind des Vergleiches halber die Werthe von  $t$ ,  $s$ ,  $A$  und  $\Delta$  nebst den wichtigsten Varianten enthalten.

Elemente	Werthe der spezifischen Wärme ( $s$ )	
	berechnet	beobachtet
Beryllium.....	0·5768	0·5820
Nickel.....	0·1061	0·1056
Kobalt.....	0·1069	0·1067
Mangan.....	0·1188	0·1200
Kupfer.....	0·0938	0·0959
Eisen.....	0·1113	0·1115
Chrom.....	0·1229	0·1100
Rhodium.....	0·0643	0·0580
Iridium.....	0·0348	0·0350
Ruthenium.....	0·0639	0·0611
Osmium.....	0·0355	0·0312
Palladium.....	0·0618	0·0590
Platin.....	0·0329	0·0325
Zink.....	0·0851	0·0909
Titan.....	0·1301	0·1300
Wolfram.....	0·0369	0·0360
Gold.....	0·0328	0·0320
Silber.....	0·0582	0·0570
Aluminium.....	0·2287	0·2185
Molybdän.....	0·0720	0·0720
Lithium.....	0·7972	0·9408
Uran.....	0·0295	0·0277
Kadmium.....	0·0537	0·0550
Arsen (verflüchtigend)....	0·0733	0·0750

Wärme,  $\frac{A}{\Delta}$  = Atomvolumen u. s. w. stehen. Für die Einführung numerischer Werthe setzt man

$$s = 0.95 \sqrt[5]{\frac{T}{A^4 \Delta}}; \quad T = \overline{A s^4 \Delta s}$$

$$As = \sqrt[4]{\frac{T}{\Delta s}}; \quad \Delta s = \frac{T}{A s^4}; \quad \Delta = \frac{T}{A^4 s^5}$$

$$A = \sqrt[4]{\frac{T}{\Delta \cdot s^5}} = \frac{1}{s} \sqrt[4]{\frac{T}{\Delta s}}$$

Elemente	Werthe der specifischen Wärme (s)	
	berechnet	beobachtet
Gallium . . . . .	0·0701	0·0790
Magnesium . . . . .	0·2531	0·2499
Quecksilber . . . . .	0·0260	0·0333
Indium . . . . .	0·0515	0·0569
Schwefel . . . . .	0·1736	0·1764
Zinn . . . . .	0·0494	0·0548
Thallium . . . . .	0·0294	0·0336
Phosphor . . . . .	0·1756	0·1750
Antimon . . . . .	0·0502	0·0492
Selen . . . . .	0·0750	0·0800
Blei . . . . .	0·0296	0·0310
Tellur . . . . .	0·0511	0·0495
Thorium . . . . .	0·0234	0·0276
Wismuth . . . . .	0·0296	0·0305
Cerium . . . . .	0·0463	0·0448
Didym . . . . .	0·0455	0·0456
Lanthan . . . . .	0·0482	0·0449
Natrium . . . . .	0·2540	0·2934
Jod . . . . .	0·0473	0·0541
Chlor . . . . .	0·1473	0·1800
Brom . . . . .	0·0705	0·0850
Strontium . . . . .	0·0885	0·0740
Baryum . . . . .	0·0527	0·0470
Kalium . . . . .	0·1596	0·1655
Rubidium . . . . .	0·0752	0·0770
Cäsium . . . . .	0·0525	0·0480
Germanium . . . . .	[0·0945]	0·0750 (berechnet)
Zirkon . . . . .	[0·0886]	0·0680
Calcium . . . . .	[0·1301]	0·1704

Tabelle der benützten Werthe und deren Varianten.

Elemente	$t^1$ in Graden C.	A	$\Delta$	s
Be . . . .	900 $\left\{ \begin{array}{l} 900 \\ \text{weniger} \end{array} \right.$	9·1	2·0 $\left\{ \begin{array}{l} 1·64 \\ 2·10 \end{array} \right.$	0·4246—0·5820
Ni . . . .	1500 $\left\{ \begin{array}{l} 1400 \\ 1600 \end{array} \right.$	58·2 $\left\{ \begin{array}{l} 57·9 \\ 58·7 \end{array} \right.$	8·8 $\left\{ \begin{array}{l} 8·6 \\ 9·1 \end{array} \right.$	0·1035—0·1092
CO . . . .	1600 $\left\{ \begin{array}{l} 1500 \\ 1800 \end{array} \right.$	58·5	8·8 $\left\{ \begin{array}{l} 8·4 \\ 9·2 \end{array} \right.$	0·1067

<sup>1</sup>  $T = t + 273^\circ$ .

Elemente	$t$ in Graden C.	$A$	$\Delta$	$s$
Mn . . . .	1700 $\left\{ \begin{array}{l} 1600 \\ 1900 \end{array} \right.$	54.5 $\left\{ \begin{array}{l} 53.9 \\ 55.0 \end{array} \right.$	8.0 $\left\{ \begin{array}{l} 8.0 \\ 8.1 \end{array} \right.$	0.1217—0.1250
Cu . . . .	1060 $\left\{ \begin{array}{l} 1050 \\ 1150 \end{array} \right.$	63.2	8.8 $\left\{ \begin{array}{l} 8.8 \\ 8.95 \end{array} \right.$	0.0920—0.0951
Fe . . . .	1500 $\left\{ \begin{array}{l} 1500 \\ 1600 \end{array} \right.$	55.9	7.8 $\left\{ \begin{array}{l} 7.79 \\ 8.01 \end{array} \right.$	0.1081—0.1138
Cr . . . .	1500 $\left\{ \begin{array}{l} 1500 \\ 2000 \end{array} \right.$	52.3	6.8 $\left\{ \begin{array}{l} 6.2 \\ 6.9 \end{array} \right.$	0.1000—0.1200
Rh . . . .	1800 $\left\{ \begin{array}{l} 1750 \\ 2000 \end{array} \right.$	104.1	12.3 $\left\{ \begin{array}{l} 11.3 \\ 12.9 \end{array} \right.$	0.0580
Jr . . . . .	1950 $\left\{ \begin{array}{l} 1900 \\ 2200 \end{array} \right.$	192.6	22.5 $\left\{ \begin{array}{l} 21.5 \\ 22.4 \end{array} \right.$	0.0323—0.0364
Ru . . . .	1800	104.0	12.8 $\left\{ \begin{array}{l} 11.5 \\ 12.9 \end{array} \right.$	0.0611
Os . . . .	2300 $\left\{ \begin{array}{l} 2300 \\ 2500 \end{array} \right.$	198.5 $\left\{ \begin{array}{l} 195 \\ 198.5 \end{array} \right.$	22.5 $\left\{ \begin{array}{l} 22.45 \\ 23.0 \end{array} \right.$	0.0306—0.0313
Pd . . . .	1500 $\left\{ \begin{array}{l} 1370 \\ 1500 \end{array} \right.$	106.0	12.0 $\left\{ \begin{array}{l} 11.4 \\ 12.0 \end{array} \right.$	0.0582—0.0714
Pt . . . . .	1700 $\left\{ \begin{array}{l} 1480 \\ 1800 \end{array} \right.$	194.4	22.1 $\left\{ \begin{array}{l} 21.3 \\ 22.5 \end{array} \right.$	0.0325—0.0339
Zn . . . .	430 $\left\{ \begin{array}{l} 400 \\ 433 \end{array} \right.$	64.9 $\left\{ \begin{array}{l} 64.88 \\ 65.40 \end{array} \right.$	7.0 $\left\{ \begin{array}{l} 6.9 \\ 7.3 \end{array} \right.$	0.0909—0.0932
Ti . . . . .	1600	50.0 $\left\{ \begin{array}{l} 48.1 \\ 50.3 \end{array} \right.$	5.3 . . . .	0.1300
W . . . . .	1700	183.6	19.3 $\left\{ \begin{array}{l} 18.8 \\ 19.3 \end{array} \right.$	0.0350—0.0364
Au . . . .	1050 $\left\{ \begin{array}{l} 1035 \\ 1097 \end{array} \right.$	196.2	19.3 $\left\{ \begin{array}{l} 19.3 \\ 19.6 \end{array} \right.$	0.0316—0.0330
Ag . . . .	950 $\left\{ \begin{array}{l} 916 \\ 1040 \end{array} \right.$	107.7	10.5 $\left\{ \begin{array}{l} 10.48 \\ 10.51 \end{array} \right.$	0.0560—0.0613
Al . . . . .	850 $\left\{ \begin{array}{l} 700 \\ 1000 \end{array} \right.$	27.0	2.6 $\left\{ \begin{array}{l} 2.56 \\ 2.67 \end{array} \right.$	0.2020—0.2253
Mo . . . .	1550 $\left\{ \begin{array}{l} 1580 \\ 1600 \end{array} \right.$	95.8	8.6 . . . .	0.0660—0.0722
Li . . . . .	183	7.0	0.59 . . . .	0.9408
U . . . . .	1500	239.8 $\left\{ \begin{array}{l} 238.5 \\ 240.0 \end{array} \right.$	18.7 . . . .	0.0277
Cd . . . .	500 $\left\{ \begin{array}{l} 315 \\ 500 \end{array} \right.$	111.7	8.65 . . . .	0.0548—0.0557
As . . . .	210	74.9	5.73 $\left\{ \begin{array}{l} 5.53 \\ 5.93 \end{array} \right.$	0.0758—0.0830
Ga . . . .	30	69.5 $\left\{ \begin{array}{l} 68.8 \\ 70.0 \end{array} \right.$	5.96 . . . .	0.0790—0.0802

Elemente	$t$ in Graden C.	$A$	$\Delta$	$s$
Mg . . . .	500 $\left\{ \begin{array}{l} 430 \\ 1050 \end{array} \right.$	23·95 $\left\{ \begin{array}{l} 23·9 \\ 24·4 \end{array} \right.$	1·74 . . . .	0·2450—0·2499
Hg . . . .	-40 $\left\{ \begin{array}{l} -38·5 \\ -40·1 \end{array} \right.$	200·0 . . . .	13·59 $\left\{ \begin{array}{l} 13·55 \\ 13·60 \end{array} \right.$	0·0318—0·0333
Jn . . . . .	176	113·4 . . . .	7·25 $\left\{ \begin{array}{l} 7·2 \\ 7·4 \end{array} \right.$	0·0569
S . . . . .	114 $\left\{ \begin{array}{l} 111 \\ 115 \end{array} \right.$	31·98 . . . .	2·05 $\left\{ \begin{array}{l} 1·92 \\ 2·06 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0·1620 \text{ kryst.} \\ 0·1764—0·1844 \\ \text{geschmolzen} \end{array} \right.$
Sn . . . .	230 $\left\{ \begin{array}{l} 228 \\ 235 \end{array} \right.$	117·5 $\left\{ \begin{array}{l} 117·3 \\ 118·1 \end{array} \right.$	7·25 $\left\{ \begin{array}{l} 7·18 \\ 7·30 \end{array} \right.$	0·0545—0·0562
Tl . . . . .	290 —	203·7	11·86 . . . .	0·0336
P . . . . .	44 $\left\{ \begin{array}{l} 44·2 \text{ hell} \\ 255 \text{ roth} \end{array} \right.$	30·96 . . . .	2·3 $\left\{ \begin{array}{l} 1·77 \\ 2·3 \end{array} \right.$	0·1698
Sb . . . .	440 $\left\{ \begin{array}{l} 425 \\ 450 \end{array} \right.$	11·98 . . . .	6·7 . . . .	0·0486—0·0507
Se . . . . .	217 $\left\{ \begin{array}{l} 150 \\ 250 \end{array} \right.$	78·85 . . . .	4·5 $\left\{ \begin{array}{l} 4·2 \\ 4·8 \end{array} \right.$	0·0762—0·0840
Pb . . . .	330 $\left\{ \begin{array}{l} 322 \\ 335 \end{array} \right.$	206·4 . . . .	11·4 . . . .	0·0306—0·0314
Te . . . .	455	127·8 $\left\{ \begin{array}{l} 125 \\ 127·9 \end{array} \right.$	6·2 . . . .	0·0474—0·0516
Th . . . .	1000 (?)	232·0 $\left\{ \begin{array}{l} 231·9 \\ 233·4 \end{array} \right.$	11·1 $\left\{ \begin{array}{l} 10·6 \\ 11·1 \end{array} \right.$	0·0276
Bi . . . . .	275 $\left\{ \begin{array}{l} 246 \\ 275 \end{array} \right.$	207·5 . . . .	9·82 $\left\{ \begin{array}{l} 9·7 \\ 8·9 \end{array} \right.$	0·0297—0·0303
Ce . . . .	450 $\left\{ \begin{array}{l} 437 \\ \dots \end{array} \right.$	140·8 $\left\{ \begin{array}{l} 140·4 \\ 141·5 \end{array} \right.$	6·5 $\left\{ \begin{array}{l} 6·2 \\ 6·7 \end{array} \right.$	0·0448
Di . . . . .	500 (?)	144·8 . . . .	6·5 . . . .	0·0456
La . . . .	500 (?)	138·5 . . . .	6·2 . . . .	0·0449
Na . . . .	96 $\left\{ \begin{array}{l} 90 \\ 97 \end{array} \right.$	23·0 . . . .	0·97 $\left\{ \begin{array}{l} 0·97 \\ 0·98 \end{array} \right.$	0·2934
J . . . . .	114 $\left\{ \begin{array}{l} 107 \\ 114 \end{array} \right.$	126·6 . . . .	4·94 . . . .	0·0541
Cl . . . . .	-75	35·4 . . . .	1·37 $\left\{ \begin{array}{l} 1·33 \\ 1·38 \end{array} \right.$	0·1214—0·1800
Br . . . . .	-7·3	79·8 . . . .	2·97 $\left\{ \begin{array}{l} 2·97 \\ 3·12 \end{array} \right.$	0·0843—0·0850
Sr . . . . .	550 (?)	87·3 . . . .	2·52 . . . .	0·0740
Ba . . . .	475	136·8 . . . .	3·8 $\left\{ \begin{array}{l} 3·75 \\ 4·00 \end{array} \right.$	0·0470
K . . . . .	60 $\left\{ \begin{array}{l} 58 \\ 62·5 \end{array} \right.$	39·05 . . . .	0·86 . . . .	0·1655
Rb . . . .	38	85·2 . . . .	1·52 . . . .	0·0770

Elemente	$t$ in Graden C.	A	$\Delta$	s
Cs . . . .	27	132·6 . . . .	1·88 . . . .	0·0480 (berechn.)
Ge . . . .	900 $\left\{ \begin{array}{l} 900 \\ \text{V. Meyer} \end{array} \right.$	72·75 . . . .	5·46 . . . .	0·0750 (berechn.)
Zr . . . .	$\left\{ \begin{array}{l} \text{sehr hoch} \\ 2000 (?) \end{array} \right.$	90·0 $\left\{ \begin{array}{l} 89·4 \\ 90·5 \end{array} \right.$	4·15 . . . .	0·0770
Ca . . . .	höher als Sr	40·0 . . . .	1·57 $\left\{ \begin{array}{l} 1·56 \\ 1·88 \end{array} \right.$	0·1672—0·1722

Unter den angeführten 53 Fällen finden sich stärkere Abweichungen zwischen den berechneten und beobachteten Werthen, zunächst bei Chrom, Rhodium, Aluminium, Zinn und Lanthan. Für diese erhält man, wenn die berechneten Werthe den in der zweiten Tabelle enthaltenen Grenzwerten gegenübergestellt werden.

	Werthe von s	
	berechnet	Grenzwerte
Chrom . . . . .	0·1229	0·1000—0·1200
Rhodium . . . .	0·0643	0·0580
Aluminium . . .	0·2287	0·2020—0·2253
Zinn . . . . .	0·0494	0·0545—0·0562
Lanthan . . . . .	0·0482	0·0449

Geringe Änderungen der in die Formel eingesetzten Werthe, namentlich der vielfach wenig genau bestimmten Schmelztemperaturen würden grössere und genügende Annäherungen gestatten. Eine etwas stärkere Abweichung — 0·0851 gegen 0·0909 — zeigt auch hier wieder das sich vielfach eigenthümlich verhaltende Zink, wodurch sich die Frage aufwirft: Bildet dieses Metall überhaupt eine Ausnahme oder sind die Constanten an unreinem Metalle bestimmt? Die Unterschiede, welche sich bei Lithium, Natrium, Kalium und Rubidium ergeben, erklären sich einfach dadurch, dass die praktisch bestimmten Werthe der specifischen Wärme dem Schmelzpunkte nahe genommen, damit zu hoch sind. Für Cäsium ist der Werth von s aus der angenommenen Atomwärme berechnet. Für Selen scheint der berechnete Werth von s für niederere Temperatur zu stimmen. Bei Quecksilber und Jod findet Übereinstimmung statt, wenn an die Stelle der Schmelz- die Siedetemperatur tritt, was bei diesen Elementen mit niederer



Schmelztemperatur dadurch erklärbar wird, dass bei den Elementen in der Nähe der Schmelzpunkte die spezifische Wärme zunimmt. Für Strontium, Baryum, Germanium, Zirkon und Calcium sind mindestens ein Theil der Constanten zu wenig genau bestimmt, um als sichere Werthe bei der Rechnung zu dienen.

Unter den nicht in der Liste aufgenommenen Elementen stehen Kohlenstoff und Bor obenan. Beide besitzen die Eigenthümlichkeit, mit den zu Gebote stehenden Hilfsmitteln nicht schmelzbar zu sein und bei gewöhnlicher Temperatur für die spezifische Wärme Werthe von geringer Grösse zu zeigen. Wie H. F. Weber u. A. zeigten, steigen letztere Werthe stark mit der Temperatur. Beispielsweise betragen die Werthe von  $s$  für

	bei 0—100°	0—200°	600°	980° C.
Holzkohle . . . . .	0·1935	0·2385	—	—
Graphit (von Ceylon) . . . . .	0·1990	0·2970	0·4400	0·4670
Diamant . . . . .	0·1765	0·2700	0·4400	0·4590
Bor, krystallisirt . . . . .	0·2737	0·3663	—	—

Da für Kohlenstoff bei nahe 1000° C. die Atomwärme auf 5·6, bei Bor auf 4·0 bei 233° steigt, darf geschlossen werden, dass nahe dem Schmelzpunkte auch bei diesen Elementen die Atomwärme dem für die übrigen annähernd (im Mittel) 6·4 nahe komme. Gestützt auf diese Annahme berechnet sich für Kohlenstoff die Schmelztemperatur zu 3500, für Bor zu 3200° vom natürlichen Nullpunkte an gerechnet.<sup>1</sup> Für Vanadium, Niobium und Tantal fehlen die Bestimmungen der Werthe von  $t$  und  $s$ . Für Silicium berechnet sich  $s=0·2508$ , wenn  $T=2000°$ , für Germanium  $s=0·0945$ , wenn  $T=1170°$  gesetzt wird. Beide Werthe sind zu gross. Sie würden kleinere Werthe von  $T$  erfordern, während bei Calcium bei einer Annahme von  $T=2000°$ ,  $s=0·1301$  oder bedeutend zu nieder gegenüber dem für  $s$  sonst angenommenen Werthe sich berechnet. Für Zirkon wird bei der Annahme  $T=2000°$ ,  $s=0·0886$ , somit zu hoch. Bei Thorium würde ein etwas

<sup>1</sup> Die Eigenthümlichkeit der steigenden Werthe von  $s$  mit zunehmender Temperatur zeigt, dass der obigen Formel V ein diese berücksichtigendes Glied enthalten sollte.

höherer Werth für  $T$  als  $1200^\circ$ , dem von Nilson bestimmten Werthe  $s = 0.0276$  entsprechen. Da leider für die zuletzt angeführten Elemente ein Theil der physikalischen Constanten, namentlich hinsichtlich der Schmelztemperatur, mangelhaft sind oder ganz fehlen, so können auch die damit berechneten Werthe nicht zu einer Kritik der Formel benützt werden. Immerhin stehen die gefundenen, wenn auch von den zu erwartenden abweichenden Werthe nicht im Widerspruche; sie sprechen nicht direct gegen die Zulässigkeit der Formel.

Nach S. Wroblewski erstarrt Stickstoff bei  $-203^\circ$ , hat dabei die Dichte  $0.9$ , ein Atomvolumen von  $15.5$ , woraus sich  $s = 0.2892$  berechnet; Sauerstoff bei  $-200^\circ$ , wobei  $\Delta = 1.24$ ,  $\frac{A}{\Delta} = 12.9$  ist, so dass sich  $s = 0.2336$  berechnet. Nach Delaroche und Bérard betragen diese Werthe: für Stickstoff  $s = 0.2754$  und für Sauerstoff  $s = 0.2361$ .

Für folgende Legirungen ergibt sich folgende Zusammenstellung:

Metalle	$t$	$\Delta$	$\Delta$	$s$ berechnet	$s$ beobachtet
PbBi	141.2°	8.759	207	0.0369	0.0400
SnPb	241	9.387	162	0.0429	0.0410
Sn <sub>2</sub> Bi	167.7	8.085	148	0.0462	0.0450
Sn <sub>2</sub> Pb	196	8.777	147	0.0464	0.0451
Messing	900	8.60	64	0.0963	0.0939

Für diese Fälle stimmt die Formel somit ebenfalls.

Hat die Formel V und deren Benützung eine naturgemässe Berechtigung, dann muss sie sowohl bei den Verbindungen, wie bei den einfachen Elementen genügen oder doch ohne wesentliche Änderungen sich denselben anpassen lassen.

Aus dem Gebiete der Verbindungen seien folgende Beispiele angeführt, für welche in der Berechnung an die Stelle der Atomgewichte die mittleren Werthe der einzelnen Bestandtheile treten.

Die Werthe von  $\Delta$  sind die Mittelwerthe der einzelnen Elemente, z. B.

Messing  $\frac{65.18 + 63.17}{2} = 63.6$ , Sn<sub>2</sub>Bi  $\frac{117.5 \cdot 2 + 207 \cdot 5}{3} = 147.5$  u. s. w.

	Schmelz- temperatur (t)	Dichtig- keit $\Delta$	Specifische Wärme s	
			berechnet	beobachtet
Salpetersaures Natron . . . . .	311°	2·23	0·263	0·278
Kali . . . . .	339	2·06	0·240	0·240
Zinnober . . . . .	360 (Verdampfung)	8·06	0·058	0·051
Bleichlorid . . . . .	500	5·80	0·068	0·067
Bleibromid . . . . .	499	6·61	0·052	0·053
Kaliumchlorid . . . . .	734	1·98	0·183	0·173
Natriumchlorid . . . . .	772	2·15	0·221	0·214
Calciumchlorid . . . . .	720	2·22	0·179	0·164
Silberchlorid . . . . .	453	5·55	0·090	0·091
Kaliumjodid . . . . .	634	2·91	0·087	0·082
Silberjodid . . . . .	527	5·03	0·058	0·062
Bleijodid . . . . .	385	6·16	0·043	0·043
Quecksilberchlorid . . . . .	290	5·42	0·066	{ 0·064 0·069
Chlorcalcium . . . . .	285	2·04	0·228	{ 0·165 0·345
Schwefelkohlenstoff . . . . .	— 110	1·28	0·210	0·235
	Siede- temperatur			
Schwefelkohlenstoff . . . . .	46·0	1·28	0·228	0·235
Wasser . . . . .	100	1·00	0·466	0·481

(bei Dampf)

Für diese Verbindungen, für welche die nothwendigen Bestimmungen der physikalischen Constanten aufzufinden waren, gibt die Formel ebenfalls sehr befriedigende Resultate.

Zur Verwendung der Formel bei organischen Verbindungen kann in vielen Fällen der mittlere Werth der Atomwärme (mittlere Atomwärme der Moleküle) gleich 5·32 gesetzt und, wie auch schon in vorhergehenden Beispielen, die Constante 1·28 vernachlässigt werden, wodurch einfach

$$s = \frac{T}{800 \Delta} \quad (\text{anstatt } s = 0\cdot95 \sqrt[5]{\frac{T}{A^4 \Delta}} \text{ wird.})$$

Man erhält beispielsweise bei:

	Siede- temperatur	Dichtigkeit	Specifische Wärme	
			berechnet	beobachtet
Aceton . . . . .	56°4	0·813	0·506	0·482—0·530
Äther . . . . .	34 9	0·728	0·530	0·548—0·529
Äthylacetat . . . . .	77	0·907	0·482	0·496

	Siede- temperatur	Dichtigkeit	Specifische Wärme	
			berechnet	beobachtet
Äthylchlorid . . . . .	12°	0·921	0·389	0·427
Äthyljodid . . . . .	72	1·976	0·212	0·172
Äthylbromid . . . . .	131·5	2·180	0·233	0·176
Alkohol . . . . .	78·3	0·806	0·545	0·506—0·610
Benzol . . . . .	80·4	0·900	0·490	0·436
Bernsteinsäure . . . . .	235	1·552	0·410	0·313
Chloroform . . . . .	61	1·493	0·280	0·236
Essigsäure . . . . .	118	1·070	0·458	0·459
Methylalkohol . . . . .	66·2	0·796	0·532	0·590
Olivenöl . . . . .	315	0·918	0·430	0·438
Terpentinöl . . . . .	161	0·875	0·618	0·510—0·613 <sup>1</sup>
Amylalkohol . . . . .	131	0·820	0·616	0·564—0·694

	Schmelz- temperatur <i>t</i>	Dichtigkeit $\Delta$	Specifische Wärme <i>s</i>	
			berechnet	beobachtet
Äthylbromid . . . . .	99·5	2·180	0·162	0·176
Bernsteinsäure . . . . .	180	1·552	0·365	0·313
Mannit . . . . .	162	1·488	0·365	0·324
Nitrobenzol . . . . .	2·0	1·190	0·287	0·347
Rohrzucker . . . . .	170	1·600	0·362	0·342
Weinsäure . . . . .	135	1·764	0·270	0·288

	Schmelz- temperatur <i>t</i>	Dichtigkeit $\Delta$	Berechnete specifische Wärme	
			nach: Formel	Bestandtheile
Kampfer . . . . .	175°	0·985	0·580	0·497
Kautschuk . . . . .	120	0·925	0·531	0·562
Naphthalin . . . . .	80	1·145	0·385	0·346
Nitroglycerin . . . . .	6	1·600	0·220	0·280
Phenol . . . . .	35	1·065	0·364	0·376

Trotz der Vereinfachung, welche nur eine Annäherung gestatten kann, sind berechnete und beobachtete Werthe in den wenigeren Fällen bedeutend von einander abweichend. Die Abweichungen sind bald positiv, bald negativ und stimmen selbst annähernd für jene Verbindungen, für welche dem Verfasser keine beobachteten Werthe für die specifische Wärme

<sup>1</sup> Bei Terpentinöl gilt 0·613 für eine Temperatur von 160°.

vorliegen, sondern wofür sie erst aus den Bestandtheilen berechnet werden mussten. Selbstverständlich macht sich deutlich der Einfluss der Bestimmung der specifischen Wärme bei verschiedenen Temperaturen geltend. Bei der Bernsteinsäure ist beispielsweise der Werth derselben weit unterhalb, bei Äthylenbromid und Nitrobenzol etwas über dem Schmelzpunkte bestimmt. Bei den letzteren weichen Rechnung und Beobachtung im gleichen, bei der ersteren der drei Verbindungen im umgekehrten Sinne von einander ab. Dass es somit nicht gleich ist, ob die Schmelz- oder die Siedetemperaturen für die Werthe von  $t$  zu Grunde gelegt werden, ist selbstverständlich. Liegen dieselben nicht sehr weit auseinander, dann ist der Unterschied weniger fühlbar. Es sollte für genauere Bestimmungen auch in diesen Fällen auf die Temperaturen, bei welchen die Werthe der specifischen Wärme bestimmt wurden, in der Formel Rücksicht genommen werden. Für vorliegenden Zweck sehen wir davon ab.

Berechnet man die Werthe der specifischen Wärme unter Zugrundelegung der Siedepunkt-Temperaturen soweit dieselben für die Elemente genauer bestimmt sind, dann erhält man:

	Siede- temperatur	Dichtig- keit	Specifische Wärme		
			berechnet	beobachtet	
				flüssig	fest
Antimon . .	1300° (v. Meyer)	6·7	0·064	—	0·052
Brom . . . . .	60	2·97	0·077	0·105	0·084
Kadmium . .	860	8·60	0·062	0·064	0·056
Jod . . . . .	200	4·95	0·052	—	0·054
Phosphor . .	290	1·83	0·202	0·205	0·190
Quecksilber	357	13·54	0·031	0·033	0·032
Schwefel . .	440	2·05	0·202	0·234	0·203
Zink . . . . .	940	7·15	0·099	—	0·096
Selen . . . . .	670	4·80	0·087	—	0·076
Magnesium	1100	1·75	0·297	. . . . .	0·263
	(Verflüchtigung)				
Indium, Rothglut. .	900—1000	7·15	0·063	. . . . .	0·088 (Ditt)
		7·15	0·064	. . . . .	0·057 (Bunsen)

Diese Zusammenstellung bestätigt, dass mitunter die höheren Temperaturen geeigneter sind zur Bestimmung der

specifischen Wärme, wie nach früher Gesagtem zu erwarten war. Hier stimmen die berechneten und beobachteten Werthe bei Quecksilber, Zink u. s. w., während die Schmelztemperaturen zu niedere Werthe ergaben. Bei Quecksilber ist die Ursache — die Bestimmung der specifischen Wärme über dem Schmelzpunkte — sofort klar. Bei Zink muss auf das früher Gesagte verwiesen werden.

Die aufgeführten Beispiele genügen, um darzulegen, dass sich die Formel den verschiedenartigsten Verhältnissen anpasst oder anpassen lässt. Abweichungen ergeben sich bald nach der einen, bald nach der andern Seite hin; im Ganzen aber sind dieselben in Anbetracht der bestehenden, nur durch eingehende und weitläufige Versuche zu überwindenden Ungleichförmigkeiten der Beobachtungen und Resultate derselben nicht gross; niemals ergibt sich ein direct widersprechendes Resultat. Neuere Versuche ergaben nie grössere, sondern umgekehrt stets geringere Unterschiede. Uran stimmte früher sehr schlecht; nach den von Herrn Cl. Zimmermann schriftlich mitgetheilten Resultaten seiner Untersuchungen verschwanden die Unterschiede.

In den meisten Fällen liessen sich durch geringe Änderungen des einen oder des andern der in die Formeln eingesetzten Werthe die Unterschiede zwischen berechneten und beobachteten Werthen zum Verschwinden bringen, was absichtlich vermieden wurde, um Willkürlichkeiten, wenn auch nur scheinbare, zu verhüten. In vereinzelt Fällen, z. B. bei Borax, gibt die Formel  $s = 0.332$ , die Beobachtung  $0.229$ , bei Phosphortrichlorid  $s = 0.166$  gegenüber  $0.209$  u. dergl., wobei im ersten Falle der berechnete zu dem beobachteten Werthe sich wie  $3 : 2$ , im zweiten wie  $4 : 5$  verhält. Derartige Abweichungen dürfen der unrichtigen Bestimmung der in der Gleichung für das Atomgewicht ( $A$ ) eingeführten Werthen zugeschrieben werden.

Eine vollständige Übereinstimmung kann mit Hilfe der jetzt vorliegenden Beobachtungsmaterialien, ohne Willkürlichkeiten dabei zu begehen, auf keinen Fall, wenn selbst eine vollständig naturgemässe Formel vorliegt, erreicht werden, da die zur Verfügung stehenden Werthe oft gegen alles Erwarten

schwanken und von einander abweichen, wobei namentlich das Gesetz der Veränderlichkeit der specifischen Wärme mit der Temperaturänderung bekannt sein müsste, oder doch weit eingehendere, sich über alle Elemente gleichmässig wie über eine grosse Anzahl von Verbindungen erstreckenden Untersuchungen nothwendig wären. Es müssten ferner die Werthe der Schmelz- und Siedetemperaturen, namentlich bei strengflüssigen Körpern, ja in vielen Fällen sogar die Dichtigkeiten genauer bestimmt werden. Die Einführung eines die specifische Wärme bei verschiedenen Temperaturen betreffenden Gliedes in die Formel V würde wenig Schwierigkeiten machen; unter den vorliegenden Verhältnissen aber auch nutzlos sein.

Die Übereinstimmung der hier angeführten, mit Hilfe der Formel V, wie mit der Stammformel IV abgeleiteten Werthe mit den beobachteten ist so gross, dass die Annahme gestattet erscheint: Es bestehen in der That ähnliche Beziehungen zwischen den physikalischen und damit auch den chemischen Eigenschaften der einfachen und zusammengesetzten Körper, wie solche durch die Formeln ausgesprochen werden; die dabei zu Grunde liegenden Gesetze scheinen nicht sehr complicirt zu sein und die Formeln selbst geben den allgemeinen Ausdruck der dabei bestehenden Gesetze.

Es sei vorläufig hier darauf aufmerksam gemacht, dass die erste Formel  $K = 100\Delta \left(\frac{\alpha}{\varepsilon}\right)^2$  der Newton'schen Attractionsformel ähnlich ist. An die Stelle der Massen tritt die Dichtigkeit, an die Stelle der Entfernungen der Anziehungscentren treten die Verhältnisse der Elasticitäts- und Wärme-Ausdehnungscoëfficienten  $\left(\frac{\varepsilon}{\alpha}\right)$ . Während bei der Bewegung der Weltkörper nach Newton's Gesetz vorausgesetzt wird, dass der Anziehung die Centrifugalkraft entgegenwirkt, um jene in ihren Bahnen zu erhalten, macht sich in unserer Formel schon die zweite Kraft geltend, indem auf den Einfluss der Wärme Rücksicht genommen werden muss.

In den körperlichen Gebilden stehen sich die Cohäsions- und Wärmewirkungen entgegen, wie bei

der Bewegung der Weltkörper Centrifugal- (Tangential-) Kraft und Centripetalkraft. Von dem Überschusse der Anziehung der kleinsten Theilchen über die Wärmewirkung, von dem Gleichgewichte beider oder von dem Überschusse der Wärmewirkung über die Anziehung hängt der feste, flüssige oder gasförmige Aggregatzustand der Körper ab.

Gäbe man der Formel V die Form

$$A^3 s^3 \cdot \frac{A}{\Delta} = \frac{T}{\Delta^2 s^2},$$

dann würde: das Product aus dem Atomvolumen mal der dritten Potenz der Atomwärme gleich der Schmelztemperatur durch das Quadrat der relativen (specifischen Wärme bei gleichem Volumen) dividirt, oder nach der Form

$$A^4 \cdot s^4 = \frac{T}{\Delta \cdot s}$$

müsste der Werth von  $T:\Delta s$ , die Schmelztemperatur vom natürlichen Nullpunkte aus gemessen durch die relative Wärme (entsprechend dem Dulong'schen Gesetze:  $A s$  nahe constant) annähernd constant sein. Inwiefern dies der Fall ist, zeigen folgende Werthe von  $A s$ , welche unter Benützung der Constanten 0.95 berechnet sind.

	berechnet	beobachtet		berechnet	beobachtet
Eisen . . . . .	6.4	6.3	Magnesium . . .	6.4	6.0
Gold . . . . .	6.4	6.2	Blei . . . . .	6.5	6.4
Silber . . . . .	6.4	6.2	Wismuth . . . .	6.2	6.4
Kupfer . . . .	6.0	6.1	Zinn . . . . .	5.7	6.5
Aluminium . .	6.4	6.0	Selen . . . . .	6.3	6.3
Kadmium . . .	5.7	6.2	Jod . . . . .	5.8	6.4

Um zu zeigen, inwiefern obige Formel und selbst deren bei organischen Verbindungen benützte Annäherung  $\frac{T}{\Delta s} = 800$  sich auf organische Verbindungsreihen anwenden lässt, seien folgende Zusammenstellungen angeführt.



Siedepunkt T (Siede-)	Dichte Δ	Specifiche Wärme s	Siedepunkt vom gewöhnlichen Null- punkte t <sub>1</sub> (Siede)	Specifiche Wärme s <sub>1</sub> berechnet nach (T Siede) $s_1 = \frac{T}{800 \Delta}$
Methylalkohol . . . . . 66 (2)	0·8142 bei 0°	{ 0·590 beobachtet 0·590 berechnet aus den Elementen. . . CH <sub>4</sub> O . . .	61 + 0·5·6 = 61	0·532
Äthylalkohol . . . . . 78 (78·3)	0·8095 » 0	{ 0·505—0·610 beob. 0·590 bei 17°; 0·545 nach Wüllner	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O . . . . . 61 + 3·5·6 = 78	0·545
Propylalkohol . . . . . 96	.....	.....	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O . . . . . 61 + 6·5·6 = 95	.....
Butylalkohol . . . . . 109	0·8032 » 18·5	.....	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O . . . . . 61 + 9·5·6 = 110	0·594
Amylalkohol . . . . . 130—134 (131)	0·8248 » 0	0·564—0·694 beob. . .	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O . . . . . 61 + 12·5·6 = 128	0·616
Caproylalkohol . 148—154	0·833 » 0	.....	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O . . . . . 61 + 15·5·6 = 145	0·629
Önanthylalkohol . . . . .	.....	.....	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O . . . . . 61 + 18·5·6 = 162	.....
Caprylalkohol . . 178—180	0·823 » 17	{ 0·605 berechnet aus den Elementen. . . C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O . . .	61 + 21·5·6 = 179	0·686
Ameisensäure . . . . . 100	1·22	.....	CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . . . . . 100 + 0·6·7 = 100	0·382
Essigsäure . . . . . 119 (118)	1·070	0·459 beobachtet . . .	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> . . . . . 100 + 3·6·7 = 120	0·466
Propionsäure . . . 139·5	1·0161 bei 0°	.....	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> . . . . . 100 + 6·6·7 = 140	0·500
Buttersäure . . . . 161·7	1·5183 » 0	.....	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> . . . . . 100 + 9·6·7 = 160	0·382 (?)
Valeriansäure . . . 174·5	0·9555 » 0	.....	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub> . . . . . 100 + 12·6·7 = 180	0·583
Benzol . . . . . 80—82	0·89 bei 5—10°	{ 0·3999 bei 5—30° 0·4360 » 20—30	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> . . . . . 80 + 0·8 = 80	0·490
Toluol . . . . . 104—106	.....	.....	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> . . . . . 80 + 3·8 = 104	.....
Xylol . . . . . 128	.....	.....	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> . . . . . 80 + 6·8 = 128	.....
Cumol . . . . . 152	.....	.....	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> . . . . . 80 + 9·8 = 176	.....
Cymol . . . . . 176	.....	.....	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> . . . . . 80 + 12·8 = 176	.....

	$T$ (Siede)	$\Delta$	$s$	
			berechnet aus Elementen	berechnet nach $\frac{T}{800\Delta}$
Octan .....	121	0·732	0·62—0·68	0·67
Nonan.....	136	0·742	0·63—0·69	0·69
Dekan.....	151	0·760	0·65—0·70	0·70

	$T$ (Siede)
Octan $C_8H_{18}$ .....	121 = 121+0·5
Nonan $C_9H_{20}$ .....	136 = 121+3·5
Dekan $C_{10}H_{22}$ .....	151 = 121+6·5

Mit Hilfe der verschiedenen oben angeführten Gleichungen lassen sich eine Reihe von Combinationen von oft sehr einfacher Form herstellen und Beziehungen zwischen den einzelnen Eigenschaften der Körper darstellen. Die verschiedenen sich ergebenden Formeln legen dar:

dass Atomgewichte, Atomvolumina, Atomwärmewerthe u. dergl. allein nicht genügen, um eine allgemein giltige Gesetzmässigkeit zu ergründen. Nothwendig erscheint dazu die Combination von mindestens vier Elementen der Eigenschaften, wenn nicht eine allgemeine Annäherung genügen soll.

Behufs genauer Darstellung der Werthe irgend einer Eigenschaft wird aus den oben bezüglich der specifischen Wärme schon angeführten Gründen jede Formel weit complicirter, wie dies auch bei der Anwendung der einfachen Bewegungs- und Anziehungsgesetze Kepler's und Newton's hinsichtlich der Einführung der Massen und Geschwindigkeiten der Fall ist und jeder Versuch zu grösserer Annäherung lehrt.

Zur Begründung des Gesagten mögen einige Beispiele folgen.

Grove hatte (in »Verwandtschaft der Naturkräfte«, deutsch von Schaper) ausgesprochen: »Die specifische Wärme der Metalle stehe in keinem Verhältniss zu ihrer Dichte oder ihrer Ausdehnungscoëfficienten«. Von dem Gegentheile muss das Vorhergehende überzeugen; aber auch davon, dass ohne Herbeiziehung weiterer Eigenschaften nicht zum Ziele zu gelangen ist

Annähernd genügt indessen schon die Formel

$$K = 70 \cdot \overline{\Delta s^2} - 6$$

zur Bestimmung der absoluten Festigkeit der Metalle, ohne dass ein viertes Element eingeführt wird. Setzt man die Constanten von  $\Delta$  und  $s$  für die verschiedenen Metalle ein, dann erhält man für  $K$  die Werthe bei

Eisen . . . . .	49	Kadmium . . . . .	12	Zinn . . . . .	5·6
Kupfer . . . . .	43	Gold . . . . .	17	Blei . . . . .	2·6
Messing . . . . .	38	Silber . . . . .	16	Antimon . . . . .	2·1
Platin . . . . .	29	Aluminium . . . . .	14	Wismuth . . . . .	0·7
Palladium . . . . .	27	Zink . . . . .	12	Stahl . . . . .	54 <sup>1</sup>

oder Werthe, welche sich der Erfahrung schon ordentlich nähern.

Nach Cantoni (Manuale di fisica) stellt sich das Verhältniss der relativen Wärme ( $\Delta s$ ) zum Elasticitätscoëfficienten ( $\epsilon$ ) für alle nicht krystallisirten Metalle nahe constant (1·36). Bei den dem Verfasser vorliegenden Zahlen finden jedoch bedeutende Abweichungen statt, während weit näher constante Werthe erhalten werden durch die Producte  $\Delta s \cdot \sqrt{\epsilon}$  oder  $\Delta s \cdot \sqrt[3]{\epsilon}$  (nahe 0·0068 oder 0·027).

Man erhält beispielsweise nach Einsetzen der betreffenden Werthe für

	$\Delta s \cdot \sqrt{\epsilon}$	$\Delta s \cdot \sqrt[3]{\epsilon}$
Eisen . . . . .	0·0064	0·032
Kupfer . . . . .	0·0081	0·037
Palladium . . . . .	0·0068	0·028
Platin . . . . .	0·0056	0·027
Silber . . . . .	0·0070	0·031
Gold . . . . .	0·0075	0·033
Aluminium . . . . .	0·0065	0·027
Zinn . . . . .	0·0065	0·025
Blei . . . . .	0·0086	0·029 u. s. w.

ferner für

Zink . . . . .	0·0077	0·035
Wismuth . . . . .	0·0056—0·0060	0·021
Antimon . . . . .	0·0046	0·024

<sup>1</sup> Bei Stahl ist  $\Delta = 7·85$  und  $s = 0·118$  gesetzt.

für zusammengesetzte Körper

	$\Delta s$	$\varepsilon$	$\Delta s \cdot \sqrt{\varepsilon}$	$\Delta s \sqrt[3]{\varepsilon}$
Stahl .....	0·91	0·0000333	0·0052	0·029
		591	70	6·035
Gusseisen .....	0·93	0·0001000	0·0082	0·041
		1015	93	
Messing .....	0·79	0·0001563	0·0093	0·042
Glas .....	0·30	0·0001450	0·0036	0·016

Da  $\frac{A}{\Delta} \cdot \Delta s =$  nahe constant ist, im Mittel gleich 6·4 gesetzt werden kann, so müssen auch  $\frac{A}{\Delta} \sqrt{\varepsilon}$  und  $\frac{A}{\Delta} \sqrt[3]{\varepsilon}$  nahe constant sein.

Man wird indessen hierbei, wie im vorhergehenden Falle, selbst nicht durch Änderung der einzelnen Werthe innerhalb der Versuchsgrenzen eine volle Übereinstimmung erzielen, da die bestehenden Beziehungen nicht so sehr einfacher Natur sind.

Ähnlich verhält es sich mit dem Ausdrucke  $\sqrt{\alpha} \cdot \sqrt[3]{T} = 0·044$  im Mittel. Man erhält für

Eisen .....	0·043	Gold .....	0·042
Kupfer .....	0·046	Zink .....	0·048
Palladium .....	0·040	Kadmium .....	0·048
Platin .....	0·036	Blei .....	0·045
Silber .....	0·048	Nickel .....	0·044
Kobalt .....	0·043	Indium .....	0·043
Magnesium .....	0·046	Selen .....	0·048 u. s. w.

dagegen für

Aluminium .....	0·065	Wismuth .....	0·029
Schwefel .....	0·056	Antimon .....	0·029
Zinn .....	0·035	Phosphor .....	0·026
Rhodium .....	0·034	u. s. w.	
Iridium .....	0·034		

Ferner schliessen sich an:

	$\alpha$	$T$	$\sqrt{\alpha} \sqrt[3]{T}$
Stahl .....	0·0000113	1673	0·042
Gusseisen .....	109	1473	0·040
Messing .....	182	1200	0·044

	$\alpha$	$T$	$\sqrt{\alpha} \sqrt[3]{T}$
Bronze .....	180	1173	0·044
Phosphorbronze .....	180	1200	0·045
Glas .....	} 0·0000078	1273	0·030
		94	1673
Eis .....	0·000052	273	0·046

Ohne durch Änderungen einzelner Werthe eine grössere Gleichförmigkeit der Werthe anzustreben, stimmen eine grössere Anzahl der Stoffe nahe zu dem Mittel; eine andere Zahl weicht allerdings stark ab. In den meisten Fällen dehnen sich die Extreme nicht über die Grenzen aus, welche Pictet's Formel  $\alpha \cdot T \cdot \sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}}$  für die chemischen Elemente ergeben. Die letzteren Werthe schwanken zwischen 3·5 und 6·6 oder im Verhältniss von 1:1·9, während nach dem Producte  $\sqrt{\alpha} \cdot \sqrt[3]{T}$  nur ausnahmsweise diese Grenzen erreicht werden. Bei einzelnen Stoffen mögen neuere Bestimmungen der Constanten die Reihe vielleicht noch etwas mehr ausgleichen, wie bei reinem Aluminium, bei Antimon, Wismuth u. s. w. Glas wird bei der angegebenen Temperatur nicht eigentlich flüssig.

Im Allgemeinen bestätigen die angeführten Beispiele, dass zur genauen Darstellung einzelner physikalischer Constanten aus andern gegebenen nicht die allereinfachsten Formeln, nicht zwei Elemente, zur Bestimmung genügen.

Bei der Untersuchung der Eigenschaften des Wassers stösst man dadurch auf Schwierigkeiten, dass der Werth von

$$s = 1\cdot00 \text{ in flüssigem}$$

$$s = 0\cdot475 - 0\cdot504 \text{ in festem und}$$

$$s = 0\cdot469 - 0\cdot481 \text{ in dampfförmigem}$$

Zustande ist.

Setzt man für Wasser ( $H_2O$ ) das Atomgewicht zu

$$\frac{1\cdot2 + 16}{3} = 6,$$

dann wird

$$\text{bei Wasser} \dots \dots \dots As = 6$$

$$\text{bei Eis und Dampf} \dots \dots \dots As = \text{nahe } 3,$$

oder es müssten sich die Werthe von  $A$  in den letzteren Fällen verdoppeln, um die mittlere Atomwärme in allen drei Fällen auf den gleichen Werth zu bringen.

$$\text{Setzt man in der Formel } s = 0.95 \sqrt{\frac{T}{A^4 \Delta}}$$

bei  $\Delta = 1$  (Wasser)  $\Delta = 0.90$  (Eis)

$$T = 0 + 273^\circ, \text{ dann wird } s = 0.732 \quad 0.751$$

$$T = 100 + 273^\circ, \quad \gg \quad s = 0.780 \quad 0.800$$

wenn  $A = 6$  gesetzt wird.

Die auf diesem Wege bestimmten Werthe für  $s$  bilden nahezu das Mittel aus denjenigen für Wasser und Eis oder Dampf.

Kopp berechnete für den Werth von  $As$  in festen Verbindungen 4.0 bei Sauerstoff und 5.88 (aus Palladiumwasserstoff) für Wasserstoff und setzt die Atomwärme des Wassers in wasserhältigen Verbindungen derjenigen des Eises gleich.

Die abgekürzte Formel  $s = \frac{T}{800 \Delta}$  gibt bei  $T = 373^\circ$ ,  $s = 0.518$ ,<sup>1</sup> wenn  $\Delta = 0.90$  gesetzt wird.

Nach den Kopp'schen Werthen würde (nach Wöstyn's Regel)

$$s = \frac{2.5 \cdot 88 + 1.4 \cdot 0}{2.1 + 1.16} = \frac{15.76}{16} = \text{rund } 1;$$

rechnet man indessen nach der specifischen Wärme der Gase, dann wird

$$s = \frac{2.1 \cdot 3 \cdot 405 + 1.16 \cdot 0 \cdot 218}{2.1 + 1.16} = 0.572.$$

Auf diesen Wegen lassen sich annähernd die Werthe von  $s$  für verschiedene Fälle berechnen, jedoch für den merkwürdigen Wechsel derselben bei dem Wasser nicht direct auswählen, da  $s$  bei Eis und Dampf geringer ist als bei Wasser. Bei fast allen bekannten Körpern nimmt  $s$  mit den Temperaturen zu,

<sup>1</sup> Bei  $T = 273^\circ$  und  $\Delta = 1$  wird  $s = 0.381$ .

während bei der Verbindung H<sub>2</sub>O ein Sprung eintritt, wenn sie flüssig wird und wieder ein Rückgang bei Eintritt in den dampfförmigen Zustand. Es müssen bei diesen Vorgängen Umlagerungen stattfinden, welche wohl zwei verschiedene Formeln erfordern dürften.

Aus der Beziehung  $\frac{\varepsilon}{\alpha} = 7 \cdot \left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{1}{Ts}\right)^{\frac{1}{3}}$  lassen sich nicht nur annähernd mindestens die Werthe von  $\varepsilon$  und  $\alpha$  bestimmen, sondern es lassen sich, wie aus anderen Beziehungsformeln, eine Reihe eigenthümlicher Beziehungen ableiten. Man erhält für

	$\sqrt{\frac{A}{\Delta}}$	$\sqrt[3]{\varepsilon}$	$\sqrt{\frac{A}{\Delta}} : \sqrt[3]{\varepsilon}$ oder $\sqrt{\Delta s}$	$\sqrt{\Delta s} \cdot \sqrt[3]{\varepsilon}$
Eisen . . . . .	2·7	0·037	73	0·93
Kupfer . . . . .	2·7	44	61	0·92
Platin . . . . .	3·0	38	79	0·83
Zink . . . . .	3·0	51	60	0·71
Silber . . . . .	3·2	52	61	0·77
Gold . . . . .	3·2	54	60	0·79
Aluminium . . . . .	3·2	52	61	0·74
Kadmium . . . . .	3·6	61	60	0·70
Zinn . . . . .	4·1	63	65	0·64
Blei . . . . .	4·3	82	51	0·60
Antimon . . . . .	4·2	64	66	0·58
Wismuth . . . . .	4·6	71	64	0·74
			$M = 62$	$M = 0·040$

Hinter »oder« ist eine noch aus früher gegebenen Beziehungen erhaltenen Reihe der Werthe ( $\sqrt{\Delta s}$  und  $\sqrt{\Delta s} \cdot \sqrt[3]{\varepsilon}$ ) angeführt. Es sind somit die Werthe  $\sqrt{\frac{A}{\Delta}} : \sqrt[3]{\varepsilon}$  und von  $\sqrt{\Delta s} \cdot \sqrt[3]{\varepsilon}$  nahe constant, wie dies auch das Dulong'sche Gesetz verlangt, sobald eine der Reihen eine gewisse Constanz zeigt.

Man würde sich indessen täuschen, wollte man derartige Werthe constant setzen; so wenig darf man dies, als bei dem Werthe von  $\Delta s$  bei genaueren Rechnungen. Setzt man beispielsweise  $\sqrt{\frac{A}{\Delta}} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{\varepsilon}} = 62$  und entwickelt damit den Werth von  $\alpha$  aus obiger Formel

$$\alpha = \frac{A}{\Delta} \frac{\sqrt[3]{Ts}}{1.750000},$$

dann erhält man für

	Werthe von $\alpha$	
	berechnet	beobachtet
Eisen .....	0.000024	0.000012
Kupfer .....	21	18
Silber .....	23	20
Zinn .....	28	21
Blei .....	27	29
Antimon .....	34	11

u. s. w.

Obwohl einzelne Werthe gut stimmen, wird doch der Beweis geliefert, dass man nicht ohne Weiteres derartige Constanten, wie sie sich oben fanden, setzen darf.

Bezüglich der Werthe von  $\alpha$  — Ausdehnung durch Wärme — sei noch folgende Zusammenstellung gegeben. Sie gewährt mindestens die Einsicht, dass Werthe von  $\frac{A}{\Delta}$  und  $T$  — die Atomvolumina und die Schmelztemperaturen (damit auch die Festigkeit, da dieselbe, wenn man die specifische Wärme in Betracht zieht [Formel III, S. 754] ähnlich verläuft), in der That eine Hauptrolle spielen.

	$\alpha$	$\frac{A}{\Delta}$	$t$ in Graden C.
Kohlenstoff (Diamant) ...	0.0000018	3.43	sehr hoch
Silicium .....	28	11.3	sehr hoch
Arsen .....	56	13.2	210
Osmium .....	66	8.7	2300
Iridium .....	68	8.6	1950
Rhodium .....	85	8.5	1800
Platin .....	90	9.0	1780
Ruthenium .....	90	8.7	1800
Palladium .....	0.0000106	8.9	1500
Antimon .....	112	17.9	217
Eisen .....	120	7.2	1500
Kobalt .....	124	6.7	1600
Nickel .....	128	6.5	1500
Wismuth .....	180	21.2	275



	$\alpha$	$\frac{A}{\Delta}$	$t$ in Graden C.
Phosphor . . . . .	0·0000130	17·4	44
Gold . . . . .	148	10·1	1050
Tellur . . . . .	170	20·2	455
Kupfer . . . . .	175	7·1	1060
Silber . . . . .	200	10·3	950
Zinn . . . . .	211	16·4	235
Aluminium . . . . .	227	10·4	850
Magnesium . . . . .	270		600
Zink . . . . .	300	9·1	430
Blei . . . . .	298	18·2	330
Thallium . . . . .	306	17·1	290
Kadmium . . . . .	310	13·0	500
Selen . . . . .	370	18·0	217
Indium . . . . .	440	15·3	176
Natrium . . . . .	711	23·6	97
Schwefel . . . . .	750	15·6	114
Kalium . . . . .	842	45·6	32

Im Allgemeinen nimmt  $\alpha$  zu mit abnehmendem  $t$  und zum grösseren Theile mit zunehmendem  $\frac{A}{\Delta}$ , jedoch weniger durchschlagend. Für die Abweichungen bei  $t$  sind ganz entschieden die Gefügeeigenschaften (theilweise auch die Werthe von  $\frac{A}{\Delta}$ , welche grösser sind bei relativ kleineren Werthen von  $t$ ) massgebend — Arsenik, Antimon, Phosphor, Tellur, Zinn u. s. w. Schon aus den vorher angegebenen Gründen kommt bei  $\alpha$  die Festigkeit noch in Betracht, während bei den Werthen von  $\epsilon$ , den Elasticitätswerthen, das Atomvolumen  $\left(\frac{A}{\Delta}\right)$  mehr massgebend ist.

Für  $\alpha$  gibt schon das Product  $\sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}} \cdot \sqrt{T}$  eine der obigen ähnliche Reihe, wenn man die betreffenden Werthe einführt.

---

Eine Zusammenstellung der Producte aus der Ausdehnung und der Schmelztemperatur oder eventuell auch der Festigkeit,

noch besser aber der Producte der Ausdehnung und den Quadratwurzeln aus den Schmelztemperaturen zeigt sofort eine Ähnlichkeit in der Reihenfolge der Metalle mit derjenigen der Leitung von Wärme und Electricität.

Es betragen:

	Leitungsfähigkeit der Wärme in der Luft	Leitungsfähigkeit der Electricität in der Luft	Werthe von $\alpha \sqrt{t}$
Silber .....	100	100	0·000632
Kupfer .....	75	85	617
Gold .....	53	60	547
Messing .....	25	22	546
Zinn .....	15	12	344
Eisen .....	12	13	484
Blei .....	9	11	404
Platin .....	8	10	335
Antimon .....	?	4	220
Wismuth .....	2	1	202

Man erhält ferner für

Nickel .....	0·000481
Selen .....	0·000518,

was bei unbeleuchtetem Selen nicht stimmt.

Diamant .....	0·0000537
---------------	-----------

was gut stimmt, trotzdem  $t = 3000^\circ$  gesetzt ist ( $\alpha = 0·0000018$ ), da Diamant schlecht, ja sogar erst bei  $800^\circ$  die Electricität leitet.

Silber und Kupfer stellen sich hoch oben, Wismuth tief unten hin. Auch bei sehr hoch für den Diamanten angenommener Schmelztemperatur entspricht demselben eine sehr geringe Leitungsfähigkeit.

Berechnet man unter der Annahme: die Leitungsfähigkeit sei proportional der inneren kinetischen Energie der leitenden Stoffe und setzt, gemäss den Resultaten früherer Untersuchungen, die Masse proportional der Dichtigkeit, dann lässt sich die den Elementchen, welche lebendige Kraft aufnehmen, nöthige Geschwindigkeit ( $v$ ) bestimmen.

Bezeichnen  $\alpha$  die Ausdehnungscoëfficienten der Körper durch Wärme,  $t$  die Schmelztemperatur,  $K$  die absolute Festigkeit pro Quadratmillimeter in Kilogrammen,  $\Delta$  die Dichtigkeit und  $s$  die specifische Wärme der betreffenden Stoffe, dann erhält man, wenn man die Werthe bei Eisen als Einheit wählt, bei

	$v$	$\alpha^2 t$	$\alpha^2 \frac{K}{\Delta s}$ , wenn	$l$
Silber.....	2·5	2·0	2·7	7
Kupfer ..	2·4	1·7	2·0	6
Gold.....	1·4	1·4	1·4	4·2
Messing.....	1·4	1·4	1·5	1·8
Zinn.....	1·1	0·5	0·9	0·9
Eisen.....	1	1	1	1
Blei.....	0·7	0·8	0·6	0·5
Platin.....	0·5	0·5	0·5	0·3
Wismuth.....	0·4	0·2	0·3	0·1

Die hier abgerundeten Werthe von ( $l$ ), dem Leitungsvermögen der angeführten Körper, sind in der folgenden Tabelle in bestimmter Weise aufgeführt.

Unter der Benützung des Werthes  $v = \alpha^2 \frac{K}{\Delta s}$  würde (da die Leitungsfähigkeit  $l$  proportional  $\Delta \cdot v^2$ )

$$l = \beta \cdot \Delta \cdot \left( \alpha^2 \frac{K}{\Delta s} \right)^2 \quad \dots \text{VI}$$

Nimmt man die lineare Ausdehnung des Silbers durch Wärme (0·00002) als Einheit an, dann berechnen sich die relativen Leitungswërthe, wenn  $\beta = \frac{1}{140}$  gesetzt wird, nach Formel VI in folgender, aus der Tabelle zu ersehenden Weise. Die Werthe von  $l$  können, da es sich nur um Annäherungswërthe handeln kann, für Wärme- und Electricitäts-Leitungsfähigkeit angesehen werden, wenn schon in der Wirklichkeit gewisse, nach Fr. Weber sogar gesetzmässige Abweichungen statthaben.

$\alpha$	$\Delta$	$K$	$\Delta s$	$l$ berechnet	$l$ beobachtet für	
					Wärme	Elektricität
Silber . . . . . 1	10·5	22	0·60	100	100	100
Kupfer . . . . . 0·90	8·9	36	0·85	68	70—80	80—90
Gold . . . . . 0·74	19·3	22	0·62	52	53	55—65
Aluminium . . . 1·14	2·6	18	0·57	39	28—34	34—54
Zink . . . . . 1·50	7·2	8	0·68	36	21—31	24—30
Messing . . . . . 0·96	8·4	20	0·79	29	20	18—27
Kadmium . . . . 1·55	8·6	4	0·47	26	22	22—24
Eisen . . . . . 0·60	7·8	38	0·87	14	12—17	12—16
Palladium . . . 0·56	12·1	27	0·71	13	—	13—14
Zinn . . . . . 1·10	7·3	4	0·40	8	15	12—14
Platin . . . . . 0·40	21·5	30	0·70	7	8	8—10
Blei . . . . . 1·50	11·3	1·5	0·35	7	7—8·5	7—8
Antimon . . . . 0·55	6·7	0·7	0·38	0·1	4·4	4—4·3
Wismuth . . . . 0·62	9·8	0·9	0·30	1	1·1—1·8	1·2

Die beiden Zusammenstellungen von  $l$  — die theoretisch berechneten, wie die Reihen der für Wärme und Elektrizität beobachteten Werthe — zeigen sofort den übereinstimmenden Gang; sie lassen aber auch klar erscheinen, dass durch Änderung der eingesetzten Werthe innerhalb den Beobachtungsgrenzen, wie durch Einführung einer weiteren Constanten die Annäherung noch günstiger werden könnte. Kupfer steht etwas nieder; führte man den Festigkeitswerth für Kupferdraht ein, wie er in technischen Handbüchern gerechnet wird (in der »Hütte«, Taschenbuch, zu 42  $kg$ ), dann steigt der Werth von  $l$  auf 80.

Bei Diamant ist der Ausdehnungscoefficient gegenüber Silber 0·07, die Dichtigkeit ist 3·5, die specifische Wärme 0·120. Setzt man die Festigkeit auch sehr hoch, zu 100  $kg$  pro Quadratmillimeter, obwohl Festigkeit und Oberflächenhärte nicht in einfacher Beziehung stehen, dann erhält man  $l$  doch nur zu 0·03. Für Glas wird  $l = 0·01$  u. s. w.

Anstatt die Leitungsfähigkeit der Metalle von der Wärmeausdehnung der Dichtigkeit, Festigkeit und specifischen Wärme abhängig sein zu lassen, lassen sich nun auch andere Eigenschaften damit verknüpfen. An der Stelle von  $K$  lässt sich setzen  $100 \Delta \left( \frac{\alpha}{\varepsilon} \right)^2$  (IV) oder  $\left( \frac{\Delta}{A} \right)^2 \cdot \frac{As \cdot T}{5}$ , so dass die Ausdehnung durch Wärme und Belastung oder die Schmelz-

temperatur wesentlich eingeführt wird, stets aber immer wieder der Gegensatz zwischen Anziehung und Wärmegegenwirkung hervortritt.<sup>1</sup>

Führt man die Schmelztemperatur ein, dann erhält man für Quecksilber den Werth von  $l$  zu 0·70, womit es den durch Erfahrung festgestellten Rang zugewiesen erhält. Mit dem Leitungsverhältniss 1·6 steht es nämlich bei Wismuth.

Die von Riess für das Erwärmungsvermögen der Metalle durch Elektrizität gefundenen Werthe wachsen nahe entsprechend den Producten aus specifischer Wärme und Atomgewichten (Atomwärme).

Metalle	Werth des Erwärmungs- vermögens	Werthe von $\Delta s$
Kupfer . . . . .	0·113	6·0
Silber . . . . .	0·127	6·14
Gold . . . . .	0·211	6·36
Eisen . . . . .	0·708	6·36
Platin . . . . .	1·000	6·30
Zinn . . . . .	1·570	6·61
Blei . . . . .	2·876	6·50

Selbstverständlich entspricht diese Reihe im Allgemeinen jener der Wärmeleitung (im umgekehrten Sinne).

<sup>1</sup> Man kann die vier in Betracht kommenden Werthe der Eigenschaften einfach in der Formel  $\alpha^{3/2} \cdot \frac{K}{\Delta s} = L$  oder wenn auf die übliche Einheit, das Silber, bezogen wird, um eine der üblichen Reihe ähnliche zu bekommen

$$\frac{1}{2 \cdot 8} \left( \frac{\alpha^{3/2} \cdot K}{\Delta s} \right)^{3/2} = L$$

setzen. Man erhält dadurch die Werthe:

für Silber . . . . .	100	für Eisen . . . . .	27
Kupfer . . . . .	70	Zinn . . . . .	15
Gold . . . . .	45	Platin . . . . .	13
Aluminium . . . . .	47	Blei . . . . .	9
Zink . . . . .	45	Antimon . . . . .	0·5
Kadmium . . . . .	23	Wismuth . . . . .	0·1

welche gleichfalls nicht übel stimmen. Für Glas erhält man 0·01 und ebenso einen kleinen Werth für Diamant.

Die Producte aus den Atomgewichten und den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles in den Metallen sind für die meisten Metalle nahe constant. Legt man die Wertheim'schen Werthe zu Grunde, dann finden nur da und in gleichem Sinne Abweichungen statt, wenn die Werthe des Dulong'schen Gesetzes ( $A_s = \text{Const.}$ ) unter dem Mittel bleiben.

Metalle	Werthe der Fortpflanzung des Schalles ( $v$ )	$A.v$	$A.s$
Eisen .....	15·11	846	6·3
Kupfer .....	11·22	707	6·0
Zink .....	11·01	616	6·1
Messing .....	10·70	685	6·0
Platin .....	8·22	$\frac{1595}{2} = 798$	6·3
Silber .....	8·06	870	6·1
Kadmium .....	7·90	885	6·1
Zinn .....	7·98	875	6·5
Gold .....	6·42	$\frac{1258}{2} = 629$	6·4
Blei .....	4·26	878	6·3

Vergleicht man die Zahlen der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles in gezogenen Metallen (nach Wertheim) der Reihenfolge nach mit der nach Formel IV  $K_4 = 100 \Delta \left( \frac{\alpha}{\varepsilon} \right)^2$  berechneten, dann zeigt sich eine mehr als allgemeine Übereinstimmung zwischen beiden Gruppen, wenn man, wie oben geschehen, die Werthe der Producte  $A.v$  für Platin und Gold — für die schwersten Metalle — halbirt. Die Festigkeit bestimmt somit wesentlich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in den Metallen; zugleich aber auch die relative Wärme, wie nachfolgende Zusammenstellung zeigt.

Es betragen die Werthe bei

	Fortpflanzungsgeschwindigkeit nach				Abso- lute Festigkeit	$\Delta s$
	Wert- heim	Kohl- rausch	Tomlinson	Chladni		
Blei .....	4·26	1300	.....	.....	2	0·36
Zinn .....	7·48	2300	.....	7·5	3	0·41
Kadmium .....	7·90	.....	.....	.....	3·5	0·49

	Fortpflanzungsgeschwindigkeit nach				Abso- lute Festigkeit	$\Delta s$
	Wert- heim	Kohl- rausch	Tomlinson	Chladni		
Gold.....	6·42	2100	.....	.....	20	0·62
Silber. ....	8·06	2700	2801 ( $\Delta = 10·47$ )	9·0	22	0·60
Platin.. ....	8·22	2800	2750 ( $\Delta = 21·05$ )	.....	30	0·69
Messing.....	10·70	3200	.....	10·7	28	0·79
Zink.....	11·01	3500	.....	.....	12 (36 theor.)	0·68
Neusilber.....	.....	.....	3860 ( $\Delta = 8·63$ )	.....	50	(0·70 ?)
Platinsilber .....	.....	.....	2804 ( $\Delta = 12·19$ )	.....	[36]	.....
Kupfer.....	11·17	3700	3958 ( $\Delta = 8·90$ )	12 0	36	0·81
Eisen.....	15·11	5000	5096 ( $\Delta = 7·68$ )	16·7	40	0·88
Gussstahl .....	15·11	5100	.....	.....	60	0·89
Stahldraht.....	14 96	.....	5198 ( $\Delta = 7·75$ )	.....	80	0·89
Glas ( $\Delta = 2·5$ )	16·70	5000	.....	.....	2	0·49

	Leitung der Schallgeschwindig- keit nach Chladni			$\frac{1}{\epsilon}$	$s^1$	$\Delta s$
	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$			
Eichenholz ...	10·7	0·70	1121·4	0·57	0·40	
Buche, Birne ..	12·5	0·82	980·4	0·50	0·41	
Ahorn .....	13·3	0·67	1021·4	.....	.....	
Ulme, Birke ...	14·4	0·60 u. 0·81	1165·5 u. 997	.....	.....	
Linde, Kirsche.	15·0	.....	.....	.....	.....	
Weide, Fichte .	16 0	.....	564	.....	.....	
Tanne .....	18·0	0·49	1113·2	0·65	0·32	

Bei Wertheim und Chladni sind die Schallgeschwindigkeiten mit jener der Luft (332·24 *m*) verglichen, bei Kohlrausch und Tomlinson in Metern pro Secunde gegeben.

Bei den Metallen nimmt die Schallleitung entsprechend  $\Delta s$  im Allgemeinen zu und ab, und ist dieselbe am grössten bei den absolut festeren. Bei den Holzarten könnte man eher auf das Umgekehrte schliessen, als dies bei der Festigkeit der Fall ist. Je fester das Holz, umso geringer die Schallleitungsgeschwindigkeit; umgekehrt bei den Metallen.

In entsprechender Beziehung müssen auch die Longitudinalschwingungen stehen.

<sup>1</sup> Spezifische Wärme (*s*) nach Mousson (Physik).

Die elektrische Spannungsreihe der Metalle, wie sie Pécelet aufstellte, folgt nahe den Verhältnissen der Producte aus dem Atomvolumen und den dritten Wurzeln aus der absoluten Festigkeit. Antimon, für welches indessen die Festigkeit weniger genau bekannt ist, macht die wesentlichste Ausnahme. Durch geringe Änderungen der Werthe von  $K$  gelangen die Producte für Eisen und Kupfer in die richtige Reihenfolge. Es sind für

	$\frac{A}{\Delta}$	$\sqrt[3]{K}$	$\frac{A}{\Delta} \sqrt[3]{K}$
Zink .....	9·1	1·82	16·5
Blei .....	18·1	1·10	20·0
Zinn .....	16·4	1·30	21·3
Wismuth .....	21·3	1·00	21·2
Antimon .....	17·9	0·90	16·1
Eisen .....	7·2	3·30	23·7
Kupfer .....	7·1	3·10	22·0
Silber .....	10·3	2·60	26·7
Gold .....	10·1	2·70	27·3
Platin .....	9·0	3·10	27·9

Es stellt sich die Reihe

nach Seebeck	nach Pfaff
+ $\frac{A}{\Delta} \sqrt[3]{K}$	+ $\frac{A}{\Delta} \sqrt[3]{K}$
Zink .....	Zink .....
Blei, polirt .....	Kadmium .....
Zinn .....	Zinn .....
Blei, rauh .....	Blei .....
Wismuth .....	Wolfram .....
Eisen .....	Eisen .....
Kupfer .....	Wismuth .....
Platin .....	Antimon .....
Silber .....	Kupfer .....
—	Silber .....
	Tellur .....
	Platin .....
	Palladium .....
	—

Obige Reihen ordnen sich im Allgemeinen von + nach — nach zunehmender Verwandtschaft zu Sauerstoff, wie längst



bekannt, dann aber nach zunehmender Festigkeit oder Schmelztemperatur modificirt nach dem jeweiligen Atomvolumen. Die Ausdehnungscoëfficienten für Belastung oder Wärme nehmen von + nach — ab, wenn auch nicht ganz regelmässig, wie folgende Beispiele zeigen, wenn die ähnlich verlaufende Reihe der Spannungsdifferenzen nach Hankel zu Grunde gelegt wird. Es ist

		dabei für	$\frac{A}{\Delta} \sqrt[3]{K}$	$\varepsilon$	$\alpha$
Zink—Blei	= 44	Blei . . . . .	20·0	0·000558	0·000028
» —Zinn	= 51	Zinn . . . . .	21·0	255	22
» —Eisen	= 84	Eisen . . . . .	23·7	058	12
» —Kupfer	= 100	Kupfer . . . . .	22·0	087	18
» —Gold	= 110	Gold . . . . .	27·3	156	15
» —Silber	= 118	Silber . . . . .	26·7	138	19
» —Platin	= 123	Platin . . . . .	27·9	056	09

Bei der Unsicherheit in den einzelnen Beobachtungswerthen, wodurch die Reihenfolge weder ganz sicher, noch alle Werthe zuverlässig genug sind, müssen vorläufig allgemeine ähnliche Ordnungen der Werthe genügen. Von einzelnen Werthen lässt sich, nach früher Gesagtem, kein paralleler Gang erwarten; ein im Allgemeinen ähnlicher Gang ist schon auffallend.

Ordnet man die Elemente nach dem Atomvolumen, dann fällt sofort auf, dass die magnetischen: Eisen, Nickel, Kobalt, Mangan und Chrom nahe die gleichen Atomvolumen besitzen, dass  $\frac{A}{\Delta}$  nur zwischen 6·5 und 7·7 schwankt. Ferner sind die magnetischen Elemente durchweg nur in hoher Temperatur schmelzbar, die diamagnetischen mehr bei niedrigeren Schmelzpunkten. Letztere besitzen dazu meistens Atomvolumenwerthe, die weit grösser sind als bei den paramagnetischen. Bei eingehenderer Untersuchung sind keine scharfen Grenzen bemerkbar, ähnlich wie dies auch bei para- und diamagnetischen Körpern, welche mehr allmähig ineinander übergehen, der Fall ist.

Nach der Faraday'schen Ordnung der magnetischen und diamagnetischen Elemente ergibt sich folgende Tabelle:

	$\frac{A}{\Delta}$	$t$	$\Delta s$	$\sqrt[3]{Ts}$	$\sqrt[3]{\frac{A}{\Delta} \cdot Ts}$	
magnetische	Eisen . . . . .	7·2	1500°	0·87	6·0	11·5
	Nickel . . . . .	6·5	1500	0·95	5·8	11·0
	Kobalt . . . . .	6·7	1600	0·94	6·0	11·3
	Mangan . . . . .	6·9	1700	0·94	6·0	11·3
	Chrom . . . . .	7·7	1500	0·75	5·6	11·0
	Cer . . . . .	21·8	600	0·30	3·2	9·0
	Titan . . . . .	9·1	1600 (?)	0·69	6·2	13·0
	Palladium . . . . .	8·9	1500	0·71	4·6	9·6
	Platin . . . . .	9·0	1780	0·70	4·2	8·7
	Osmium <sup>1</sup> . . . . .	8·7	2300	0·70	4·4	8·8
	Wolfram . . . . .	9·5	1700	0·69	4·1	8·8
	Iridium . . . . .	8·6	1950	0·78	4·1	8·5
	Rhodium . . . . .	8·5	1800	0·71	4·8	9·9
	Uran . . . . .	12·8	1500	0·52	3·7	8·8
diamagnetische	Arsen . . . . .	14·0	bei 210 flüchtig	0·45	3·4	8·0
	Gold . . . . .	10·1	1050	0·62	4·2	9·0
	Kupfer . . . . .	7·1	1060	0·85	5·0	9·7
	Silber . . . . .	10·3	950	0·60	4·1	8·8
	Blei . . . . .	18·1	330	0·35	2·7	7·1
	Quecksilber . . . . .	14·7	—40	0·44	2·0	4·9
	Kadmium . . . . .	13·0	500	0·52	3·3	7·7
	Zinn . . . . .	16·4	235	0·40	3·0	7·5
	Zink . . . . .	9·1	430	0·68	4·0	8·2
	Antimon . . . . .	17·9	440	0·33	3·3	8·6
Wismuth . . . . .	21·2	275	0·30	2·4	6·6	

Obige Übersicht zeigt, dass sich die Ordnung wesentlich nach den Werthen  $\sqrt[3]{\frac{A}{\Delta} \cdot Ts}$  richtet oder nach den Producten aus Atomdurchmesser und der dritten Wurzel aus der Schmelztemperatur (vom natürlichen Nullpunkte an gerechnet) mal der spezifischen Wärme bei gewöhnlicher Temperatur.

In der ersten Gruppe macht das Cerium, in der zweiten das Kupfer eine wesentliche Ausnahme.

Da die relative Wärme ( $\Delta s$ ) in der Richtung obiger Ordnung abnimmt — bei den magnetischen zwischen 0·80 und 0·95,

<sup>1</sup> Zu der ersten Gruppe gehören ferner: Silicium, Beryllium, Aluminium, Kalium, Natrium; zu der zweiten: Tellur, Schwefel, Phosphor, Selen, Jod, Niobium, Tantal.

bei den untersten diamagnetischen zwischen 0·50 und 0·30 schwankend — so könnten ein Theil der Werthe durch Multiplication obigen Ausdruckes noch extremer erhalten werden. Man erhielte für

Eisen .....	$\Delta s \sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}} \cdot T_s = 10\cdot0$
Nickel .....	10·4
Kobalt .....	10·6
Mangan .....	10·6
Zinn .....	3·0
Antimon .....	2·8
Wismuth .....	1·9

Die Reihe wird aber weder ganz stetig, noch werden die Ausnahmen wesentlich verbessert.

Für den Rotationsmagnetismus erhält man

	Wirkung		Nobili	Leitung der	$\sqrt[3]{T_s}$
	Wüllner-Pouillet	Herschel		Wärme und Elektricität	
Kupfer .....	100	100	100	100	5·0
Zinn .....	46	46	21	17	3·0
Blei .....	25	25	17	10	2·7
Zink .....	13	93	30	36	4·0
Antimon .....	9	9	...	5	3·3
Wismuth .....	2	2	...	2	2·4
Silber .....	stark	...	...	120	4·1
Gold .....	schwach	...	...	65	4·2
Quecksilber zwischen					
Antimon und Wismuth	6 (?)	..	...	1	2·0
Eisen .....	am stärksten	...	...	18	6·0

Während man annahm, dass bei gleich dicken Scheiben der Einfluss nahe gleich der specifischen Leitungsfähigkeit der Metalle sei (Wüllner u. A.), zeigt sich der Einfluss wieder entsprechender dem Werthe  $\sqrt[3]{T_s}$ , wobei Eisen in der That am günstigsten wirken muss.

Bei einigen Elementen gelang die Bestimmung des Verdampfungs- und Siedepunkte, wodurch das Volumengewicht des Dampfes ermittelbar war. Folgende Zusammenstellung gestattet die Übersicht der dabei wesentlichen Werthe.

	Schmelzpunkt $t$	Siede- punkt	Atom- gew. $A$	Mole- cular- gew. $M$	$\frac{M}{A}$	Dichte		0·069 $A n$ $H$ gleich Einheit	Berech- nete Dampf- dichte
						fest flüssig $\Delta$	Dampf, Wasser =1		
Arsen . . . . .	verflüchtigt sich, ohne zu schmelzen	180	75	350	4	5·5	10·338	$5·2 \times 2 =$	10·4
Brom . . . . .	-7·3°	45	80	160	2	2·2	5·528	$5·6 \times 1 =$	5·6
Kadmium . . . . .	500 (355)	860	112	112	1	8·6	3·94	$7·8 \times 0·5 =$	3·9
Chlor . . . . .	-75	-33·6	36	71	2	1·33	2·45	$2·5 \times 1 =$	2·5
Jod . . . . .	114	180	127	254	2	4·95	8·77	$8·8 \times 1 =$	8·8
Phosphor . . . . .	44	290	31	124	4	1·85	4·28	$2·15 \times 2 =$	4·3
Quecksilber . . . . .	-40	360	200	200	1	13·54	6·98	$14·0 \times 0·5 =$	7·0
Schwefel . . . . .	114	440	32	64	2	2·05	—	—	—
Selen . . . . .	217	700	79	158	2	4·28	5·68	$5·6 \times 1 =$	5·6
Zink . . . . .	430	1040	65	65	1	6·86	—	—	—
Wasserstoff . . . . .	—	—	1	2	2	—	0·069	$0·069 \times 1 =$	0·07

Aus der Dichte des Wasserstoffes und den Atomgewichten irgend einer Masse ergibt sich die Dampfdichte derselben, wie die letzten Columnen zeigen, wenn mit einem Werthe  $n$  das Product  $0·069 A$  multiplicirt wird. Der Werth von  $n$  ist:

$$n = 0·5, \text{ wenn } A = 1 \text{ Moleculargewicht,}$$

$$n = 1·0, \quad \text{»} \quad A = \frac{1}{2} \quad \text{»}$$

$$n = 2·0, \quad \text{»} \quad A = \frac{1}{4} \quad \text{»}$$

Ein ähnlicher Unterschied zeigt sich in den Verhältnissen der Siedetemperaturen zu den Schmelztemperaturen der einzelnen Elemente. Es lassen sich nämlich dieselben durch die Zahlenwerthe

$$1·2, \quad 1·8 = \frac{3}{2} \cdot 1·2 \quad \text{und} \quad 2·7 = \frac{3}{2} \cdot 1·8$$

ausdrücken, soweit als jetzt die Werthe bekannt sind, wie folgende Zusammenstellung zeigt.

	Schmelz- temperatur $T = t + 273^\circ$	Verhältniss- zahl $f$	Siedetemperatur	
			berechnet $T \times f$	beobachtet über dem natürlichen Nullpunkte
Jod . . . . .	387°	1·2	464	453
Brom . . . . .	266	1·2	319	318
Chlor . . . . .	198	1·2	240	239

	Schmelz- temperatur $T = t + 273^\circ$	Verhältniss- zahl $f$	Siedetemperatur	
			berechnet $T \times f$	beobachtet über dem natürlichen Nullpunkte
Aluminium . . .	1123	1·8	2021	1970 (über Weissgluth)
Magnesium . . .	873	1·8	1571	1573
Indium . . . . .	449	1·8	808	800 (?) (Rothgluth)
Antimon . . . . .	713	1·8	1283	1300 (zwischen 1090 und 1450°)
Zink . . . . .	703	1·8	1265	1313
Kadmium . . . . .	628	1·8	1130	1133
Thallium . . . . .	563	1·8	1013	973
Selen . . . . .	510	1·8	923	953
Schwefel . . . . .	387	1·8	696	713
Phosphor . . . . .	317	1·8	571	563
Blei . . . . .	603	2·7	1628	1600 (zwischen 1450 und 1650)
Wismuth . . . . .	548	2·7	1480	1373
Zinn . . . . .	508	2·7	1371 <sup>1</sup>	1700 (1723—1873)
Natrium . . . . .	370	2·7	999	1070 Rothgluth
Kalium . . . . .	335	2·7	903	998 Rothgluth
Rubidium . . . . .	311	2·7	840	933 Rothgluth
Silber . . . . .	1240	$\left. \begin{array}{l} 1\cdot8 \\ 2\cdot7 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 2152 \\ 3470 \end{array} \right\}$	Knallgasgebläse

Nach Olszewski siedet Ozon bei  $-107^\circ$ , bildet eine dunkelblaue Flüssigkeit bei  $-181^\circ 4$ , somit wird für

Ozon . . . . .	92	1·2	165	166
Quecksilber . . .	233	2·7	629	633

Theilt man den Unterschied zwischen den Siede- und Schmelztemperaturen durch die Siedetemperaturen und stellt daneben die Werthe von  $\frac{A}{\Delta}$  und  $\Delta s$  (Atomvolumen und relative Wärme), dann erhält man folgende Zusammenstellung:

	$\frac{T(\text{Siedep.}) - T(\text{Schmelzp.})}{T(\text{Siedep.})}$	$\frac{A}{\Delta}$	$\Delta s$
Jod . . . . .	0·15	25·7	0·27
Brom . . . . .	0·16	26·6	0·26
Chlor . . . . .	0·17	25·8	0·25

<sup>1</sup> Bei Zinn müsste, wenn sonst die Beobachtung richtig ist,  $f = 3\cdot35$  oder nahe  $= \frac{5}{4} \cdot 2\cdot8$  werden.

	$\frac{T \text{ (Siedep.)} - T \text{ (Schmelzp.)}}{T \text{ (Siedep.)}}$	$\frac{A}{\Delta}$	$\Delta s$
Magnesium . . .	0·44	13·8	0·44
Indium . . . . .	0·49	15·1	0·42
Antimon . . . . .	0·46	17·9	0·34
Zink . . . . .	0·46	9·1	0·68
Kadmium . . .	0·45	13·0	0·49
Thallium . . . . .	0·47	17·1	0·39
Selen . . . . .	0·47	18·0	0·34
Schwefel . . . . .	0·46	15·6	0·40
Phosphor . . . .	0·44	14·0	0·34
Aluminium . . .	0·33 (?)	10·4	0·55
Blei . . . . .	0·60	18·2	0·36
Wismuth . . . . .	0·61	21·8	0·30
Natrium . . . . .	0·69	23·6	0·28
Kalium . . . . .	0·66	45·6	0·15
Rubidium . . . .	0·62	56·1	0·12
Zinn . . . . .	0·80	16·4	0·41
Quecksilber . .	0·63	14·7	0·44

Eine erste Beziehung zeigt diese Zusammenstellung der Reihen sofort. Den niederen Werthen der ersten Reihe der ersten Gruppen stehen hohe Werthe von  $\frac{A}{\Delta}$  und niedere von  $\Delta s$  gegenüber. In der zweiten Gruppe wechselt dies Verhältniss, ohne dass es aber in der dritten Gruppe consequent sich fortsetzte; ja hier erfolgt sogar ein Wechsel, wie die zu Zinn und Quecksilber zugehörigen Werthe zeigen.

Stellt man allgemein die bei der Verbindung der Metalle mit Sauerstoff oder Chlor frei werdenden Wärmemengen nach den Versuchen von Dulong, Thomson u. s. w. der Leitungsfähigkeit der Metalle für Wärme oder Elektrizität gegenüber, dann findet man für beide Reihen einen umgekehrten Gang, wie folgende Zusammenstellungen zeigen, in welchen je die betreffenden Werthe von Eisen die Einheit bilden.

Metalle	Wärmeentwicklung	Leitungsfähigkeit
Silber . . . . .	0·10	8·3
Kupfer . . . . .	0·60	6·2
Kadmium . . . . .	0·94	1·7

Metalle	Wärmeentwicklung	Leitungsfähigkeit
Eisen .....	1·00	1·0
Zinn .....	1·04	1·2
Zink .....	1·10	1·6

Bei der Verbrennung wird Wärme frei bei

	Sauerstoff		Chlor		Leitungsvermögen
	Dulong		Thomson		
Zink .....	1·22	1·10	1·19		19
Zinn .....	1·04	—	—		15
Eisen .....	1·00	1·00	1·00		12
Antimon .....	0·89	—	—		—
Kobalt .....	0·92	—	—		—
Kupfer .....	0·60	0·60	0·40		74
Kadmium .....	—	0·94	1·13		20
Blei .....	—	0·71	1·01		10
Silber .....	—	0·10	0·37		100
Aluminium .....	—	—	2·00		32

Bei genauerer Betrachtung findet man, dass je nach den aufgenommenen Sauerstoff- oder Chlormengen die Werthe auszuscheiden sind. Ist dies geschehen, dann zeigen sich im Allgemeinen die Atomgewichtswerthe massgebend, genauer aber die Producte aus den Werthen des Atomdurchmessers und der specifischen Wärme.

Bei der Verbindung der Metalle mit einem Theile Sauerstoff erhält man

Metalle	Wärmemenge	A	$s \sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}}$
Magnesium .....	6077	24	0·60
Calcium .....	3284	40	0·50
Strontium .....	1495	87	0·23
Eisen .....	1180—1350	56	0·22
Zink .....	1300	65	0·21
Kupfer .....	590—604	63	0·18
Zinn .....	574	118	0·14
Kupfer .....	590—604	63	0·18
Zinn .....	574	118	0·14
Blei .....	250—260	207	0·09
Quecksilber .....	150	200	0·08

Bei Verbindungen mit zwei Sauerstoff ergibt sich:

Metalle	Wärmemenge	A	$s \sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}}$
Kohlenstoff.....	8080	12	0·82
Schwefel.....	2200—2300	32	0·40
Selen.....	730	79	0·19

Durch die Einführung von Massstabswerthen und Verhältnissen lassen sich, wie dies vielfach auch in früher angeführten Fällen möglich ist, die Zahlenwerthe der einen Reihe aus der andern mindestens annähernd berechnen. Quadriert man beispielsweise den zweiten Ausdruck, vervielfacht mit 10800 und setzt eine Constante 400 hinzu, dann berechnen sich die Werthe für

Kohlenstoff zu 7700 gegenüber 8000		
Schwefel » 2130 » 2200		
Selen » 780 » 730		

Für die folgenden Verbindungen werden

	Wärmemenge	$s \sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}}$
Na <sub>2</sub> O.....	3290	0·84
K <sub>2</sub> O.....	1745	0·60
Te <sub>2</sub> O.....	103	0·09
Ag <sub>2</sub> O.....	27	0·12
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	5700	0·46
As <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	1030	0·19
J <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	176	0·16
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	96	0·08

Die eingehenderen Untersuchungen dieser Beziehungen, namentlich mit Hilfe von ausgedehnterem Beobachtungsmaterial, dürften zu, auch für die theoretischen Anschauungen, werthvollen Resultaten führen.<sup>1</sup>

Wenn für jede Serie der Oxydationsstufen sich die Werthe von  $s \sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}}$  in andern Verhältnissen unter sich und gegenüber den Werthen der Wärmeentwicklung stellen, dann ähneln die

<sup>1</sup> Ohne die Verbindungswerthe auszuschneiden, sei noch angeführt, wie sich die bei der Verbindung mit Chlor pro 1 g Substanz die Wärmemengen stellen:



hier sich zeigenden Verhältnisse jenen bei den Beziehungen zwischen Siede- und Schmelztemperatur vorkommenden.

Zum Durchpressen der Metalle durch bestimmte Öffnungen war ein Druck — Flüssigkeitsmass — nach Tresca's Versuchen (C. R. 1870) nothwendig, bei

Eisen .....	37·6	hg pro	Quadratmillimeter
Kupfer .....	18·9	»	»
Zink .....	9·0	»	»
Blei und Zinn zu gleichen			
Theilen .....	3·4	»	»
Zinn, rein .....	2·1	»	»
Blei ..	1·8	»	»

welche Werthe der absoluten oder Zugfestigkeit entsprechen.

Stellt man die Metalle nach den Quotienten aus Schmelztemperaturen und Dichtigkeiten zusammen, dann folgen sich die Metalle in der gleichen Ordnung, in welcher sich (nach Prechtl) an den Metallen die Formveränderungen am leichtesten oder vollkommensten durch Hämmern vollziehen lassen.

$\frac{t}{\Delta}$		$\frac{t}{\Delta}$	
Blei .....	28·8	Silber .....	95·0
Zinn .....	31·2	Kupfer .....	117·9
Gold .....	57·0	Platin .....	$\left\{ \begin{array}{l} 79·1 \text{ bei } t = 1700^\circ \\ 116·3 \text{ » } \quad 2500 \end{array} \right.$
Zink .....	58·8	Eisen .....	

Bei genauerer Betrachtung aller im Vorhergehenden zusammengestellten Beziehungen treten stets zwei Kräfte hervor:

	Wärmemenge	s. $\sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}}$
Bei Kalium .....	2655	0·60
» Phosphor .....	3422	0·50
» Eisen .....	1745	0·22
» Zink .....	1529	0·21
» Arsen .....	994	0·19
» Kupfer .....	961	0·18
» Zinn .....	1079	0·14

Diese Reihen können nur im Allgemeinen stimmen.

die Cohäsion und die Wärme, Sie erscheinen als die wirkenden, die Constitution der Körper bedingenden Kräfte. Die Cohäsion wirkt vergleichbar der Attraction; sie wirken beide nach den gleichen Gesetzen und sind wahrscheinlich nur gemeinschaftlicher Natur. Scheinbare Unterschiede entstehen durch die Verschiedenheit der Entfernungen der sich anziehenden Massenzentren und deren Oberflächen namentlich aber durch die Wirkung der Wärme, welche bei der Cohäsion eine directe, bei der Attraction höchstens eine indirecte ist. Höhere Temperaturen vermindern die Festigkeit der Körper und führen einen flüssigen oder gasigen Aggregationszustand herbei unter Vermehrung des Volumens; Abnahme der Temperatur verdichtet die Massen. Bei niederen Temperaturen bleibt die chemische Natur der Verbindungen durchwegs stabil; höhere Temperaturen ändern dieselbe, nachdem die Anziehung der Atome und Moleküle unter sich so weit vermindert wurde, dass neue Anlagerungen entstehen konnten. Wie zugleich die physikalischen Eigenschaften sich bei Temperaturveränderungen verändern, zeigen neben zahlreichen Körpern insbesondere auffallend Eisen und seine Verbindungen (Weich-, Hartmachen, Ausglühen, Härten, Überführung von weissem Gusseisen in graues, u. s. w.).

Da jedes Atom das andere anzieht, so müssen die Lagerungen zu den kleinsten gleichartigen Massentheilen, welche durch gegenseitige Anziehung die Körper bilden, derartig gedacht werden, dass nicht einzelne Atome aus einem Molekül in ein anderes gezogen werden können, d. h. jedes Molekül muss bis zu einer gewissen Grenze hin im Gleichgewichtszustande sein und bleiben, sei derselbe stabil wie bei den meisten Verbindungen, sei er labil wie bei manchen Verbindungen, sei er schwierig oder weniger schwierig, sei er erst nach langer Zeit oder momentan aufzuheben, wie letzteres bei den explosiven Verbindungen oder selbst bei solchen Gemischen der Fall ist. Es muss die Anziehung der Atome in jedem Moleküle grösser sein, als die Anziehung zweier benachbarten Atome in den aneinanderlagernden Molekülen, weil andernfalls dauernde Verbindungen nicht gedacht werden können. Werden durch äussere Einwirkungen diese Verhältnisse gestört, dann treten Umlagerungen ein.

Die Atome, wie die Moleküle oder beide zusammen können in Bewegung gedacht werden; da aber in diesen Fällen die Vorstellungen über dauernde Verbindungen, ja selbst über die Gleichförmigkeit der Bildung solcher aus grossen Massen, Schwierigkeiten bereiten, so wird es zweckmässig sein, die Bewegungen mindestens relativ sehr beschränkt zu denken und sich die Moleküle als äusserst kleine Massen vorzustellen, welche nur in besonderen Fällen mit lebhafter Beweglichkeit ausgestattet sind.

Das Molekül lässt die Vorstellung zu, dass es aus Kern und Hüllen bestehe und diese beide — Kern und Hüllen — wieder in Atome und Atome höherer Ordnung zerfallen. Es zieht der Kern (entsprechend den Planeten die Meere und Atmosphären) die erste Hülle, Kern und Hülle die zweite Hülle u. s. w. an, wobei bei zwei verschiedenen Elementen der Kern mit einer Hülle, bei drei und mehr Elementen der Kern von zwei, drei oder mehr Hüllen schalenförmig oder auch aus symmetrisch gelagerten, im Gleichgewichte befindlichen Atomgruppen gebildeten Einhüllungsmassen umgeben gedacht werden muss.

Bildet ein Atom oder Molekül eines Stoffes mit einem zweiten einen Kern mit einer Hülle, dann darf man sich ein solches Molekül im einfachsten Falle kugelförmig und im Gleichgewichte befindlich denken. Zieht nun ein zweites, drittes u. s. w. Molekül das erste und alle sich gegenseitig an, und zieht jeder Kern seine Hülle stärker an, als die einzelnen Moleküle auf die Hüllen der anderen zu wirken vermögen, dann muss der Körper so lange seine Beschaffenheit unverändert beibehalten, als nicht weitere Kräfte zur Wirkung gelangen, welche die bestehenden Gleichgewichtszustände aufzuheben vermögen. Diese Kräfte sind im gegebenen Falle die Wärmewirkungen. Sie entfernen die Hüllen von den Anziehungscentren der Kerne und nähern die Hüllen der einzelnen Moleküle sich gegenseitig, wodurch bei zureichender Temperaturerhöhung unter Zuführung neuer Stoffe oder auch durch Umlagerung der vorhandenen, neue chemische Verbindungen oder abweichende physikalische Eigenschaften erzeugt werden können.

Nicht aber allein bei der kugelförmigen, sondern auch bei der ellipsoidischen Anlagerung ist der Gleichgewichtszustand

denkbar. Die Ellipsoide werden je nach der Bildung der Moleküle solche mit sich rechtwinklig oder schiefwinklig schneidenden Axen sein, da je nach der Anzahl und der Grösse der im Molekül enthaltenen Atome und je nach den Kräften, mit welchen sie aufeinander wirken, die Anlagerung eine andere sein muss. Bilden beispielsweise zwei Atome einen Kern, dann wird in den meisten Fällen die grosse Axe durch die Centren beider Atome gehen und es lagern sich um den in der Richtung der Hauptaxe liegenden Kern die übrigen zum Molekül gehörigen Atome. Wie die Axen verschiedene Neigungen gegen einander haben können, so sind auch deren Längenverhältnisse wechselnd, woraus eine ungemeine Mannigfaltigkeit der Formen der Moleküle, wie auch die aus denselben zusammengesetzten Körper und dies namentlich bei den Krystallen, resultiren.

Das reguläre, gleichseitige Krystallsystem mit einander sich rechtwinklig schneidenden Axen entspricht der Kugel; aus Kugeln bauen sich Würfel, Oktaëder, Tetraëder u. dgl. auf.

Das quadratische, zwei- und einaxige System mit drei rechtwinklig sich schneidenden Axen, wovon ein Paar gleich lang ist, lässt sich aufgebaut denken aus Ellipsoiden mit rechtwinklig sich schneidenden Hauptaxen, wovon die eine länger ist als die beiden anderen gleich langen. Beispiele: Quadratoktaëder, quadratische Säulen, Prismen u. s. w.

Das rhombische System würde aus drei ungleichen Axen enthaltenden Ellipsoiden zu rhombischen Prismen, rhombischen Pyramiden u. dergl. aufgebaut.

Das klinorhombische System mit drei ungleichen Axen, wovon ein Paar sich nicht rechtwinklig schneidet, würde aus entsprechenden Ellipsoiden gebildet, welche Rhomboëder, Prismen mit rhombischer Basis u. s. w. erzeugen, während das klinorhombische System Ellipsoide mit ungleich langen und allen sich untereinander schiefwinklig schneidenden Axen gebildet würde.

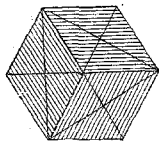


Fig. 1.

Für das hexagonale System liessen sich entsprechende Ellipsoide mit einer Hauptaxe und drei dieselbe rechtwinklig schneidenden, gleichlangen und unter

sich unter  $60^\circ$  geneigten Axen denken. Man könnte indessen sich den sechseckigen Querschnitt auch aus drei rhombischen Stücken zusammengesetzt denken. (Fig. 1.)

Vorausgesetzt wäre in allen diesen Fällen, dass sich die Krystalle aus Ellipsoiden (respective Kugeln) und nicht aus dem ganzen Krystalle ähnlichen Gebilden zusammengesetzt annehmen lassen. Da im eckigen Gebilde der Gleichgewichtszustand nur schwierig oder eigentlich gar nicht denkbar ist, so muss der ellipsoidische (respective kugelförmige) bei den Molekülen vorausgesetzt werden.

Über die Vertheilung der Atome in Molekülen lassen sich je nach den Verhältnissen sehr abweichende Vorstellungen bilden.

Legt man durch die Eckpunkte des Van t'Hoff'schen Tetraeders<sup>1</sup> eine Kugel- oder Ellipsoidenoberfläche, deren Mittelpunkt gleichweit von den Tetraedereckpunkten absteht, dann lässt sich die ganze Theorie auf die Kugel oder noch besser auf das Ellipsoid übertragen und zwar mit beträchtlicher Erweiterung der für die Entwicklung der Hypothesen nothwendigen Freiheit. Des Verfassers Anschauungen näher tritt in der allerneuesten Zeit Dr. Alfred Werner («Beiträge zur Theorie der Affinität und Valenz», in Vierteljahrsschr. der naturf. Gesell. Zürich, Bd. XXXVI, 1891) mit seiner Theorie der Valenzorte (vielleicht besser Valenzflächen genannt). Mit einem Schritte weiter würden sich Werner's Anschauungen fast vollständig mit des Verfassers seit vielen Jahren gehegten, auch schriftlich niedergelegten Hypothesen decken.

Hier näher auf diese Hypothese einzutreten liegt aus mehreren Gründen ferne; einige Andeutungen mögen hier genügen.

Da bei ellipsoidischer Molecularform die Axen in Bezug auf Lagen und Längen innerhalb sehr weiter Grenzen beliebig variiren können und die Kern- und Hüllenlagerungen compact oder in beliebigen, allerdings immer anziehungssymmetrischen Lagen möglich sind — einfach, doppelt, vierfach (3 Punkte auf der Oberfläche, einer im Centrum, oder vier Punkte auf der

---

<sup>1</sup> (Oder durch die Ecken eines Oktaeders, Würfels u. s. w. oder durch die Kantenmitten derselben u. s. f.).

Oberfläche), fünffach (vier Punkte auf der Oberfläche, einer im Centrum), sechsfach (alle auf der Oberfläche oder fünf darauf, einer im Centrum) u. s. w., so erklären sich auf diesem Wege nicht nur, wie oben bemerkt, die mannigfaltigsten Gruppierungen der Atome zu organischen und unorganischen (Krystall-) Gebilden, sondern es erklären sich auch die Krystallzwillinge, die Substitution — bald leichter, bald schwieriger und selbst ungleich schwer an einzelnen Punkten eines Moleküles, da die Anziehungsenergie nicht in allen Punkten die gleiche sein muss, nicht einmal, wenigstens in den meisten Fällen, sein kann —; es erklären sich Isomerie, Dimorphismus u. s. w.

Um die Vorstellbarkeit der Bildung von isomeren oder physikalisch sich ähnlich verhaltenden Verbindungen sich klar zu machen, wie dies etwa die links- und rechtsdrehende Weinstein- säure oder ähnliche Verbindungen er-

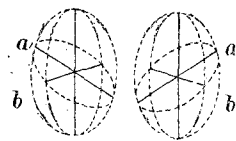


Fig. 2.

fordern, hat man sich zwei Ellipsoide zu denken, deren drei sich nicht rechtwinklig schneidenden Axen entsprechend einem Spiegelbilde in beiden symmetrisch geneigt und wobei die Anlagerungen derartig sind, dass keine Drehung in parallele Lagen möglich wird. Da sich auf dem gleichen Wege der Isomorphismus erklärt, so ist, was übrigens schon aus früher Gesagtem hervorgeht, nicht jeder scheinbar chemisch gleich zusammengesetzte Körper isomer zu dem entsprechenden, sondern es entscheiden darüber noch die physikalischen Erscheinungen, namentlich die spezifische Wärme, die Schmelz- und Siedetemperaturen u. dergl.

Leicht sich umlagernde Verbindungen, solche mit labilen Gleichgewichtszuständen lassen sich vergleichen mit Himmelskörpern, deren Meere schwerer wären, als die Kerne. Ein Quecksilbermeer auf der Erde würde rasch einen gewaltigen Umsturz des ganzen Planeten hervorgerufen haben.

Bei kugelförmiger Anlagerung hat jedes Molekül freie Bewegung gegenüber den benachbarten; bei ellipsoidischen jedoch nicht mehr, namentlich nicht bei drei ungleich langen und sich nicht rechtwinklig schneidenden Axen. Hierbei müssen die Anlagerungen in bestimmten, von der gegenseitigen Anziehung

der einzelnen Moleküle abhängigen Richtungen stattfinden. Unter gewissen Umständen kann Kehrung eintreten, die aber nicht stabil sein kann, wesshalb derartige Isomerien nicht beständig sind.

Auf diesem Wege vermag man zu Anschauungen zu gelangen, welchen körperlich geschlossene, der gegenseitigen Anziehung unterworfenen Atome entsprechende Moleküle zur Grundlage dienen; man kann auf jede Ausbreitung der Atome in Ebenen behufs der Bildung von Molekülen, also auf unnatürliche, im Grossen sich nirgends zeigenden Annahmen und Gliederungsformen verzichten, welche in jedem Augenblicke von dem benachbarten Moleküle infolge gegenseitiger Anziehung derartig gestört werden müssten, dass das Bestehen grösserer Körpermassen undenkbar wäre.

Wie die Tangential- oder Centrifugalkraft der Centrifugalkraft entgegen wirken muss, um die Weltkörper in ihren Bahnen und die Sonnen- und Sternsysteme zu erhalten, so muss der Cohäsion — der Schwerkraft der kleinsten Theilchen — eine Kraft entgegenwirken. Diese Kraft ist die Wärme. Beide Kräfte — Anziehung und Wärme — im Gleichgewichtszustand bedingen die Erhaltung der Massen. Mit zunehmender Wärme wird die Anziehung mehr und mehr überwunden — sei dies durch Erhöhung der Schwingungsgeschwindigkeiten und Ausschlägen, sei es durch Neutralisiren der inneren Anziehung der Körpertheilchen — es werden die Kerne, respective die Molekülmittelpunkte (oder besser Anziehungscentren) mehr und mehr voneinander entfernt. Je nach der Anordnung der Moleküle geschieht die Distanzänderung der Anziehungscentren gleichmässig nach allen Richtungen, oder je nach den Anlagerungs- und Axenverhältnissen der Ellipsoiden in ungleicher Weise nach den verschiedenen Richtungen, wie dies beispielsweise bei der Erwärmung der Krystalle vorkommt, welche sich oft recht ungleich nach den verschiedenen Richtungen ausdehnen und zerfallen, welche je nach der Richtung des Angriffes der Kraft verschiedene Festigkeit, verschiedene Elasticität u. s. w. zeigen. Mit zunehmender Erwärmung lockert sich das Gefüge der Körper; Festigkeit, Leitungsfähigkeit u. s. w., überhaupt alle physikalischen und chemischen Eigenschaften der Körper

müssen Veränderungen entgegengehen oder erleiden. Durch die Wärme werden die Atomvolumina vergrößert, die Kernmittelpunkte als Anziehungscentren von einander entfernt; es muss das Zusammenhalten, die Festigkeit vermindert werden, wie es unsere oben aufgeführten Formeln verlangen. Die durchgehende Zunahme der specifischen Wärme bei der Ausdehnung der Körper, d. h. bei der Annäherung der Temperatur an die Schmelztemperatur oder nach Änderung des Aggregatzustandes erklärt sich aus der vermehrten Arbeit, welche nothwendig ist, um die einzelnen Moleküle mehr und mehr zu entfernen. Bei dem absoluten Nullpunkte müsste die specifische Wärme sehr gering, vielleicht nahe Null sein. Wenn Ausnahmen vorkommen, wie bei Jodsilber, das sich (nach Fizeau) zwischen  $-10^{\circ}$  bis  $+70^{\circ}$ , auf welche Temperaturgrenzen es untersucht ist, mit wachsender Temperatur statt auszudehnen zusammenzieht, bei sinkender Temperatur sich wieder ausdehnt, obschon es erst bei  $400^{\circ}$  schmilzt, so muss dies auf einem ähnlichen Vorgange beruhen, welcher veranlasst, dass das Wasser bei  $+4^{\circ}$  am dichtesten ist, oder bei Schwefel, der bei  $114^{\circ}$  flüssiger ist, als bei  $200^{\circ}$  oder bei Zink, dessen Dehnbarkeit über  $150^{\circ}$  abnimmt und das dann bei  $200^{\circ}$  spröde wird.

Stehen sich bei einander umkreisenden Körpern Centrifugal- und Tangentialkraft, bei der Körperwelt im Innern Anziehung und Wärme gegenüber, dann müssen die Gesetze der Wärmeausdehnung zu derjenigen der Centrifugalkraft in Beziehung stehen; es muss sich das Schema aufstellen lassen:

$$\begin{array}{ccc} \text{Attraction} & \dots\dots\dots & \text{Cohäsion} \\ \updownarrow & & \updownarrow \\ \text{Centrifugalkraft} & \dots\dots\dots & \text{Wärmewirkung} \end{array}$$

Vollkommener Gleichgewichtszustand wird mit Wahrscheinlichkeit nur im flüssigen Zustande statthaben, da im festen die Cohäsion, im gasförmigen Zustande die Wärme das Übergewicht haben muss. Setzt man in aller Einfachheit

$$\begin{array}{l} \text{Anziehung} \quad A = \frac{M \cdot m}{R^2} \\ \parallel \\ \text{Centrifugalkraft} \quad C = \frac{m \cdot v^2}{R} \end{array}$$



$$\begin{aligned} \text{Festigkeit} \quad K &= 100 \Delta \left( \frac{\alpha}{\varepsilon} \right)^2 \\ \parallel \\ \text{Wärmewirkung } W &= \frac{\Delta \cdot v_1^2}{r} = \frac{\Delta \cdot v_1^2}{\varepsilon} = \Delta \cdot v_1^2 \cdot \frac{\alpha}{\varepsilon} \end{aligned}$$

wenn man in beiden Fällen einfach die Massen proportional der Dichte setzt, wie die Festigkeit verlangt, dann wird

$$v_1^2 = \frac{W}{\Delta \cdot \frac{\alpha}{\varepsilon}} = \frac{K}{\Delta \cdot \frac{\alpha}{\varepsilon}}$$

Nimmt man die Werthe von  $K$ ,  $\Delta$  und  $\frac{\varepsilon}{\alpha}$  an, dann erhält man für:

	$K$	$\Delta$	$\frac{\varepsilon}{\alpha}$	$v_1^2 = \frac{K}{\Delta \cdot \frac{\alpha}{\varepsilon}}$	und $v_1 = \sqrt{3 \text{ l s}}$
Eisen	42	7·8	4·1	23·1	23·4
Kupfer	32	8·8	5·2	18·8	17·1
Platin	35	21·5	7·6	12·4	12·9
Silber	22	10 5	6·9	14·5	12 7
Gold	20	19·3	10·0	10·3	10·1
Blei	2·7	11·4	20·2	5·0	5·4
Zinn	4·0	7·3	11·4	6·2	6·2
Antimon	0·7	6·7	22·7	2·3	8·1
Wismuth	1·0	9·8	25·9	3·0	4·9

somit wieder eine einfache Beziehung, welche auf die zum Schmelzen der Körper nothwendige Wärme hindeutet.

Da  $K$  und  $\frac{\varepsilon}{\alpha}$  sich in anderer Weise ausdrücken lassen, so liesse sich eine derartige Untersuchung der Beziehungen zwischen Cohäsion und Wärme noch weiter ausdehnen, was indessen für jetzt noch wenig Interesse bieten würde.

### Nachtrag.

Zu Seite 770.

Über die Compression der Stoffe liegen nur wenige Versuche vor. Die in der Technik angenommenen Werthe können

durchgängig nur als Nothbehelf dienen. Für Kupfer, Messing und Glas fand Regnault die linearen Compressionscoëfficienten

$$\begin{aligned} &\text{bei Kupfer} = 0\cdot000120 \\ &\text{» Messing} = 0\cdot000110 \\ &\text{» Glas} = 0\cdot000179. \end{aligned}$$

Setzt man für die Werthe der Coëfficienten für die Wärmeausdehnung bei diesen drei Körpern:

$$\begin{aligned} &\text{bei Kupfer} = 0\cdot0000170 \\ &\text{» Messing} = 0\cdot0000190 \\ &\text{» Glas} = 0\cdot0000096 \end{aligned}$$

und berechnet entsprechend wie bei der Zugfestigkeit — proportional der Dichte und im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate der Verhältnisse aus Belastungs- und Wärmeausdehnung — dann ergeben sich die Festigkeitswerthe:

$$\begin{aligned} &\text{bei Kupfer} = 17\cdot4 \text{ kg pro Quadratmillimeter} \\ &\text{» Messing} = 23\cdot5 \quad \text{»} \quad \text{»} \\ &\text{» Glas} = 0\cdot73 \quad \text{»} \quad \text{»} \end{aligned}$$

Die Druckfestigkeit wird bei Kupfer zu etwa 40, bei Messing zu weniger als 10 angenommen. Mangel an Beobachtungsmaterial nöthigt dazu nur das Resultat anzugeben. Theoretische Gründe sprechen schon dafür, dass für Druck nicht direct die gleichen Formeln, wie sie für Zug anwendbar sind, gelten können, wenn es sich darum handelt dieselben bis zu den Bruchgrenzen anzuwenden.

Stellt man die Compressionscoëfficienten ( $\epsilon_1$ ) pro 1 Atmosphärendruck, den Wärmeausdehnungscoëfficienten ( $\alpha$ ) pro 1° C., die Dichtigkeiten ( $\Delta$ ), die Atomvolumina  $\frac{A}{\Delta}$  und das Verhältniss von  $\frac{\alpha}{\epsilon_1}$  zusammen, dann erhält man für einige Flüssigkeiten folgende Übersichtstabelle.

	$\epsilon_1$	$\alpha$	$\Delta$	$\frac{A}{\Delta}$	$\frac{\alpha}{\epsilon_1}$
Quecksilber ...	0·00000295 bei 0°	0·0001812	13·6	14·7	61·4
Chloroform ....	0·00006250 » 8·5	0·0011071	1·5252	15·7	17·9
Schwefelkohlenstoff .....	0·000087 » 15·6	0·0011398	1·28	20·0	13·1

	$\epsilon_1$		$\alpha$	$\Delta$	$\frac{A}{\Delta}$	$\frac{\alpha}{\epsilon_1}$
Wasser . . . . .	0·0000503	bei 0°	0·0000576	1·00	6·0	1·15 <sup>1</sup>
Terpentinöl . . . . .	0·0000730	> 10	0·0008474	0·872	6·0	11·7
Amylalkohol . . . . .	0·000082	> 13·8	0·0009720	0·8248	6·0	11·8
Methylalkohol . . . . .	{ 0·000104 0·0000913	{ > 14·7 > 0	0·0011342	{ 0·8142 0·796	6·6	12·9
Aceton . . . . .	0·0001100	> 14	0·0013481	0·8144	7·1	12·2
Äthylalkohol . . . . .	{ 0·0001010 0·0000828	{ > 14 > 0	0·0009720	0·8095	6·3	11·3
Äthyläther . . . . .	0·0001110	> 0	0·0014803	0·7376	7·5	13·3

Diese Zusammenstellung zeigt für das Verhältniss der Ausdehnung durch Wärme zur Compression bei dem Drucke von einer Atmosphäre, Beziehungen zu der Dichtigkeit der Körper oder auch zu deren Atomvolumen. Ohne weit eingehendere Versuche, auch bei weit höherem Drucke, lohnt sich eine weitere Verfolgung der Beziehungen dieser Eigenschaften nicht, und um so weniger als der Druck einer Atmosphäre sehr gering ist, gegenüber den bei den Zugversuchen erhaltenen Belastungen auf die gleiche Querschnittseinheit, so dass nicht auf die angeführten Werthe hin an die Beziehungen bei den Zugversuchen angeschlossen werden kann. Bei hundertfach grösserem Drucke würden die Coëfficienten sehr abweichende Verhältnisse für die gleichen, noch mehr aber für die verschiedenartigen Körper ergeben.

Da die Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten Beziehungen zu den Dichtigkeiten zeigen, so äussern sich auch Beziehungen zu dem Verhältniss der Ausdehnung durch Wärme und der Compression.

Beispielsweise ergibt sich für

	$\frac{\alpha}{\epsilon_1}$	$\Delta$	Schallgeschwindigkeit in Metern pro Secunde
Quecksilber . . . . .	61·4	13·5	1483 oder 1·02
Wasser . . . . .	9·9 (?)	1·0	1453 1·00
Terpentinöl . . . . .	11·7	0·87	1371 0·96
Alkohol . . . . .	12·0	0·75	1157 0·81
Äther . . . . .	13·1	0·71	1093 0·76

<sup>1</sup> Setzt man für Wasser den mittleren Ausdehnungscoëfficienten zwischen +4° und +100° = 0 0004951, dann wird  $\frac{\alpha}{\epsilon_1} = 9·9$ .

Bei den festen Körpern besteht eine gewisse Beziehung zu dem Verhältniss der Ausdehnung durch Belastung und durch Wärme, wobei die höheren Werthe (Blei 18—21, Zinn 11—14 u. s. w.) einer geringeren, die niederen Werthe (Kupfer 4·3 bis 5·7, Eisen 3·3—4·7 u. s. w.) einer grösseren Schallgeschwindigkeit entsprechen. Wie bei den Metallen die Festigkeit, so scheint bei den Flüssigkeiten der Widerstand gegen Druck einen wichtigen Einfluss zu besitzen, der bei

Quecksilber .....	0·0000295
Wasser .....	0·0000503
Terpentinöl .....	0·0000730
Alkohol .....	0·0000900
Äther .....	0·000111

ist.

Zu Seite 769.

Berechnet man nach der Formel:

$$\frac{\varepsilon}{\alpha} = 7 \sqrt[3]{\left(\frac{A}{\Delta}\right)^2 \cdot \frac{1}{T_s}} \quad \text{und} \quad K_t = 100 \Delta \left(\frac{\alpha}{\varepsilon}\right)^2$$

die Werthe von  $\frac{\varepsilon}{\alpha}$  und  $K_t$ , wie dies gelegentlich einer Untersuchung nothwendig wurde, dann erhält man für:

	$\frac{\varepsilon}{\alpha}$	$K_t$		$\frac{\varepsilon}{\alpha}$	$K_t$
Aluminium .....	5·2	9·1	Chlor .....	18·5	0·4
Magnesium .....	6·5	4·1	Jod .....	21·8	1·0
Zink .....	7·6	12·0	Brom .....	22·3	0·6
Schwefel .....	10·2	2·0	Natrium .....	12·1	0·7
Phosphor .....	10·5	1·9	Zinn .....	15·1	3·2
Indium .....	11·6	5·3	Blei .....	17·9	3·5
Kadmium .....	11·8	6·2	Quecksilber .....	21·6	2·6
Selen .....	16·5	1·6	Wismuth .....	22·8	1·9
Thallium .....	17·2	4·0	Kalium .....	23·5	0·2
Antimon .....	19·1	1·8	Rubidium .....	35·5	0·1

und für die stark magnetischen Elemente

Chrom .....	$\frac{\varepsilon}{\alpha} = 4·62$	$K_t = 32$
Eisen .....	4·34	42
Mangan .....	4·20	46
Nickel .....	4·20	51
Kobalt .....	4·13	52

Vergleicht man diese Werthe, so weit als dies möglich, mit früher angeführten, oder berücksichtigt man die bestehenden Eigenschaften, dann findet man die Werthe durchwegs innerhalb der Grenzen der Wahrscheinlichkeit oder nahe den beobachteten Werthen.

Mit der einfacheren Formel

$$K_5 = \left(\frac{\Delta}{A}\right)^2 \cdot \frac{As \cdot T}{5}$$

erhält man bei

	$\frac{A}{\Delta}$	As	T	$K_5$
Beryll . . . . .	4·33	5·30	1170°	66
Eisen . . . . .	7·17	6·36	1870	45
Iridium . . . . .	8·59	6·16	2230	36
Silber . . . . .	10·3	6·14	1230	15
Gallium . . . . .	11·7	5·53	300	2·4
Schwefel . . . . .	15·7	6·00	387	1·9
Aluminium . . . . .	10·6	5·79	1000	10·3
Phosphor . . . . .	17·5	5·80	317	1·6
Blei . . . . .	18·1	6·47	603	2·4
Wismuth . . . . .	21·1	6·42	533	1·5
Natrium . . . . .	23·6	6·75	369	0·97
Kalium . . . . .	45·4	6·63	335	0·24

u. s. w.

Verbindet man damit die Formel:

$$\frac{\varepsilon}{\alpha} = 22 \sqrt{\frac{\Delta}{As^3 \cdot \Delta s^3}}$$

und führt in gleicher Weise, wie oben (S. 769), diese Werthe in die Formel:

$$K_4 = 100 \Delta \left(\frac{\alpha}{\varepsilon}\right)^2$$

ein, dann erhält man gleichfalls

$$As \cdot \Delta s \sqrt[3]{\frac{A}{\Delta}} = \sqrt[3]{T \Delta s}$$

Nach der vorstehenden Formel:

$$\frac{\varepsilon}{\alpha} = 22 \sqrt{\frac{\Delta}{As^3 \cdot As^3}}$$

wird für

	$\frac{\varepsilon}{\alpha}$ berechnet	$\frac{\varepsilon}{\alpha}$ beobachtet (im Mittel)
Eisen .....	4·6	4·2
Platin .....	3·7	6·2
Gold .....	12·0	10·0
Silber .....	9·2	7·0
Blei .....	20·8	19·6
Antimon .....	18·3	22·0
Kupfer .....	5·5	5·6 u. s. w.,

somit schon ordentlich stimmende Werthe, selbst wenn, wie bei der Berechnung der letzten Werthe  $As = \text{Constant}$  gesetzt wurde.

Die letztere Formel und selbst unter der Voraussetzung, dass  $\overline{As^3}$  eine constante Zahl sei, genügt noch innerhalb weiterer Grenzen als Annäherung.

Wie schon Person zeigte, ist die latente Schmelzwärme der Metalle wesentlich abhängig von dem Elasticitätscoëfficienten. Stellt man diejenigen Elemente zusammen, für welche die latente Schmelzwärme bekannt ist, daneben die beobachteten und berechneten Werthe von  $\frac{\varepsilon}{\alpha}$  und von  $\varepsilon$ , wenn man die rechte Seite der Gleichung

$$\frac{\varepsilon}{\alpha} = 22 \sqrt{\frac{\Delta}{As^3 \cdot As^3}}$$

mit  $\alpha$  multiplicirt und dazu noch die Werthe  $\left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{2}{3}}$  und  $\sqrt[3]{Ts}$ , dann ergibt sich folgende Übersicht:

	Latente Schmelzwärme	$\frac{\varepsilon}{\alpha}$ berechnet	$\frac{\varepsilon}{\alpha}$ beobachtet	$\varepsilon$ berechnet	$\varepsilon$ beobachtet	$\left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{2}{3}}$	$\sqrt[3]{Ts}$
Palladium . . . .	36 3	7·9	4·20—11·23	0·000085	0·000094	4·33	4·6
Zink .....	28·1	7·0	3·33—5·02	0·000207	0·000150	4·37	4·0
Platin .....	27·2	3·7	6·67—8·58	0·000033	0·000056	4·37	4·0
Silber .....	21·1	9·2	6·55—7·04	0·000178	0·000145	4·71	4·1
Gallium .....	19·1	11·0	—	—	—	5·15	2·9
Brom .....	16·1	18·2	—	—	—	8·94	2·9
Kadmium . . . .	13·7	12·5	5·83—12·83	0·000360	0·000250	5·52	3·3

	Latente Schmelz- wärme	$\frac{\varepsilon}{\alpha}$ berechnet	$\frac{\varepsilon}{\alpha}$ beobachtet	$\varepsilon$ berechnet	$\varepsilon$ beobachtet	$\left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{2}{3}}$	$\sqrt[3]{Ts}$
Zinn.....	$\left\{ \begin{array}{l} 13.6 \\ 14.3 \end{array} \right.$	14.7	10.51—13.92	0.000341	0.000270	6.40	3.0
Wismuth.....	12.6	26.2	22.52—33.42	0.000340	0.000354	7.67	2.4
Jod.....	11.7	22.0	—	—	—	8.70	2.8
Schwefel.....	9.4	16.5	—	0.000116	—	6.25	4.3
Blei.....	5.5	20.8	17.97—19.79	0.000609	0.000560	6.92	2.7
Phosphor.....	4.8	12.7	—	—	—	6.76	3.9
Quecksilber...	2.8	17.8	—	0.001068	—	6.00	1.2

Diese Zahlenreihen bestätigen nicht nur die Zulässigkeit ähnlicher Formeln wie die soeben angewandte; sie bestätigen auch, dass die ganze Reihe der angeführten latenten Schmelzwärmewerthe in naher Beziehung zu den Werthen  $\left(\frac{A}{\Delta}\right)^{\frac{2}{3}}$  und dann zu  $\sqrt[3]{Ts}$  steht. Die Aufstellung einer empirischen, sich an diese Werthe anlehrende Formel mag unterbleiben.

**Tabellen<sup>1</sup> der Constanten der chemischen Elemente.**

Es bezeichnen

$A$  die Atomgewichte,

$\Delta$  die Dichtigkeiten — Wasser = 1,

$s$  die specifische Wärme bei 15—20°,

$\frac{A}{\Delta}$  die Atomvolumen,

$As$  die Atomwärmen,

$\Delta s$  die relative Wärme,

$t$  die Schmelztemperaturen,

$K$  die Zugfestigkeit in Kilogrammen pro Quadratmillimeter,

$\varepsilon$  der Elasticitätscoëfficient pro Kilogramm und Quadratmillimeter,

$\alpha$  der Ausdehnungscoëfficient durch Wärme pro 1° C. zwischen 0° und 100°.

<sup>1</sup> Diese Tabellen sind zum Vergleiche der im Texte benutzten Werthe angehängen. (Der Verf.)

## Tabelle

Elemente	$\frac{A}{\Delta}$	A	$\Delta$	$\frac{s}{\text{bei } 15-20^\circ}$
Kohlenstoff . . . . .	{ 3·43 5·45	12·0	2·2	{ 0·1700 Holzkohle 0·1700 Graphit 0·1200 Diamant
			3·5	
Bor . . . . .	{ 4·22 4·33	11·0	2·54	
			2·61	
Beryllium . . . . .	{ 4·33 5·55	9·1	1·64	0·5820
			2·10	
Nickel . . . . .	6·52	58·2	8·9	0·1056
Kobalt . . . . .	6·68	58·8	8·8	0·1067
Mangan . . . . .	6·85	55·0	8·0	0·1200
Kupfer . . . . .	7·11	63·3	8·9	0·0959
Eisen . . . . .	7·17	56·0	7·8	0·1115
Chrom . . . . .	7·69	52·3	6·8	0·1100
Rhodium . . . . .	8·53	104·1	12·2	0·0580
Iridium . . . . .	8·62	193·0	22·4	0·0350
Ruthenium . . . . .	8·66	104·0	12·0	0·0611
Osmium . . . . .	8·71	195·0	22·4	0·0312
Palladium . . . . .	8·87	106·5	12·0	0·0590
Platin . . . . .	9·01	194·6	21·6	0·0325
Zink . . . . .	9·07	65·3	7·2	0·0940
Titan . . . . .	9·08	48·1	5·3	0·1300
Vanadium . . . . .	9·25	51·3	5·5	0·1250 (?) berechnet
Wolfram . . . . .	9·51	184·0	19·1	0·0360
Gold . . . . .	10·09	196·7	19·5	0·0320
Silber . . . . .	10·26	107·9	10·5	0·0570 (0·0604 Nar.)
Aluminium . . . . .	10·43	27·1	2·6	0·2180
Molybdän . . . . .	11·16	96·0	8·6	0·0720
Silicium . . . . .	11·32	28·2	2·49	0·1900
Lithium . . . . .	11·86	7·0	0·59	0·9408
Uran . . . . .	12·83	240·0	18·7	0·0277
Kadmium . . . . .	13·02	112·0	8·6	0·0550
Arsen . . . . .	{ 13·16 15·95	75·0	4·7	0·0750
			5·7	
Germanium . . . . .	13·21	72·5	5·46	0·0750 (?) berechnet
Gallium . . . . .	13·25	70·0	5·96	0·0790
Magnesium . . . . .	13·80	24·0	1·74	0·2499
Quecksilber . . . . .	14·71	200·0	13·59	0·0333
Niobium . . . . .	14·92	94·0	6·3	0·0670 (?) berechnet
Indium . . . . .	15·33	113·5	7·4	0·0569



I.

	As	As	<i>t</i>	<i>K</i> in Kilogrammen pro Quadratmillimeter
C.....	{ 2·04 1·44	{ 0·37 0·60	Nicht geschmolzen; sehr hoch	In Krystallen sehr fest
Bo.....	2·58	{ 0·65 0·61	Sehr hoch	In Krystallen sehr fest
Be.....	5·30	{ 0·95 1·22	208 (?)	
Ni.....	6·15	0·95	1500	{ Fester als Fe im Verhält- niss 9:7, Wagner Zäher als Fe. Wagner
Co.....	6·23	0·94	1600	..
Mn.....	6·66	0·96	1700	..
Cu.....	6·08	0·85	1060	25 16—30 (20—36)
Fe.....	6·24	0·87	1500	40 30—50
Cr.....	5·75	0·75	1500	..
Rh.....	6·04	0·71	1800	..
Ir.....	6·76	0·78	1950	..
Ru.....	6·35	0·73	1800	..
Os.....	6·08	0·70	2300	..
Pd.....	6·29	0·71	1500	27
Pt.....	6·30	0·70	1780	30 24—40 (25—36)
Zn.....	6·14	0·68	430	6 5—16
Ti.....	6·25	0·69	1600 (?)	..
Va.....	6·41	0·69	Nicht geschmolzen	..
W.....	6·61	0·69	1700	..
Au.....	6·34	0·62	1050	20 10—30
Ag.....	6·14	0·60	950	22 16—30
Al.....	5·94	0·57	850	12 8—13
Mo.....	6·91	0·62	1550	
Si.....	5·35	0·42	Sehr hoch	..
Li.....	6·59	0·56	183	..
U.....	6·65	0·52	1500	..
Cd.....	6·16	0·47	500	3·5 2·3—4·8
As.....	5·63	{ 0·31 0·43	210 (flüchtig)	..
Ge.....	6·40	0·41	Unbestimmt	..
Ga.....	5·53	0·46	30	{ Ziemlich zähe, mit Messer schneidbar
Mg.....	6·00	0·44	600	Wenig fest
Hg.....	6·66	0·44	—40	..
Nb.....	6·40	0·42	Nicht geschmolzen	..
In.....	6·50	0·42	176	{ Weicher als Blei, ge- schmeidig, Papier färbend

Elemente	$\frac{A}{\Delta}$	A	$\Delta$	s
Schwefel . . . . .	15·61	32·0	2·05	0·1764
[Arsen . . . . .	15·95]	[Phosphor im Mittel 15·42]		
Zinn . . . . .	16·39	118·0	7·2	0·0548
Tantal . . . . .	16·89	182·5	10·8	0·035 theoretisch
Thallium . . . . .	17·14	204·0	11·9	0·0336
Phosphor . . . . .	{ 17·43 13·42	30·95	{ 1·8 2·3	0·1750
Antimon . . . . .	17·91	120	6·7	0·0492
Selen . . . . .	17·95	79·0	4·4	0·0880
Blei . . . . .	18·12	206·6	11·4	0·0310
Tellur . . . . .	20·28	127·8	6·3	0·0495
Thorium . . . . .	21·91	232·0	11·0	0·0276
Wismuth . . . . .	21·22	208·0	9·8	0·0308
Cerium . . . . .	21·79	141·5	6·5	0·0448
Zirkon . . . . .	21·81	90·5	4·25	0·0680
Didym . . . . .	22·31	145·0	6·5	0·0456
Lanthan . . . . .	22·35	138·2	6·2	0·0449
Natrium . . . . .	23·61	23·0	0·97	0·2934
Calcium . . . . .	25·47	40·0	1·57	0·1704
Jod . . . . .	25·71	127·0	4·94	0·0541
Chlor . . . . .	25·82	35·4	1·37	0·1800
Brom . . . . .	26·60	79·8	3·00	0·0850
Strontium . . . . .	34·68	87·4	2·52	0·0740
Barium . . . . .	36·05	137·0	3·80	0·0470
Kalium . . . . .	45·58	39·1	0·86	0·1655
Rubidium . . . . .	56·12	85·3	1·52	0·0770
Cäsium . . . . .	70·59	132·7	1·88	0·0480 (berechnet)
$\Delta$ der atmosphärischen Luft = 1				
Chlor, Gas . . . . .	14·76	35·4	2·450	0·1214
Fluor . . . . .	14·47	19·0	1·313	0·267 hypothetisch
Wasserstoff . . . . .	14·49	1	0·0695	3·4046
Sauerstoff . . . . .	14·32	15·87	1·1056	0·2182
Stickstoff . . . . .	14·44	14·05	0·9714	0·2440
$\Delta$ des Wassers = 1				
Davyum, Da . . . . .	15·96	150·2	9·39 <sup>1</sup>	
Erbium, E . . . . .	—	166	..	
Scandium, Sc . . . . .	14	44	3·1	
Ytterbium, Yb . . . . .	—	173	..	
Yttrium, Y . . . . .	—	89·6	..	

<sup>1</sup> 9·385 bei 25°.

	$\Delta s$	$t$	$K$
S.....5·63	0·36	114	..
[As..... Mi	..		
Sn.....6·49	0·40	235	3·0 1·7—4·3
Ta.....6·39	0·38	Nicht geschmolzen	..
Tl.....6·85	0·40	290	..
P.....5·43	{ 0·31	44	..
	{ 0·40		
Sb.....5·90	0·33	440	0·68 0·65—0·70
Se.....6·32	0·35	217	..
Pb.....6·41	0·35	330	1·8 1·3—2·4
Te.....6·34	0·32	455	..
Th.....6·40	0·30	{ 1200 (?)	..
		{ (berechnet)	
Bi.....6·39	0·30	275	0·97
Ce.....6·35	0·30	600	..
Zr.....6·15	0·29	Höher als bei Si	..
Di.....6·61	0·30	500	..
La.....6·24	0·28	500	..
Na.....6·75	0·28	97	Wenig fest
Ca.....6·74	0·27	..	..
J.....6·36	0·27	114	..
Cl.....6·37	0·25	—75	..
Br.....6·80	0·26	—7·3	..
Sr.....6·46	0·19	500 (?)	..
Ba.....6·44	0·18	475	..
K.....6·63	0·15	62	Wenig fest
Rb.....6·56	0·12	38	..
Cs.....6·40	0·09	27	..
Cl.....0·297	0·297		..
Fl.....0·250	0·351		sehr nieder
H.....0·235	0·238	—200° Pictet	
O.....0·241	0·242	—200 Wroblewski	
N.....0·236	0·237	—203	»

Andere Elemente sind noch

Decipium, Dp; Terbium, Tb,  $A = 163—163·8$  (C. R. 102);  
 Mosandrium, Ms, soll =  $Y\alpha + Tb$  sein;  $Y\alpha =$  Gadolinum, Gd, nach Marignac;  
 Norwegium, Ng; Rassium, Ru (1888);  
 Samarium,  $Y\beta$  (?),  $A = 150$  (Clève);  
 Thulium, Tl. Ferner zerfällt (nach Weisbach) das Didym in Praseodym,  
 $A = 143·6$  und Neodym,  $A = 140·8$ .

## Tabelle

## Extreme der in Tabelle I

Elemente	$\Delta$	$s$					
Kohlenstoff:	Holzkohle	1·45—1·7	Holzkohle	0—24°	0·1658	} H. F. Weber	
	Gaskohle	1·885		0—224	0·2385		
	Graphit	2·17—2·32	Graphit	100	0·1604		
	Diamant	3·49—3·53		977	0·4670		
				15—1040	0·366		Dawes
			Diamant	—50	0·0635		} H. F. Weber
				+10	0·1128		
				140	0·2218		
			985	0·4589			
Bor:	Schwarze Krystalle		Amorph	18—48°	0·2540	Kopp	
		2·54	Krystall.	0—108	0·2520	Dana	
	Gelbe Krystalle		Krystall	etwas Al	enthaltend		
		2·62		27°	0·2382	} H. F.	
			233	0·3663	} Weber		
Beryllium		1·64, 2·10		0—100	0·4246	} Nilson	
		2·13		0—300	0·5060		
					0·5820		
Nickel		8·6—9·1		.....	0·1035	Dulong	
				14—97	0·1092	Regnault	
Kobalt		8·4—9·2		9—97	0·1067		
Mangan		8·0—8·1		14—97	0·1217	u. 0·1441 unrein, Regnault	
Kupfer		8·8—8·95		0—100	0·0951	Regnault	
					0·0920	Kopp	
Eisen		7·79—8·01		0°	0·1116	Byström	
				100	0·1138	»	
				1400	0·4032	»	
				4—27	0·1081	Pettersen	
Chrom		6·2—6·9		22—51	0·0998	Kopp	
					0·1200		
Rhodium		11·2—12·4		10—97	0·0580	Regnault	
Iridium		21·5—22·42		0—100	0·0323	Violle	
				0—1400	0·0401	»	
Ruthenium		11·3—12·86		0—100	0·0611	Bunsen	
Osmium		22·45—23·0		20—100°	0·03063	Regnault	
					0·03113	»	
					0·03130	»	

## II.

enthaltenen Constanten.

Ele- mente	<i>t</i>	$\alpha$	$\epsilon$	
C	unbekannt	Diamant 0·0000013 Landolt	..	
		» 0·00000118 Fizeau	..	
		Graphit 0·0000080 Landolt	..	
Bo	unbekannt	..	..	
Be	unter 960 Carnelley 900 (?)	..	..	
Ni	1400—1600	0·0000128 Fizeau	..	
Co	1500—1800	0·0000124 »	..	
Mn	1600—1900	..	..	
Cu	1054—1093	{ 0·0000168 Kopp	0·0000175 { 0·0000803 Wert- 0·0000189 Dulong	0·0000876
Fe	1500—1600	{ 0·0000116 Borda	0·0000120 { 0·0000480 Werth. 0·0000144 Trough.	0·0000520
Cr	1500—1800	..	..	
Rh	1750—2000	0·0000085 Fizeau	..	
Ir	1950—2200	{ 0·0000068 Fizeau	0·0000069	..
		{ 0·0000071 »		
Ru	..... 1800	{ 0·00000767 Fizeau	0·0000090	..
		{ 0·00000991 »		
Os	2500 Carn.	0·0000066 Fizeau	..	

Elemente	$\Delta$	s	
Palladium . . . . .	11·40—12·05	0—100	0·0592 Regn. } 0·0582
		0—1260	0·0714 Violle { 0·0840 Oswald
Platin . . . . .	21·3—22·5	0—100	0·0325 Violle
		0—1180	0·0388 »
Zink . . . . .	6·9—7·3	20—50	0·0932 Kopp 0·0909 Bède
		0—100	0·0935 Bunsen (0—100)
			und 0·0956
Titan . . . . .	5·28—5·30	..	0·1300 Meyer
Vanadium ..	5·5	..	0·1250 (?) berechnet
Wolfram ...	18·8—19·3	6—15	0·0350 Del. u. Marc.
			0·0364
Gold . . . . .	19·3—19·6	0—100	0·0316 Violle
		12—1000	0·0324 Regn.
Silber . . . . .	10·48—10·51	0—100	0·0559 Bensen
			0·0604 Nacc.
Aluminium ..	2·56—2·67	20—50	0·2020 Kopp
		15—100	0·2122 Regn.
			und 0·2253
Molybdän ..	8·6	5—15	0·0659 De la Rive
			0·0722
Silicium ....	2·49	bei 22	0·1700 H. F. Weber
		0—100	0·1940 »
		0—200	0·2020 »
Lithium . . . . .	0·59	27—100	0·9408 Regn.
Uran . . . . .	18·5—18·7	..	0·0277 Zimmermann
Kadmium ...	8·6—8·69	0—100	0·0548 Bunsen
			0·0557
Arsen: amorph	4·71	amorph 21—65°	0·0758 Wüllner
geschmolzen	4·71	krystall. 31—68	0·0830 »
krystall.	5·73		
Germanium ..	5·46		0·0750 berechnet
Gallium . . . . .	5·96	12—13	0·0790 Bertholet
		106—119 flüssig	0·0802 »
Magnesium ..	1·74	20—50	0·2450 Kopp
			0·2499
Quecksilber ..	13·55—13·60	—60—+40	0·0318 Regn.
		5—50	0·0333 Kopp

Elemente	t	α	ε
Pd	1370—1500 1500 Carr.	{ 0·0000090 Fizeau 0·0000118 »	{ 0·0000106 0·0000850 Werth. 0·0001022 »
Pt	1780 Violle bis 2500	{ 0·0000075 Trough. 0·0000099 »	{ 0·0000090 0·0000544 Werth. 0·0000587 »
Zn	410—423	{ 0·0000294 0·0000311 Smeat.	{ 0·0000296 0·0001037 Werth. 0·0001475 Weisb.
Ti	{ nicht geschmolzen	..	..
Va	..	..	..
W	sehr hoch	..	..
Au	1035—1097	{ 0 0000140 Ellic. 0 0000155 Lapl.	{ 0·0000148 0·0001230 Werth. 0·0001791 »
A	916—1040	{ 0·0000191 Lapl. 0·0000208 Trough.	{ 0·0000198 0·0001360 Werth. 0·0001400 »
Al	700—1300 850 Carn.	{ 0·0000222 Winn. 0·0000235 Land.	{ 0·0000227 0·0001350 Weisb. 0 0001469 »
Mo	{ 1500—1600 sehr hoch	..	..
Si	sehr hoch	{ 0·00000267 Fizeau 0·00000780 Land.	0 00000276 ..
Li	180—183		
U	{ Niedriger als Fe (Zimmermann)		..
Cd	315—360 bis 500	{ 0·0000307 Fizeau 0·0000313 Kopp	{ 0·0000310 0·0001884 Werth. 0·0002488 »
As	210 Bei sehr schwacher Glüh- hitze (Carn.)	{ 0·0000056 Fizeau 0·0000060 Land.	..
Ge	?	..	..
Ga	30 { Berthol. Carn.	..	..
Mg	450—750 750 Carn.	{ 0·0000269 Fizeau 0·0000276 »	0·0000274 ..
Hg	—39·5	bei 2—2·2° > 10—30 > 50—100	0·0001741 (cubisch, Militzer) 0·0001795 ( > Regnault) 0·0001810 ( > > )

Elemente	$\Delta$		$s$
Niobium	6·3		0·0670 (?) berechnet
Indium	7·2—7·42	0—100	0·0569 Bunsen
Schwefel	{ amorph 1·92—2·06 { krystall. 1·96—2·075	16—97° geschmolzen	0·1764—0·1844 Regn.
		17—45 krystall.	0·1630 Kopp
		117—146 flüssig	0·2346 Person
Zinn	7·18—7·30	0—100	0·0545 Kopp
		230—350 flüssig	0 0637
Tantal	10·4—10·78		0·035 berechnet
Thallium	11 8—11·9	17—100	0·0336 Regn.
Phosphor	gewöhnl. 1·81—1·84 flüssig 1 76 roth 2·2—2·34 metallisch 2·34	0° gewöhnl.	0·1690 Regn.
		gelb	0·1788 Pers.
		13—36	0·202 Kopp
		49—98° flüssig	0·2045 Pers.
Antimon	6·62—6·75	15—98 roth	0·1698 Regn.
		13—100°	0·0486 Bède
Selen	krystall. 4·5—4·8 amorph 4·2	12—200	0·0507 »
		22—60 krystall.	0·0840 Wüllner
		18—38 amorph.	0·0953 »
		21—57	0·1123 »
		.. . .	0·0762 Regn.
Blei	11·35—11·45	78—11	0·0306 Regn.
		19—48	0·0314 »
		340—450 flüssig	0·0402 Person
Tellur	6·2—6·25	21—50 destillirt	0·0475 Kopp
		nicht destillirt	0·0516 Regn.
Thorium	10·6—11·1		0·0276 Nilson
Wismuth	9·73—9·93	9—102	0·0297 Bède
		20—48	0·0303 Kopp
		280—380 flüssig	0·0363 Person
Cerium	6·2—6 7	0—100	0·0448 Hillebr.
Zirkon	4 15	0—100	0 0660 Dana 0·0700
Didym	6·5—6 54	0—100	0·0456 Hillebr.
Lanthan	6·1—6·2	0—100	0·0449 »



Ele- mente	$t$	$\alpha$		$\epsilon$	
Nb	{	? nicht		..	
		geschmolzen		..	
In	176 Carn.	{ 0·0000417 Fiz. 0 0000459 »	0·0000438	..	
S	111—115	{ 0·0000641 Fiz. 0 0000813 (Spring.)	— kryst.	..	
Sn	228—236	{ 0·0000194 Lapl. 0·0000256 Stampfer	0·0000227	{ 0·0002397 Werth. 0·0002700 »	0·0002550
Ta	{	nicht		..	
		geschmolzen		..	
Th	290 Carn.	{ 0·0000302 Fiz. 0·0000313 «	0·0000308	..	
P	44·2 farblos	{ 0·0000120 Kopp 0·0000148 Ermann	—	..	
	255 roth	{ 0·0000068 Pisati		..	
Sb	425—450	{ 0·0000108 Smeat. 0·0000115 Fiz.	0·0000112	{ 0·0002076 Werth. 0·0003181 »	0·0002628
Se	150—250	{ 0 0000368 Fiz. 0·0000379 »	—	..	
	217 Carn.	{ 0·0000666 Spring.		..	
Pb	322—335	{ 0 0000272 (?) 0 0000285 (Dan.) 0·0000312 Kopp	0 0000298	{ 0·0005546 Werth. 0·0005634 »	0·0005580
Te	455(?)Carn.	{ 0·0000168 Fiz. 0·0000370 Spring.	—	..	
Th	{	fast unschmelzbar,		..	
		verbrennt bei Rothgluth		..	
Bi	246—276	{ 0·0000121 Fiz. 0·0000139 »	0·0000130	{ 0·0003040 Werth. 0·0004044 »	0·0003542
Ce	{	Über 437		..	
		unter 1000 (Carn.)		..	
Zr	höher als	{ 0·00000233 Fiz.	Je nach der Axen-	..	
	Si (Carn.)	{ 0·00000444 »	richtung verschieden	..	
Di	{	nicht		..	
		geschmolzen		..	
La	sehr hoch				

Elemente	$\Delta$	$s$	
Natrium bei 4°	0·984	-28-6°	0·2934
» 15	0·0972		
Calcium . . . . .	1·56—1·58	0—100	0·1804 Bunsen
bei 15°	1·88 Setterb.		0·1670
Jod . . . . .	4·94—4·95	9—98	0·0541 Regn.
Chlor flüssig	1·33—1·38	.. ..	0·1214 ?
gasförmig	2 45 (Luft-)		0·1800 Meyer
Brom . . . . .	2·97—3·12	-78—20 fest	0·0843 Regn.
		+13—45 flüssig	0·1071 Andrews
		13—58	0·1129 »
Strontium . . . . .	2·50—2·54	.. ..	0·0740 ..
Barium . . . . .	3·75—4·00	.. ..	0 0470 ..
Kalium . . . . .	0·86—0·87	-78—0	0·1655 Regn.
Rubidium . . . . .	1·52	.. ..	0·0770
Cäsium . . . . .	1·88	.. ..	0·0480 (?) berechnet

## Änderung der speci-

nach Tomlison

Kohlenstoff . . . . .	.. ..
Bor . . . . .	.. ..
Nickel . . . . .	.. ..
Kupfer . . . . .	0·09008+0 0000648 t
Eisen . . . . .	0·10600+0·0001452 t
Platin . . . . .	0·03198+0·0000125 t
Zink . . . . .	0·09009+0·0000748 t
Gold . . . . .	.. ..
Silber . . . . .	{ 0·05466+0 0000436 t
	{ 0 09411+0·0000106 t
(für deutsches Silber, sagt Tomlison)	
Aluminium . . . . .	0 20700+0·0002304 t
Silicium . . . . .	.. ..
Kadmium . . . . .	.. ..
Zinn . . . . .	0 05231+0·0000722 t
Antimon . . . . .	.. ..
Blei . . . . .	0·02998+0·0000306 t

A. Naccari bestimmte zwischen 15 und 320°.

Elemente	$t$	$\alpha$	$\varepsilon$
Na . . . . .	90—97°	0·0000711 (Hagen)	.
Ca . . . . .	höher als Sr (Car.)	.	.
J . . . . .	107—114	.	.
Cl . . . . .	—75	.	.
Br . . . . .	—7·3	.	.
Sr . . . . .	höher als Ba (Car.)	.	.
Ba . . . . .	475 (Carn.)	.	.
K . . . . .	58—62·5	0·0000842 (Hagen)	.
Rb . . . . .	38—38·5	.	.
Cs . . . . .	26·5—27	.	.

fischen Wärme (s).

nach Naccari

- 0·1520+0·000321  $t$  (H. F. Weber) (0—977°)
- 0·2148+0·000650  $t$  (H. F. Weber) (0—233 )
- 0·10427+0·000907  $t$
- 0·09205+0·000231  $t$
- 0·10442+0·001029  $t$
- ..
- 0·09070+0·000490  $t$
- ..
- 0·05449+0·000393  $t$
- ..
- 0·2116+0·000449  $t$
- 0·1581+0·000193 (H. F. Weber) (0—232°)
- 0·05461+0·000433  $t$
- ..
- 0·04864+0·000344  $t$
- 0·02973+0·000457  $t$