

1. *Ueber die specifischen Wärmen verschieden zusammengesetzter Gläser; von A. Winkelmann.*

Eine Untersuchung über die thermische Leitungsfähigkeit verschiedener Gläser, die im hiesigen Institut von Hrn. Paalhorn ausgeführt wurde, liess es wünschenswerth erscheinen, die specifische Wärme der Gläser kennen zu lernen, um eventuell einen Zusammenhang der genannten beiden Grössen aufzudecken. Dies war die erste Veranlassung zu der im Folgenden mitgetheilten Untersuchung, die sich auf 18 verschiedene Gläser erstreckt; gleichzeitig sollte dieselbe Aufschluss darüber geben, mit welcher Genauigkeit sich die specifische Wärme eines Glases berechnen lässt, wenn seine chemische Zusammensetzung gegeben ist.

Eine systematische Untersuchung verschiedener Gläser in Bezug auf ihre specifische Wärme ist, soviel mir bekannt, bisher noch nicht ausgeführt. Die von Regnault und Dulong und Petit untersuchten vier Gläser<sup>1)</sup> zeigen in ihren specifischen Wärmen nur geringe Unterschiede (4 Proc.). Dagegen ist die specifische Wärme einer grösseren Anzahl von Mineralien untersucht und zwar von F. E. Neumann<sup>2)</sup>, Regnault<sup>3)</sup>, Kopp<sup>4)</sup>, Oeberg<sup>5)</sup> und Sella.<sup>6)</sup> Aus diesen Untersuchungen geht hervor, dass sich die specifische Wärme eines Minerals aus der chemischen Zusammensetzung berechnen lässt; allerdings kommen Unterschiede zwischen Beobachtung und Berechnung von 8 Proc. vor.

1) Landolt-Bornstein, Physik.-chem. Tabellen p. 70 c. 1883.

2) F. E. Neumann, Pogg. Ann. 28. p. 1. 1831.

3) Regnault, Pogg. Ann. 58. p. 60. 243. 1841.

4) Kopp, Lieb. Ann. 3. Suppl. p. 1. 289. 1864.

5) Oeberg, Stockholmer Academ. Nr. 8. p. 43. 1885; Beibl. 12. p. 521. 1888.

6) Sella, Göttinger Nachrichten p. 311. 1891.

Hr. Dr. Schott stellte aus den Beständen des hiesigen glastechnischen Laboratoriums mit bekannter Bereitwilligkeit die zu untersuchenden Gläser nebst Angabe ihrer chemischen Zusammensetzung zur Verfügung und gewährte durch vielfache Winke sowohl bei der Auswahl der Gläser als auch bei der späteren Ausführung der Versuche eine werthvolle Unterstützung.

### § 1. Methode.

Die angewandte Methode war die Regnault'sche. Die Gläser wurden in kleinen Stücken in ein Körbchen von Messingdraht gelegt und dieses wurde in einem Heizapparate an einem Seidenfaden so befestigt, dass das Gefäss des die Temperatur angegebenden Thermometers sich in der Mitte des Körbchens befand. Der Heizapparat bestand aus drei coaxialen Cylindern; durch die beiden Zwischenräume dieser Cylinder strömte der Wasserdampf eines Kochapparates, während in dem inneren Cylinder sich das Körbchen mit dem Thermometer befand. Der zuletzt genannte Cylinder war unten durch eine aufgeschliffene Metallplatte verschliessbar und trug oben eine ebenfalls aufgeschliffene Metallplatte, in der sich ein gut schliessender Kork befand, der das Thermometer und den Seidenfaden hindurchliess.

Nachdem die Temperatur des Thermometers hinreichend lange constant geworden war (es nahm dies etwa  $2\frac{1}{2}$  Stunden in Anspruch), wurde das Körbchen mit den Glasstücken in ein unter den Heizapparat geschobenes Calorimeter herabgelassen, unmittelbar, nachdem durch einen Gehülfen die untere Verschlussplatte des Cylinders zur Seite geschoben war.

Das cylinderförmige Calorimeter von 10 cm Höhe und 9 cm Durchmesser bestand aus Messing; die benutzte Wassermenge war rund 500 g. Das Calorimeter stand zum Schutze gegen äussere Einflüsse auf drei Korkstückchen in einem zweiten Cylinder von 10,8 cm Durchmesser.

Das im Calorimeter verwandte Thermometer war in  $0,1^{\circ}$  getheilt;  $1^{\circ}$  hatte eine Länge von 0,8 cm, sodass man mit Hülfe einer Lupe noch  $0,01^{\circ}$  ablesen konnte; es wurde mit einem Normalthermometer Nr. 233, dessen Angaben auf das Gasthermometer reducirt waren, verglichen.

Das im Heizapparate gebrauchte Thermometer war gleich-

falls in  $0,1^\circ$  getheilt; da die abzulesenden Temperaturen in der Nähe von  $100^\circ$  lagen, wurde die Correction durch directe Beobachtung in Wasserdämpfen ermittelt.

In dem Calorimeter befand sich ausser dem Thermometer noch ein Rührer, der vor dem Eintauchen des Körbchens gebraucht wurde, um den Gang der Temperatur festzustellen und diesen zur späteren Ermittlung des Einflusses der Umgebung zu benutzen. Nach dem Eintauchen des Körbchens wurde mit diesem selbst, durch den Seidenfaden gehalten, das Rühren bis zum Schlusse des Versuches fortgesetzt.

### § 2. Berechnung der Versuche.

Die Berechnung eines Versuches wurde nach der Formel

$$(p \cdot c + B)\{T - (t_2 + \Delta t_2)\} = (P + A)(t_2 + \Delta t_2 - t_1)$$

ausgeführt. Es bedeutet:

$p$  das Gewicht des untersuchten Glases in Gramm;

$c$  die gesuchte spezifische Wärme des Glases;

$P$  das Gewicht des Wassers in Gramm;

$A$  den Wasserwerth des Calorimeters, Rührers und Thermometers;

$B$  den Wasserwerth des Messingkörbchens;

$T$  die Temperatur der Substanz vor dem Eintauchen;

$t_1$  die Anfangstemperatur des Calorimeters;

$t_2$  die Endtemperatur des Calorimeters;

$\Delta t_2$  die Correction an  $t_2$ , die den Einfluss der Umgebung berücksichtigt.

Zur Bestimmung des Wasserwerthes  $A$  wurde die spezifische Wärme des Messings gleich  $0,093$  gesetzt. Das Calorimeter, welches nahe bis an den Rand gefüllt wurde, wog  $142,70$  g, der Wasserwerth ist  $13,27$ . Der Wasserwerth des Rührers und Thermometers, letzterer aus den Dimensionen abgeleitet, ist  $1,86$ ; daher  $A = 15,13$ .

Es wurden zwei Körbchen aus Messing benutzt; ihr Wasserwerth ist  $2,864$  resp.  $2,184$ ; vgl. § 3.

Um die Berechnung der Correction  $\Delta t_2$  zu zeigen, möge eine vollständige Beobachtungsreihe mitgetheilt werden. Die Anfangstemperatur wurde meistens so gewählt, dass keine oder nur eine geringe Aenderung mit wachsender Zeit eintrat; es wurde dies dadurch erreicht, dass man das Calorimeter längere

Zeit vor dem Versuche an den für dasselbe bestimmten Ort brachte und dann unmittelbar vor dem Versuche das Gewicht des Wassers bestimmte. Die Ablesungen der Calorimeter-temperaturen geschahen von 20 zu 20 Secunden.

Glas S. 201.

Temperatur	Secunden	Intervalle	
14,645	0	0	
14,655	60	3	
14,655	120	6	
14,660	180	9	
—	200	10	Mom. d. Eint.: $\Theta_0 = 14,662$ .
15,08	220	11	
17,92	240	12	
18,06	260	13	
18,065	280	14	
18,065	300	15	$\Theta_n = 18,065$ .
18,055	320	16	
18,05	340	17	
18,04	360	18	
18,03	380	19	
18,03	400	20	
18,02	420	21	

Die Bestimmung der Correction  $\Delta t_2$  wurde nach der Formel von Pfaundler<sup>1)</sup>

$$\Delta t_2 = n \cdot v + \frac{v' - v}{t' - t} \left\{ \sum_1^{n-1} \Theta + \frac{\Theta_0 + \Theta_n}{2} - n \cdot t \right\}$$

ausgeführt. Hier bedeutet:

$v$  die Temperaturänderung pro Intervall von 20 Sec. vor dem Eintauchen; in dem obigen Beispiel ist

$$v = -\frac{0,015}{9} = -0,0017;$$

$v'$  die Temperaturänderung pro Intervall nach dem Eintauchen, nachdem diese Aenderung constant geworden ist; in dem obigen Beispiel trifft dies vom 15. Intervall an zu; es ist

$$v' = \frac{0,045}{6} = 0,0075$$

$t$  die mittlere Temperatur vor dem Eintauchen,  $t = 14,65$ ;

$t'$  die mittlere Temperatur nach dem Eintauchen, nachdem  $v'$  constant geworden,  $t' = 18,04$ ;

$\Theta_0$  die Temperatur im Moment des Eintauchens,  $\Theta_0 = 14,662$ ;

1) Pfaundler, Pogg. Ann. 129. p. 117. 1866.

$\Theta_n$  die Endtemperatur nach dem Ausgleich,  $\Theta_n = 18,065$ ;  
 $n$  die Zahl der Intervalle von  $\Theta_0$  bis  $\Theta_n$ ,  $n = 5$ .

Mit diesen Werthen wird  $\Delta t_2 = 0,0245$ , ferner  $(t_2 + \Delta t_2 - t_1) = (\Theta_n + \Delta t_2 - \Theta_0) = 3,427$ .

Bei dem so schnell verlaufenden Versuche lässt sich mit genügender Genauigkeit die Berechnung der Correction etwas kürzer in folgender Weise gestalten. Es werden  $v$  und  $v'$  berechnet; die Anfangstemperatur ist 14,662, die Endtemperatur 18,065 wie oben. Für das Intervall 10—11 beträgt die Correction nahezu  $v$ , weil die Temperatur 15,08 nur wenig von 14,66 abweicht. Unter der gleichen Voraussetzung beträgt die Correction für das Intervall 11—12  $\frac{1}{2}(v' + v)$ ; für jedes Intervall 12—15 beträgt die Correction  $v'$ , weil die Temperatur sich nur wenig ändert. Man hat daher

Intervall 10—11,	Correction = $v$	=	- 0,0017
,, 11—12,	,, = $\frac{1}{2}(v' + v)$	=	+ 0,0029
,, 12—15,	,, = $3 v'$	=	+ 0,0225
			$\Delta t_2 = + 0,0237$

in naher Uebereinstimmung mit dem früher bestimmten Werth  $\Delta t_2 = 0,0245$ .

Ferner war in dem oben angegebenen Versuche:  $T = 99,24$ ;  
 $P = 534,23$ ;  $A = 15,13$ ;  $B = 2,864$ ;  $p = 107,21$ ;  $t_2 + \Delta t_2 = 18,089$ ;  $t_1 = 14,662$ .

Diese Werthe liefern  $c = 0,1897$ .

Es möge bemerkt werden, dass die Correction  $\Delta t_2$  im Mittel 0,023 betrug, und da die Temperatursteigerung, die das Calorimeter erfuhr, grösser als  $3^\circ$  war, ist  $\Delta t_2$  geringer als 1 Proc. dieses Werthes.

### § 3. Beobachtungen.

Im Folgenden sind die Beobachtungen nach der Grösse der specifischen Wärme geordnet. In der zweiten Verticalreihe ist neben der fortlaufenden Nummer die Fabriknummer des betreffenden Glases angegeben. Die Bedeutung der an der Spitze der Reihen stehenden Buchstaben ist die gleiche wie in § 2.

Tabelle I.

A = 15,13.

Fortl. Nr.	Fabrik-Nr.	T	$t_2 + \Delta t_2$	$(t_2 + \Delta t_2) - t_1$	P	B	p	c	Mittel von c
1	S. 185	99,34	19,83	3,556	532,48	2,864	93,26	0,2319	0,2318
		99,47	17,48	3,590	542,14	2,184	96,22	0,2309	
		99,42	18,87	3,772	529,79	2,184	100,31	0,2326	
2	S. 205	99,50	17,80	3,430	542,11	2,864	94,33	0,2176	0,2182
		99,05	17,35	3,550	541,70	2,184	100,67	0,2186	
		99,01	19,50	3,609	530,10	2,184	103,30	0,2184	
3	172III	99,42	17,98	3,231	520,49	2,864	87,87	0,2090	0,2086
		99,40	18,71	2,827	518,67	2,864	76,06	0,2082	
4	164III	99,46	17,69	3,770	529,33	2,184	112,02	0,2046	0,2044
		99,50	17,51	3,431	516,16	2,864	94,88	0,2041	
5	802	99,45	18,29	3,376	508,10	2,864	93,08	0,2031	0,2038
		99,77	18,39	3,295	522,10	2,864	92,95	0,2032	
6	16III	99,90	18,09	3,475	526,94	2,184	101,80	0,2050	0,1988
		99,66	18,65	4,018	513,86	2,184	120,81	0,1991	
7	165III	99,60	18,77	3,759	514,51	2,184	113,06	0,1986	0,1958
		99,50	19,13	3,977	519,27	2,184	124,10	0,1955	
8	1419	99,50	17,41	3,316	526,47	2,864	96,90	0,1962	0,1907
		99,71	18,01	3,657	526,09	2,864	111,72	0,1912	
9	S. 201	99,40	18,78	3,745	531,26	2,184	121,88	0,1903	0,1901
		99,24	18,09	3,427	534,23	2,864	107,21	0,1897	
10	290	99,20	18,29	3,652	524,95	2,184	116,72	0,1901	0,1887
		98,98	17,32	3,541	525,52	2,864	108,13	0,1904	
11	665	99,58	18,81	3,460	530,53	2,864	108,68	0,1887	0,1887
		99,55	18,06	3,767	513,14	2,184	117,92	0,1886	
12	121III	99,41	17,52	3,475	514,01	2,864	103,76	0,1888	0,1644
		99,78	19,56	3,850	541,67	2,864	144,75	0,1648	
13	S. 206	99,74	17,31	3,942	525,46	2,184	144,18	0,1642	0,1617
		99,61	18,10	3,632	530,75	2,864	130,70	0,1642	
14	S. 95	99,64	17,53	3,355	581,65	2,184	124,93	0,1613	0,1589
		99,58	19,40	3,096	531,38	2,184	116,63	0,1623	
15	1442	99,39	17,58	3,130	531,47	2,184	115,90	0,1616	0,1464
		98,97	18,82	3,595	537,89	2,184	142,72	0,1585	
16	S. 120	99,01	17,48	3,572	524,05	2,864	130,78	0,1587	0,1398
		99,15	19,40	3,575	524,85	2,184	138,07	0,1595	
17	O. 331	99,10	18,62	3,443	529,03	2,864	139,52	0,1463	0,1359
		99,19	17,21	3,390	530,07	2,184	138,72	0,1468	
18	S. 163	99,27	18,00	3,391	528,30	2,864	135,64	0,1461	0,1257
		99,59	19,03	3,695	529,03	2,184	163,08	0,1398	
19	S. 163	99,70	19,33	3,787	522,22	2,184	165,42	0,1399	0,08174
		99,43	17,87	3,595	512,05	2,184	155,12	0,1357	
20	O. 331	99,42	17,97	3,640	512,51	2,184	157,57	0,1358	0,08205
		99,30	18,07	3,551	521,78	2,184	156,45	0,1361	
21	S. 163	99,50	17,42	3,634	533,43	2,184	176,28	0,1254	0,08188
		99,51	18,68	3,250	521,23	2,864	148,46	0,1260	
22	S. 163	99,50	18,34	3,396	469,64	2,864	214,30	0,08180	0,08174
		99,50	18,19	3,417	471,48	2,864	214,63	0,08188	
23	S. 163	99,37	18,38	3,410	550,15	2,184	263,46	0,08205	0,08205
		99,37	18,38	3,410	550,15	2,184	263,46	0,08205	

Die Differenz der Einzelwerthe erreicht bei keinem Glase 1 Proc.; das Glas Nr. 5 zeigt die Maximaldifferenz von 0,93 Proc. Jene Gläser, für welche drei Beobachtungen angestellt sind, wurden zuerst untersucht; später begnügte man sich mit zwei Beobachtungen als ausreichend.

Die Frage, ob die Versuche *constante* Fehlerquellen enthalten, hat sich besonders auf drei Punkte zu erstrecken: 1. Besitzt die Substanz im Moment des Eintauchens jene Temperatur, die sie im Heizapparate hatte? 2. Welchen Einfluss hat ein Fehler in dem Wasserwerthe *A* auf das Resultat? 3. Wie wirken *constante* Fehler in den Temperaturangaben?

ad 1. Da das Körbchen mit der Substanz unmittelbar nach dem Oeffnen des Schiebers in sehr kurzer Zeit (einem Bruchtheil einer Secunde) in das Wasser des Calorimeters, welches eine vorher genau fixirte Stellung hatte, eingetaucht wurde, ist die Wärmeabgabe an die äussere Luft nur gering. Regnault<sup>1)</sup> hat gezeigt, wie man derselben Rechnung tragen kann, indem man die Erwärmung des Calorimeters durch eine Substanz *ohne* Körbchen und dann durch die gleiche Substanz *mit* dem Körbchen beobachtet. Ich habe drei Versuche mit einem Körbchen allein (d. h. ohne Glas, im übrigen aber in der gleichen Weise wie bei den sonstigen Versuchen) ausgeführt und für den Wasserwerth des Körbchens, das aus Messingdraht bestand, 2,184 gefunden. Da das Körbchen 24,23 g wiegt, so würde sich mit der specifischen Wärme 0,093 des Messings, für den Wasserwerth 2,251 berechnen. Der beobachtete Werth 2,184, der dem abkühlenden Einflusse des Weges vom Heizgefäss zum Calorimeter Rechnung trägt, wurde den Berechnungen zu Grunde gelegt. Berechnet man aus diesem Werthe die (scheinbare) specifische Wärme des Messings, so findet man 0,09015. Mit diesem Werthe wird der Wasserwerth des zweiten Körbchens von 31,76 g gleich 2,864, der der Berechnung zu Grunde gelegt ist. Es wurde ferner zur Controlle die specifische Wärme des Messings untersucht. Zu dem Zwecke wurden 335,77 g Messing in das Körbchen, dessen Wasserwerth 2,864 ist, gebracht und in der gewöhnlichen Weise untersucht. Die Resultate der beiden Beobachtungen sind folgende:

1) Regnault, Pogg. Ann. 122. p. 272. 1864.

$T$	$(t_2 + \Delta t_2)$	$\frac{(t_2 + \Delta t_2)}{t}$	$P$	$A$	$B$	$p$	$c$
98,99	17,92	5,078	580,28	15,13	2,864	835,77	0,09820
99,07	20,46	4,992	522,82	15,13	2,864	835,77	0,09821

Dass die beiden Werthe von  $c$  fast identisch sind, beruht auf Zufall.

Um den Einfluss eines Fehlers in dem Wasserwerthe  $B$  auf das Endresultat zu zeigen, wurde in dem Beispiel des § 2 der Wasserwerth von  $B$  um 1 Proc. grösser angenommen. Man erhält dann für die spezifische Wärme 0,1894, statt des früheren Werthes 0,1897, also eine Differenz von 0,16 Proc.

ad 2. Der Wasserwerth  $A$  des Calorimeters, Rührers und Thermometers lässt sich experimentell nur schwer bestimmen. Das Calorimeter, welches nahe bis zum Rande gefüllt war, repräsentirt nach dem Einbringen der Substanz einen etwas grösseren Wasserwerth als vorher. Beim Thermometer ist wegen der schlechten Wärmeleitung des Glases eine Unsicherheit über das Glasgewicht vorhanden, welches in Rechnung zu ziehen ist; dieser Einfluss ist um so grösser, je dicker der Stiel des Thermometers ist. Es hat aber bei dem benutzten grossen Wassergewicht selbst ein grösserer Fehler von  $A$  nur einen kleinen Einfluss auf  $c$ ; würde man in  $A$  einen Fehler von 3 Proc. voraussetzen, so würde sich in dem früher gegebenen Beispiel  $c$  bloß um 0,10 Proc. ändern.

ad 3. Bei der Temperaturdifferenz  $\{T - (t_2 + \Delta t_2)\}$  ist ein kleiner Fehler in den Hunderteln ohne Belang. Bei der Temperaturdifferenz  $(t_2 + \Delta t_2 - t_1)$  ist dagegen ein Fehler von grösserer Bedeutung; da aber beide Temperaturen  $t_1$  und  $t_2$  an dem gleichen Thermometer abgelesen werden, ist ein *constanter* Fehler, der  $0,01^\circ$  überschreitet, unwahrscheinlich; dieser hätte auf  $c$  einen Einfluss von 0,33 Proc.

Fasst man das Gesagte zusammen, so ergibt sich, dass die *constanten* Fehler im ungünstigsten Falle zusammen die Höhe von 0,6 Proc. erreichen.



§ 4. Berechnung der specifischen Wärmen aus der chemischen Zusammensetzung.

Nach dem Wöstyng'schen Gesetz<sup>1)</sup> ist

$$C = \frac{n_1 \cdot a_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot a_2 \cdot c_2 + n_3 \cdot a_3 \cdot c_3 + \dots}{n_1 \cdot a_1 + n_2 \cdot a_2 + n_3 \cdot a_3 + \dots}$$

Hier bezeichnet

$C$  die gesuchte specifische Wärme der Verbindung;

$c_1, c_2 \dots$  die specifischen Wärmen der Elemente;

$a_1, a_2 \dots$  die Atomgewichte der Elemente,

$n_1, n_2 \dots$  die Zahl der einzelnen Atome, die in der Verbindung enthalten sind.

Kopp<sup>2)</sup> hat nach der gleichen Formel eine grosse Anzahl von starren Verbindungen berechnet und dabei für alle Elemente das Product  $c \cdot a$  (die Atomwärme) gleich 6,4 gesetzt mit Ausnahme folgender Elemente:

für $S$ und $P$ wurde $c \cdot a$ gesetzt	5,4
„ $Fl$	5,0
„ $O$	4,0
„ $Si$	3,8
„ $B$	2,7
„ $H$	2,3
„ $C$	1,8

Nach den Kopp'schen Atomwärmen erhält man für die specifischen Wärmen der einzelnen Bestandtheile, die in den untersuchten Gläsern vorkommen, folgende Werthe:

(I)	{	Specifische Wärme <sup>3)</sup>	Specifische Wärme		
		Zn. O	0,128	BaO	0,0680
		B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,249	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1574
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,241	Na <sub>2</sub> O	0,2709
		SiO <sub>2</sub>	0,197	K <sub>2</sub> O	0,1787
		As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,125	Li <sub>2</sub> O	0,5600
		PbO	0,0466	CaO	0,1860
		MgO	0,260	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2169

1) Wöstyng, Pogg. Ann. 76. p. 129. 1849.

2) Kopp, Lieb. Ann. Suppl. 3. p. 329 (1864 u. 1865).

3) Die Werthe der ersten Verticalreihe sind von Kopp berechnet; die Werthe der zweiten Verticalreihe von BaO bis P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, die von Kopp nicht angegeben sind, wurden von mir berechnet.

Tabelle II.

Chemische Zusammensetzung.

Laufende Nr.	Fabrik-Nr.	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	Pb.O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	S. 185	—	71,8	—	—	—	22,4	—	4,7	8,0	—	5,8	—	—	—
2	S. 205	—	69,1	—	—	—	18,0	0,2	—	8,0	—	—	—	—	—
3	172III	64,4	12,0	—	—	11,0	4,5	—	—	14,0	14,0	—	—	—	0,1
4	164III	55,0	—	—	—	—	17,0	—	—	10,0	—	—	—	—	—
5	802	71,0	14,0	—	—	—	5,0	—	—	14,0	—	—	—	—	—
6	16III <sup>1)</sup>	67,8	2,0	7,0	—	—	2,5	—	—	10,5	—	—	7,0	—	0,2
7	165III	73,8	—	5,0	—	—	3,5	—	—	16,8	—	—	7,0	—	0,2
8	1419	67,9	—	5,8	8,1	—	1,0	0,3	—	—	—	—	—	—	0,1
9	S. 201	—	3,0	—	—	—	10,0	0,5	—	—	12,0	—	—	70,5	—
10	290	58,7	—	—	—	—	—	0,3	—	—	38,0	—	8,0	—	—
11	665	—	41,0	59,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	121III	51,3	14,0	5,0	—	—	4,5	0,2	25,0	—	—	—	—	—	—
13	S. 206	—	3,0	—	—	—	8,0	1,5	28,0	—	—	—	—	59,5	—
14	S. 95	—	3,0	—	—	—	1,5	0,7	3,8	—	—	—	—	56,0	—
15	1442	—	34,2	7,8	—	—	5,0	0,7	42,1	—	—	—	—	—	—
16	S. 120	—	10,2	—	—	—	5,0	0,2	—	—	—	—	—	—	—
17	O. 331 <sup>2)</sup>	45,22	42,8	—	52,0	—	—	0,2	—	—	7,5	—	—	—	—
18	S. 163	22,0	—	—	46,0	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—	0,08
					78,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1) Thermometernormalglas.

2) Gewöhnliches Flintglas.

Führt man mit diesen Werthen die Berechnung nach der Formel

$$C = \frac{p_1 \cdot k_1 + p_2 \cdot k_2 + p_3 \cdot k_3 + \dots}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots}$$

durch, wo  $k_1, k_2 \dots$  die specifischen Wärmen der Bestandtheile,  $p_1, p_2 \dots$  die Gewichtsmengen dieser Bestandtheile in dem betreffenden Glase bedeuten, so erhält man in der Tabelle III die Werthe, die unter „berechnet Kopp“ stehen. Die Tabelle II gibt die chemische Zusammensetzung der Gläser in übersichtlicher Darstellung an.

Tabelle III.  
Specifiche Wärme.

Nr.	beobachtet	berechnet Kopp	beob.-ber. in Proc.	berechnet Winkelmann	beob.-ber. in Proc.
1	0,2318	0,2652	- 14,4	0,2488	- 7,3
2	0,2182	0,2406	- 10,3	0,2262	- 3,7
3	0,2086	0,2180	- 4,5	0,2092	- 0,3
4	0,2044	0,2122	- 3,8	0,2040	+ 0,2
5	0,2038	0,2139	- 5,0	0,2063	- 1,7
6	0,1988	0,2038	- 2,5	0,1985	+ 0,2
7	0,1958	0,2020	- 3,2	0,1964	- 0,3
8	0,1907	0,1935	- 1,5	0,1888	+ 1,0
9	0,1901	0,2169	- 14,1	0,1947	- 2,4
10	0,1887	0,1898	- 0,6	0,1893	- 0,3
11	0,1864	0,1776	- 8,0	0,1710	- 4,0
12	0,1617	0,1704	- 5,4	0,1640	- 1,4
13	0,1589	0,1766	- 11,0	0,1576	+ 0,8
14	0,1464	0,1603	- 9,5	0,1442	+ 1,5
15	0,1398	0,1442	- 3,2	0,1389	+ 0,7
16	0,1359	0,1431	- 5,3	0,1388	- 2,1
17	0,1257	0,1272	- 1,2	0,1272	- 1,2
18	0,08174	0,07969	+ 2,5	0,08201	- 0,3

Die Differenzen zwischen den beobachteten und den nach Kopp berechneten Werthen sind theilweise bedeutend und steigen bis zu 14,4 Proc. Es war dieses Resultat nach den Vergleichen, die Kopp selbst zwischen den beobachteten und berechneten specifischen Wärmen zahlreicher Verbindungen angestellt, zu erwarten; so ist, um nur ein Beispiel anzuführen, die von Kopp berechnete specifische Wärme von PbO gleich 0,0466, während er selbst einen um 18 Proc. und Regnault einen um 10 Proc. grösseren Werth beobachtet hat.

Führt man, soweit dies möglich ist, statt der *berechneten* specifischen Wärmen der Verbindungen, die das Glas zusammensetzen, die *beobachteten* ein, so erhält man eine viel weitergehende Uebereinstimmung. Da die Beobachtungen von Regnault fast in demselben Temperaturintervall (etwa  $15^{\circ}$  bis  $99^{\circ}$ ) ausgeführt sind, wie die oben mitgetheilten Untersuchungen der Gläser, so sind ausschliesslich die Regnault'schen Beobachtungen zu Grunde gelegt; nämlich:

Verbindung	Specifische Wärme	Temperaturintervall
ZnO	0,1248	17—98
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2874	16—98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2074 <sup>1)</sup>	8—98
SiO <sub>2</sub>	0,1913	13—99
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1276	13—97
PbO	0,05118	22—98
MgO	0,2439	24—100

Von den übrigen Bestandtheilen der Gläser liegen, so weit mir bekannt, keine Beobachtungen vor. Für die Berechnung der specifischen Wärmen dieser Bestandtheile, die sämmtlich O enthalten, ist es von besonderer Wichtigkeit, welcher Werth für die Atomwärme des O in starren Verbindungen eingeführt wird. Wüllner<sup>2)</sup> hat diese Atomwärme aus den Beobachtungen Regnault's berechnet und findet im Mittel 4,2. Dieser Werth ist deshalb zur Berechnung benutzt.

1. **BaO.** Atomgewicht Ba = 136,8. Zur Berechnung ging man von der specifischen Wärme von BaCl<sub>2</sub> aus, die von Regnault in dem Intervall  $14^{\circ}$  bis  $98^{\circ}$  zu 0,08957 bestimmt wurde; hiermit wird die Molecularwärme von BaCl<sub>2</sub> gleich 18,6. Die Atomwärme des Cl in starren Verbindungen ist nach Wüllner's Berechnung<sup>3)</sup> 6,26; damit wird die Atomwärme von Ba gleich 6,08. Da die Atomwärme des O, wie erwähnt, gleich 4,2 zu setzen ist, erhält man für die Molecularwärme von BaO 10,28 und die specifische Wärme von BaO **0,06728.**

2. **Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.** Atomgewicht Mn = 54,8. Nach Regnault ist die specifische Wärme von Mn (welches etwas Si enthielt)

1) Diese Zahl ist das Mittel der Werthe 0,1976 für Corund und 0,2173 für Sapphir.

2) Wüllner, Exp.-Physik. **3.** p. 590. 1885.

3) Wüllner, l. c. p. 590 Der obige Werth ist das Mittel von 6,40 und 6,13.

0,1217 zwischen  $14^{\circ}$  und  $97^{\circ}$ . Die Atomwärme von Mn wird hiermit 6,87; die Molecularwärme von  $Mn_2O_3$  wird 25,94, die spezifische Wärme 0,1646.

Ferner ist von Regnault die spezifische Wärme von MnO gleich 0,1570 zwischen  $13^{\circ}$  und  $98^{\circ}$  bestimmt. Die Molecularwärme von MnO wird 11,11, die Molecularwärme von  $Mn_2O_3$  wird 26,42, die spezifische Wärme 0,1676. Das Mittel der beiden Werthe ist **0,1661**.

3.  $Na_2O$ . Atomgewicht Na = 23. Die spezifische Wärme von Na, die nur zwischen  $-28^{\circ}$  und  $+6^{\circ}$  bestimmt wurde, ist mit den übrigen Werthen nicht vergleichbar und wurde deshalb bei der Berechnung von  $Na_2O$  nicht berücksichtigt. Nach Regnault ist die spezifische Wärme von NaCl 0,2140 zwischen  $15^{\circ}$  und  $98^{\circ}$ . Die Molecularwärme von NaCl wird 12,50, die Atomwärme von Na 6,24. Die Molecularwärme von  $Na_2O$  wird 16,68, die spezifische Wärme 0,2690.

Ferner ist nach Regnault die spezifische Wärme von NaJ 0,08684 zwischen  $16^{\circ}$  und  $99^{\circ}$ . Die Molecularwärme von NaJ wird 12,98. Die Atomwärme von J ist 6,84; daher die Atomwärme von Na gleich 6,14. Die Molecularwärme von  $Na_2O$  ist deshalb 16,48 und die spezifische Wärme 0,2658. Das Mittel der beiden Werthe ist **0,2674**.

4.  $K_2O$ . Atomgewicht K = 39. Die spezifische Wärme von K ist nur zwischen  $-78^{\circ}$  und  $0^{\circ}$  bestimmt und wurde deshalb nicht berücksichtigt. Aus der specifischen Wärme von Chlorkalium 0,1729 zwischen  $14^{\circ}$  und  $99^{\circ}$  nach Regnault ergibt sich die Molecularwärme gleich 74,4; hieraus in der gleichen Weise wie bei  $Na_2O$  für die spezifische Wärme von  $K_2O$  0,1864.

Ferner ist die spezifische Wärme von KJ 0,08191 zwischen  $20^{\circ}$  und  $99^{\circ}$  nach Regnault; hieraus die Molecularwärme von KJ gleich 13,47, und die spezifische Wärme von  $K_2O$  0,1857. Das Mittel der beiden ist **0,1860**.

5.  $Li_2O$ . Atomgewicht Li = 7,0. Die spezifische Wärme von Li ist nach Regnault 0,9408 zwischen  $27^{\circ}$  und  $99^{\circ}$ ; hiermit wird die spezifische Wärme von  $Li_2O$  0,5793.

Ferner ist die spezifische Wärme von LiCl 0,2821 zwischen  $13^{\circ}$  und  $97^{\circ}$ ; damit wird die spezifische Wärme von  $Li_2O$  0,5207. Der Mittelwerth ist **0,5497**. Der Unterschied der

beiden Werthe, aus dem das Mittel berechnet wurde, ist gross; für die spätere Berechnung der Gläser ist dies indessen nicht von grossem Einfluss, weil nur ein Glas Li enthält und zwar in kleiner Menge.

6.  $\text{CaO}$ . Atomgewicht  $\text{Ca} = 39,9$ . Die specifische Wärme von  $\text{Ca}$  ist 0,1804 zwischen  $0^\circ$  und  $100^\circ$  nach Bunsen; hiermit wird die specifische Wärme von  $\text{CaO}$  0,2039.

Ferner ist die specifische Wärme von  $\text{CaCl}_2$  0,1642 zwischen  $23^\circ$  und  $99^\circ$  nach Regnault; hiermit wird die specifische Wärme von  $\text{CaO}$  0,1767. Das Mittel ist **0,1903.**<sup>1)</sup>

7.  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Atomgewicht von  $\text{P} = 31$ . Die specifische Wärme von  $\text{P}$  ist unsicher und deshalb nicht berücksichtigt. Die specifische Wärme von  $\text{Pb}_2\text{P}_2\text{O}_7$  ist nach Regnault 0,08208 zwischen  $11^\circ$  und  $98^\circ$ , die Molecularwärme ist deshalb 48,16. Aus der specifischen Wärme von  $\text{PbO}$  folgt die Molecularwärme von  $\text{PbO} = 11,38$ . Deshalb ist die Molecularwärme von  $\text{P}_2\text{O}_5 = 48,16 - 2 \cdot 11,38 = 25,40$ ; damit wird die specifische Wärme von  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,1789$ .

Ferner ergibt sich aus der specifischen Wärme von  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , die nach Regnault 0,2283 zwischen  $17^\circ$  und  $98^\circ$  ist, die Molecularwärme 60,73. Da die Molecularwärme von  $\text{Na}_2\text{O}$  (vgl. oben) = 0,2674 · 62 ist, so wird die specifische Wärme von  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,1941$ . In ähnlicher Weise liefert die specifische Wärme von  $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , die nach Regnault 0,1910 zwischen  $17^\circ$  und  $98^\circ$  ist, die Molecularwärme 63,03 und die specifische Wärme von  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,1975. Das Mittel der drei Werthe ist **0,1902**.

Oeberg hat aus seinen Mineraluntersuchungen die specifische Wärme folgender Verbindungen, die oben behandelt sind, berechnet.

	Specifische Wärme. berechnet von	
	Oeberg	Winkelmann
$\text{Na}_2\text{O}$	0,228; 0,242; 0,234	0,2674
$\text{K}_2\text{O}$	0,146; 0,142	0,1860
$\text{Li}_2\text{O}$	0,450	0,5497
$\text{CaO}$	0,164	0,1903

1) F. E. Neumann (Pogg. Ann. 23. p. 33. 1831) hat die specifische Wärme von  $\text{CaO}$  zu 0,196 berechnet, während, wie Neumann mittheilt, Lavoisier und Laplace 0,217 (die Angabe 0,271 ist, wie aus dem Zusammenhang hervorgeht, ein Druckfehler) beobachtet haben.

Wie man sieht, sind sämmtliche Werthe Oeberg's kleiner, als die von mir berechneten; ich habe aber geglaubt, diese Resultate für die Bestimmung der specifischen Wärme nicht berücksichtigen zu sollen und stelle im Folgenden zunächst alle Werthe zusammen, die der Berechnung zu Grunde gelegt sind.

(II)	{	Specifische Wärme	Specifische Wärme
		ZnO    0,1248	BaO    0,06728
		B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,2874	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,1661
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,2074	Na <sub>2</sub> O   0,2674
		SiO <sub>2</sub> 0,1913	K <sub>2</sub> O    0,1860
		As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,1276	Li <sub>2</sub> O   0,5497
		PbO    0,05118	CaO    0,1903
		MgO    0,2489	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,1902

Mit diesen Werthen erhält man die in Tabelle III unter Spalte „berechnet Winkelmann“ mitgetheilten Werthe; die Differenzen gegenüber den beobachteten Werthen, ausgedrückt in Procenten, stehen in der folgenden Spalte.

Es kommen dreimal (Nr. 1, 2, 11) Differenzen vor, die 3 Proc. überschreiten. Die grösste Differenz von 7,3 Proc. in Nr. 1 ist, wie Hr. Dr. Schott mitzutheilen die Güte hatte, theilweise durch die nicht ganz zuverlässig anzugebende Zusammensetzung dieses Glases bedingt. Der angegebene Gehalt von 5,8 Li<sub>2</sub>O ist thatsächlich nicht vorhanden, weil das benutzte Li<sub>2</sub>O nicht trocken war. Da aber Li<sub>2</sub>O eine grosse specifische Wärme hat, so würde der berechnete Werth der specifischen Wärme dieses Glases bei einem kleineren Gehalt an Li<sub>2</sub>O sich kleiner herausstellen, als der in der Tabelle angegebene. Dagegen sind die Differenzen in Nr. 2 und 11 von 3,7 resp. 4,0 Proc. durch eine etwaige Ungenauigkeit in der Zusammensetzung nicht zu erklären. Stellt man die Differenzen, die mehr als 2 Proc. betragen, zusammen, so hat man die Nr. 1, 2, 9, 11 und 16 mit den Differenzen 7,3; 3,7; 2,4; 4,0; 2,1 Proc. Von diesen Gläsern haben die Nr. 1, 2, 11 und 16 einen hohen Borsäuregehalt und hierdurch wird man auf die Vermuthung geführt, dass die specifische Wärme der Borsäure vielleicht zu gross in die Rechnung eingeführt ist.

Diese Vermuthung erhält eine Stütze durch die Beobachtungen, die sich auf Verbindungen der Borsäure beziehen. Nach Regnault ist die specifische Wärme von PbB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> gleich

0,09046. Aus der Molecularwärme von  $\text{PbB}_2\text{O}_4$  erhält man durch Abzug der Molecularwärme von  $\text{PbO}$  die Molecularwärme von  $\text{B}_2\text{O}_3$  gleich 15,038; damit wird die specifische Wärme von  $\text{B}_2\text{O}_3$  0,2158. — Ferner erhält man aus der von Regnault bestimmten specifischen Wärme von  $\text{PbB}_4\text{O}_7$  0,1141 in ähnlicher Weise die specifische Wärme von  $\text{B}_2\text{O}_3$  0,2153. — Diese so ermittelten Werthe der specifischen Wärme der Borsäure stimmen untereinander nahe überein, zeigen aber gegenüber dem direct von Regnault ermittelten Werth 0,2374 einen Unterschied von 10 Proc. Um zu untersuchen, ob der letztere Werth richtig ist, wurde die specifische Wärme der Borsäure bestimmt.

#### § 5. Untersuchung der Borsäure.

Da die Borsäure in Wasser löslich ist, musste die Untersuchung in einer anderen Flüssigkeit durchgeführt werden; es wurde hierzu Petroleum gewählt.<sup>1)</sup> Die frisch geschmolzene Borsäure wurde in eins der beiden Messingkörbchen gelegt und in dem Heizapparate erhitzt. Das Thermometer des Heizapparates zeigte nach Verlauf der üblichen Zeit eine Temperatur, die höher war, als nach dem Barometerstand zu erwarten war und stieg um  $0,43^\circ$  über die aus dem Barometerstand berechnete Temperatur der den Heizapparat durchströmenden Wasserdämpfe. Trotz dieser auffallenden Erscheinung wurde der Versuch ausgeführt und ergab für die specifische Wärme der Borsäure den Werth 0,2348. Auch die folgenden Versuche zeigten übereinstimmend, dass in dem Heizapparate bei Anwesenheit der Borsäure das Thermometer eine höhere Temperatur, als die der Dämpfe annahm. Der Grund dieser Erscheinung liegt in dem Wassergehalt der in dem inneren Heizraum vorhandenen Luft. Die Borsäure nimmt den Wasserdampf der Luft auf und wird hierdurch erwärmt; diese Erwärmung überträgt sich auf das Thermometer, dessen Gefäß ringsum von Borsäure eingeschlossen ist. Die Richtigkeit dieser Erklärung wurde in zweifacher Weise geprüft. Erstens konnte die Gewichtszunahme des Körbchens mit Bor-

1) Regnault benutzte Terpentinöl und erhielt für die specifische Wärme der Borsäure 0,28872 und 0,23615; das Mittel hiervon ist der oben angegebene Werth 0,2374.



säure, das längere Zeit in dem Heizraume geblieben hatte, constatirt werden. Zweitens musste, da das Gewicht des aufgenommenen Wassers in den vorliegenden Versuchen nur gering war (es betrug in drei Stunden 0,33 Proc. des Gewichtes der Borsäure) und da trotzdem eine Temperatursteigerung des Thermometers von etwa  $0,5^{\circ}$  in der Nähe von  $100^{\circ}$  stattfand, die Lösung der Borsäure von einer beträchtlichen Wärmeentwicklung begleitet sein. Da mir Versuche über diesen zuletzt genannten Punkt nicht bekannt waren, wurde in einem kleinen Becherglase pulverisirte Borsäure in solcher Menge in das Wasser eingeführt, dass ein Brei entstand; die Temperatur stieg hierbei von Zimmertemperatur ausgehend um  $30^{\circ}$ .

Um eine ganz einwandfreie Untersuchung der Borsäure zu ermöglichen, wurde dieselbe in kleine Glasröhrchen von etwa 6 cm Höhe und 1,5 cm Durchmesser eingeschmolzen. Diese Röhrchen wurden in ein Messigkörnchen gelegt und dann in der schon angegebenen Weise auf ihre spezifische Wärme untersucht.

Bezeichnet  $p_1$  und  $c_1$  das Gewicht resp. die spezifische Wärme des Glases, so ist, wenn die übrigen Bezeichnungen die gleiche Bedeutung haben, wie in § 2, die spezifische Wärme  $c$  der Borsäure aus der Formel

$$c = \frac{(P + A)(t_2 + \Delta t_2 - t_1) - (p_1 \cdot c_1 + B)\{T - (t_2 + \Delta t_2)\}}{p\{T - (t_2 + \Delta t_2)\}}$$

zu berechnen. Die Versuche ergaben folgende Resultate:

$\frac{t_2 + \Delta t_2}{-t_1}$	$T$	$t_2 + \Delta t_2$	$P$	$A$	$B$	$p_1 \cdot c_1$	$p$	$c$	Mittel
2,644	99,36	19,12	518,22	15,13	2,555	6,457	36,58	0,2341	} 0,2365
2,656	99,52	17,53	532,53	15,13	2,555	6,457	36,58	0,2389	

Die beiden Werthe  $c$  der specifischen Wärme der Borsäure zeigen einen Unterschied von 2 Proc.; dies ist dadurch bedingt, dass bei den vorliegenden Versuchen die Zeit bis zur Erreichung des Temperaturmaximums im Calorimeter viel länger dauert, als bei den früheren Versuchen mit den Gläsern; infolgedessen ist die Correctionsgrösse  $\Delta t_2$  hier etwa viermal so gross, wie früher und naturgemäss mit einer grösseren Unsicherheit behaftet. Das Mittel 0,2365 stimmt mit dem von Regnault

erhaltenen Resultat 0,2374 soweit überein, dass die Richtigkeit der Regnault'schen Beobachtung bestätigt wird. Es bleibt deshalb die Differenz zwischen dem direct beobachteten Werth und den aus den Verbindungen  $\text{Pb}_2\text{B}_2\text{O}_4$  und  $\text{PbB}_4\text{O}_7$  berechneten Werthen der specifischen Wärme der Borsäure bestehen.

#### § 6. Schlussresultate.

Regnault hat ausser den Bleiverbindungen noch je eine Verbindung mit Kalium und Natrium untersucht, aus der sich die specifische Wärme der Borsäure berechnen lässt. Die specifische Wärme von  $\text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7$  ist gleich 0,2197 zwischen  $18^\circ$  und  $99^\circ$ . Setzt man, wie früher angegeben, für die specifische Wärme von  $\text{K}_2\text{O}$  0,1860, so erhält man für die specifische Wärme der Borsäure 0,2421. Ferner ist nach Regnault die specifische Wärme von  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  gleich 0,2382 zwischen  $16^\circ$  und  $98^\circ \dots$ , mit der früher angegeben specifischen Wärme 0,2674 für  $\text{Na}_2\text{O}$  erhält man die specifische Wärme der Borsäure gleich 0,2252.

Die einzelnen Werthe für die specifische Wärme der Borsäure zeigt folgende Zusammenstellung:

0,2374	direct	von Regnault	beobachtet;		
0,2158	berechnet	aus der Regnault'schen	Beobachtung	für $\text{PbB}_2\text{O}_4$ ;	
0,2153	"	"	"	"	$\text{PbB}_4\text{O}_7$ ;
0,2421	"	"	"	"	$\text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ;
0,2252	"	"	"	"	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ;
0,2272	Mittel.				

Führt man diesen Mittelwerth für die specifische Wärme der Borsäure in die Berechnung ein, indem man im übrigen die früher in § 4 unter (II) angegebenen Werthe festhält, so erhält man folgende Resultate.

Tabelle IV.

Nr.	Specifische Wärme			Specifisches Gewicht <i>s</i>	Product <i>s. c</i>
	beobachtet <i>e</i>	berechnet <i>e'</i>	Differenz beob.-ber. in Proc.		
1	0,2318	0,2415	- 4,2	2,238	0,5188
2	0,2182	0,2192	- 0,5	2,243	0,4894
3	0,2086	0,2080	+ 0,3	2,424	0,5056
4	0,2044	0,2040	+ 0,2	2,480	0,5069
5	0,2038	0,2049	- 0,5	2,370	0,4880
6	0,1988	0,1983	+ 0,3	2,585	0,5139

Nr.	Specifische Wärme			Specifisches Gewicht <i>s</i>	Product <i>s. c.</i>
	beobachtet <i>c</i>	berechnet <i>c'</i>	Differenz beob.-ber. in Proc.		
7	0,1958	0,1964	- 0,3	2,479	0,4854
8	0,1907	0,1888	+ 1,0	2,629	0,5013
9	0,1901	0,1944	- 2,3	2,588	0,4920
10	0,1887	0,1893	- 0,3	2,518	0,4751
11	0,1644	0,1668	- 1,5	3,527	0,5798
12	0,1617	0,1626	- 0,6	2,848	0,4605
13	0,1589	0,1573	+ 0,9	3,070	0,4878
14	0,1464	0,1439	+ 1,0	3,238	0,4740
15	0,1398	0,1379	+ 1,4	3,532	0,4938
16	0,1359	0,1344	+ 1,1	3,691	0,5016
17	0,1257	0,1272	- 1,2	3,578	0,4498
18	0,08174	0,08201	- 0,3	5,831	0,4766

Wenn man von dem Werthe Nr. 1 absieht, weil wegen des Lithiumgehaltes die chemische Zusammensetzung nicht sicher bekannt ist, so zeigt eine Durchsicht der letzten Tabelle, dass die specifische Wärme der untersuchten Gläser sich aus derjenigen der Bestandtheile berechnen lässt mit einer Genauigkeit von rund 1 Proc.; nur das Glas Nr. 9 zeigt eine Abweichung, die 2 Proc. überschreitet.

In der letzten Tabelle ist unter *s* das specifische Gewicht angegeben. Dasselbe wurde bei Zimmertemperatur (rund 16°) ermittelt und auf Wasser von 4° als Einheit reducirt. Im allgemeinen wächst mit abnehmender specifischer Wärme das specifische Gewicht; indessen zeigen sich doch bedeutende Abweichungen, wie aus der letzten Spalte, die das Product aus specifischer Wärme und specifischem Gewicht darstellt, hervorgeht. Der grösste Werth dieses Productes (Nr. 11) zeigt gegenüber dem kleinsten Werth (Nr. 17) eine Differenz von 30 Proc.

Ein einfacher Zusammenhang der specifischen Wärme und der thermischen Leitungsfähigkeit der Gläser nach den Beobachtungen von Paalhorn liess sich nicht erkennen, wie aus folgenden Werthen ersichtlich ist.

Nr.	Therm. Leitungsfähigkeit		Specifische Wärme <i>c</i>	Specifisches Gewicht <i>s</i>	Product <i>c . s</i>
	bezogen auf cm; g; sec.	relativ			
18	0,00108	1,00	0,0817	5,831	0,4766
9	0,00141	1,30	0,1901	2,588	0,4920
17	0,00143	1,32	0,1272	3,578	0,4498
2	0,00144	1,33	0,2182	2,243	0,4894
5	0,00227	2,09	0,2038	2,370	0,4830

Die Gläser sind nach der Grösse ihrer Leitungsfähigkeit geordnet. Weder die specifischen Wärmen *c* noch das Product *c . s* der specifischen Wärmen und specifischen Gewichte zeigen eine durchgehende Zu- oder Abnahme.

Jena, April 1893.