

Ueber die Abhängigkeit der specifischen Wärme des Boracits von der Temperatur¹.

Von

K. Kroeker in Göttingen.

(Hierzu Taf. IV.)

I. Die Untersuchung von Er. Mallard und H. Le Chatelier.

In der Reihe der dimorphen Körper, welche eine reversible Umwandlung gestatten, zeichnet sich der Boracit dadurch aus, dass Überschreitungen der Umwandlungstemperatur bei ihm nur in sehr geringem Maasse auftreten. In Folge dessen ist der Boracit trefflich geeignet zur Bestimmung des thermischen Effectes, welcher die Umwandlungen begleitet.

Zur Ermittlung der Umwandlungswärme des Boracits haben schon die Herren ER. MALLARD und H. LE CHATELIER² Untersuchungen über die Abhängigkeit der specifischen Wärme von der Temperatur ausgeführt, welche folgende Resultate ergaben:

| t | Mittlere spec. Wärme zwischen 14° und t° | Änderung für 1° C. |
|------|--|--------------------|
| 150° | 0,224 | |
| 220° | 0,240 | 0,00023 |
| 252° | 0,244 | 0,00013 |
| 277° | 0,266 | 0,0088 |
| 316° | 0,274 | 0,0002 |
| 339° | 0,273 | 0,00004 |

¹ Im Auszuge mitgetheilt in: Nachr. Kgl. Ges. d. Wiss. Göttingen. 1892. 122—129.

² ER. MALLARD: Sur la chaleur latente correspondant au changement d'état cristallin de la boracite. Bull. soc. min. de France. 6. 122. 1883.

Die specifische Wärme des Boracits ändert sich also merklich mit der Temperatur; zwischen 252° und 277° ist die Änderung in Folge des Freiwerdens latenter Wärme bei der Umwandlung am beträchtlichsten.

Aus diesen Zahlen berechnen ER. MALLARD und H. LE CHATELIER als mittlere specifische Wärme der beiden Modificationen des Boracits zwischen 14° und 265° die Werthe $c = 0,246$ und $c_1 = 0,265$. Mit Hilfe der Relation:

$$C = (c_1 - c)(265 - 14)$$

erhalten sie hieraus die Umwandlungswärme:

$$C = 4,77 \text{ cal.}$$

Berechnet man dagegen aus den obigen Angaben zunächst die Wärmemenge q , welche 1 g Substanz bei der Abkühlung von t° auf 0° abgibt, so erhält man die in der dritten Columne der folgenden Tabelle wiedergegebenen Zahlen, welche, graphisch als Function der Erhitzungstemperatur t dargestellt, für das Intervall 150° bis 252° eine gerade Linie und für das Intervall 270° bis 340° eine gegen die Axe der Temperaturen concave Curve bilden (Taf. III).

| t | Spec. Wärme zwischen 14° und t° | Abgegebene Wärmemenge | | |
|---------------|---|-----------------------|--------|-----------|
| | | q beob. | q ber. | Differenz |
| 150° | 0,224 | 33,60 | 33,60 | 0,00 |
| 220° | 0,240 | 52,80 | 52,75 | - 0,05 |
| 252° | 0,244 | 61,49 | 61,50 | + 0,01 |
| 277° | 0,266 | 73,68 | 73,67 | - 0,01 |
| 316° | 0,274 | 86,58 | 86,58 | 0,00 |
| 339° | 0,273 | 92,55 | 92,55 | 0,00 |

Die Abhängigkeit der abgegebenen Wärmemengen q von der Erhitzungstemperatur t wird jetzt durch folgende Gleichungen dargestellt:

$$q = - 7,421 + 0,2735 \cdot t$$

$$q_1 = 68,98 + 0,40392(t - 265) - 0,0011543(t - 265)^2.$$

Die erste Gleichung gilt für das Intervall 150° bis 265° , die zweite für 265° bis 340° . Setzt man für t die angegebenen Erhitzungstemperaturen ein, so erhält man die in der vierten Columne der Tabelle angeführten Werthe von q , die mit den beobachteten Werthen gut übereinstimmen. Für $t = 265^{\circ}$ ergibt die erste Gleichung $q = 65,056$ cal. und die

zweite $q_1 = 68,980$ cal., woraus für die Umwandlungswärme der Werth:

$$C = q_1 - q = 3,924 \text{ cal.}$$

folgt.

Da ER. MALLARD seine Bestimmung der Umwandlungswärme des Boracits als eine Annäherung bezeichnet hat, so habe ich auf Veranlassung des Herrn TH. LIEBISCH eine erneute calorimetrische Untersuchung des Boracits unternommen.

2. Eis calorimeter und Erhitzungsapparat.

Die Messungen wurden mit einem BUNSEN'schen Eis calorimeter¹ ausgeführt, das mit den von A. SCHULLER und V. WARTHA² eingeführten Verbesserungen versehen war.

Das Calorimeter C enthielt in dem aus dem centralen Rohr β und der äusseren Glashülle G gebildeten Raume ausgekochtes destillirtes Wasser; die Absperrung desselben von der atmosphärischen Luft erfolgte durch ausgekochtes Quecksilber, welches den untern Theil des Innenraums und das damit communicirende enge Rohr S anfüllte. Durch ein Schliffstück mit Dreiweghahn konnte dieser engere Schenkel sowohl mit einem Trichter als auch mit einem Capillarrohr in Verbindung gebracht werden. Zur Erzeugung einer Eishülle G um das centrale Rohr β brachte ich in dasselbe abgekühlten Weingeist und setzte in diesen ein Reagenzglas mit einer Kältemischung aus Chlorcalcium und geschabtem Eis. Die Krystallisation ging anfänglich nur sehr langsam vor sich, genau so wie R. BUNSEN und A. W. VELTEN³ es beobachteten; zur Erneuerung der abgeschmolzenen Eismasse genügte es indessen, den Alkohol einige Male zu erneuern, um einen klaren Eismantel von $\frac{1}{2}$ bis 1 cm Dicke zu erhalten.

Das Calorimeter befand sich bis zu der Vereinigungsstelle des innern und äussern Glasgefässes in einem aus zwei Messinggefässen \mathcal{M}_1 und \mathcal{M}_2 bestehenden Thermostaten. Das innere Messinggefäss \mathcal{M}_1 war mit destillirtem Wasser an-

¹ R. BUNSEN: Calorimetrische Untersuchungen. Pogg. Ann. 141. 1. 1870.

² A. SCHULLER und V. WARTHA: Calorimetrische Untersuchungen. Ann. d. Phys. N. F. 2. 359. 1877.

³ A. W. VELTEN: Die specifische Wärme des Wassers. Ann. d. Phys. N. F. 21. 31. 1884.

gefüllt, welches durch Anwendung einer Kältemischung von Chlorcalcium und geschabtem Eis, die ich in den Zwischenraum von \mathfrak{M}_1 und \mathfrak{M}_2 brachte, an den Gefässwänden zum Gefrieren gebracht wurde, so dass ein $1\frac{1}{2}$ bis 2 cm starker Eismantel entstand. Der Zwischenraum von \mathfrak{M}_1 und \mathfrak{M}_2 wurde darauf mit gestossenem Eis angefüllt.

Beide Gefässe liessen sich mit einem Messingdeckel verschliessen, der zwei Öffnungen für das centrale Rohr \mathfrak{P} und den engen Schenkel \mathfrak{S} besass, und auf welchem noch Eisstücke bis zur Mündung von \mathfrak{P} angehäuft werden konnten. Der ganze Apparat wurde mit dicken Tüchern umgeben, um das Wegschmelzen der äussern Eishülle nach Möglichkeit einzuschränken.

Die Bestimmung der in Folge des Schmelzens der Eishülle \mathfrak{E} eingesogenen Quecksilbermengen geschah durch räumliche Messung mit einem Capillarrohre. Der Werth der Millimeter-Scala dieses Rohres in Gewichtsmengen Quecksilber war durch wiederholte Calibrirung für Intervalle von 10 zu 10 cm genau festgestellt worden. Mit Hilfe einer Lupe konnten noch 0,1 mm hinreichend genau abgeschätzt werden.

Der ganze Apparat befand sich in einem Zimmer, dessen Temperatur 8° C. nicht überstieg.

Die Eigenbewegung des Quecksilberfadens in dem Capillarrohre, welche bald nach Aufstellung des Calorimeters eintrat, war gering und durchaus regelmässig. Dieselbe fand zunächst als Rückwärtsbewegung im Sinne des Eisschmelzens statt. Die Ursache davon dürfte hauptsächlich darin zu suchen sein, dass trotz der dicken Eisumhüllung geringe Wärmemengen von der umgebenden Luft an das Calorimeter abgegeben wurden, eine Annahme, die durch die Beobachtung gestützt wird, dass Schwankungen der Zimmertemperatur von weniger als $0,5^{\circ}$ C. eine Änderung der Eigenbewegung bewirkten und dass dieselbe ganz aufhörte, als die Temperatur des Zimmers 0° betrug. Allmählich stellte sich eine Vorwärtsbewegung des Quecksilberfadens ein, die wohl darauf zurückzuführen ist, dass von dem Deckel des Thermostats unreines Wasser in das innere Gefäss \mathfrak{M}_1 tropfte, welches den Gefrierpunkt des Wasserbades in \mathfrak{M}_1 erniedrigte und dadurch ein stetiges Weiterfrieren der Eishülle \mathfrak{E} bewirkte.

Zur schnellen und sicheren Überführung des erhitzten Versuchskörpers in das Calorimeter diente ein nach der Angabe von M. BELLATI¹ construirtes Erhitzungsgefäß. Dasselbe besteht aus einem doppelwandigen Messingcylinder, in den von oben her, durch einen Kork gehalten, ein Thermometer ragt, während die untere Seite durch eine Messingklappe verschlossen ist. Letztere springt auf, sobald eine Klammer von oben her durch einen Hebel ausgelöst wird, und lässt die Gegenstände, die man vorher um die Thermometerkugel herum angeordnet hatte, aus dem Messingcylinder herausfallen. Dieses Erhitzungsgefäß wurde in einem Luftbade langsam erwärmt, bis das innere Thermometer die gewünschte Temperatur constant anzeigte. Die bei den Versuchen benutzten Thermometer von R. FUESS waren in der physikalischen Reichsanstalt corrigirt worden. Die zur Correction des herausragenden Fadens erforderliche mittlere Temperatur wurde durch ein zweites in der Mitte der Thermometer-Röhre befestigtes Thermometer festgestellt. Die Thermometer waren in halbe Grade der hunderttheiligen Scala getheilt und gestatteten noch eine Schätzung von zehntel Graden.

Der Gang der Untersuchung war nun folgender.

Ich bestimmte durch zwei im Abstände von einer Stunde gemachte Ablesungen die stündliche Eigenbewegung des Quecksilberfadens vor dem Versuche, liess darauf den erhitzten Versuchskörper in das Calorimeterrohr ¶ fallen und stellte nach einer Stunde den Stand des Quecksilbers in dem Capillarrohr durch Ablesung fest. Da stets nur geringe Gewichtsmengen der Substanz verwendet wurden, so war der Wärmeausgleich nach einer Stunde völlig beendet, wie daraus hervorging, dass bei allen Versuchen nach Ablauf dieser Zeit die Bewegung des Quecksilberfadens constant war. Eine Stunde später machte ich noch eine vierte Ablesung, durch welche die stündliche Eigenbewegung des Quecksilberfadens nach dem Versuch festgestellt wurde. Hierauf wurde der Versuchskörper aus dem Rohr entfernt. Die von diesem Körper bei der Abkühlung von t^0 auf 0^0 abgegebene Wärme-

¹ M. BELLATI e R. ROMANESE: Atti dell' Istituto Veneto. (6.) 1. 1043. 1882—83. Phil. Trans. 173. 1169. 1882.

menge ist somit gemessen durch die Differenz zwischen der zweiten und dritten Ablesung, vermehrt resp. vermindert um die mittlere Eigenbewegung des Quecksilberfadens während der Versuchsdauer.

3. Bestimmung der specifischen Wärme des Wassers.

Es musste nun zuvörderst durch Versuche mit einem Stoffe von bekannter specifischer Wärme ein Urtheil über die Genauigkeit gewonnen werden, mit der an diesem Calorimeter gearbeitet werden konnte. Hierzu bediente ich mich des destillirten Wassers. Ich suchte festzustellen, wie viel Gramm Quecksilber eingesaugt werden, wenn sich 1 g Wasser in dem Calorimeter von 100° auf 0° abkühlt.

Zu diesem Zwecke brachte ich in ein kleines Kölbchen von dünnem Glase, das auf der einen Seite zu einer feinen Capillarröhre ausgezogen war, ausgekochtes destillirtes Wasser und schmolz die Capillare zu, während das Kölbchen in einem Bade von siedendem Wasser auf Siedetemperatur erhalten wurde. Auf diese Weise blieb in dem Kölbchen nur ein sehr kleiner wasserfreier Raum.

In der folgenden Tabelle bedeutet:

p das Gewicht der Glashülle;

w das Gewicht des Wassers;

T die Erhitzungstemperatur des Kölbchens;

N den Stand des Quecksilberfadens zur Zeit der Ablesung;

E die stündliche Eigenbewegung des Quecksilberfadens;

S den durch die Abkühlung des Versuchskörpers mit Berücksichtigung von E bewirkten Rückgang des Quecksilberfadens;

Q_T das mit Hilfe der Correctionstabelle des Capillarrohres und unter Berücksichtigung der herrschenden Temperatur berechnete Gewicht der eingesaugten Quecksilbermenge;

Q_{100} das Gewicht der für $T = 100^{\circ}$ eingesaugten Quecksilbermenge.

| Nummer d. Versuchs | Erhitzungskölbchen | | | Beob- ach- tungs- zeit | N | E | S | Q _T | Q ₁₀₀ |
|---|--------------------|----------|----------|---------------------------------|----------|----------|--------|----------------|------------------|
| | T | p | w | | | | | | |
| 1. | 100,1° | 0,5037 g | 0,8025 g | 12h 0' | 86,97 cm | } 0,00 | 15,495 | 1,3973 | 1,3959 |
| | | | | 1h 0' | 86,97 | | | | |
| | | | | 2h 0' | 71,48 | } + 0,01 | | | |
| | | | | 3h 0' | 71,49 | | | | |
| 2. | 100,3 | 0,5037 | 0,8025 | 12h 0' | 24,98 | } - 0,01 | 14,66 | 1,3972 | 1,3930 |
| | | | | 1h 0' | 24,97 | | | | |
| | | | | 2h 0' | 10,30 | } - 0,01 | | | |
| | | | | 3h 0' | 10,29 | | | | |
| Mittelwerth für Q ₁₀₀ = 1,3944 | | | | | | | | | |
| 3. | 100,0° | 0,470 g | 0,776 g | 11h 0' | 58,62 cm | } 0,00 | 14,64 | 1,3389 | 1,3389 |
| | | | | 12h 0' | 58,62 | | | | |
| | | | | 1h 0' | 43,98 | } 0,00 | | | |
| | | | | 2h 0' | 43,98 | | | | |
| 4. | 99,6 | 0,470 | 0,776 | 10h 0' | 76,28 | } - 0,12 | 14,89 | 1,3386 | 1,3444 |
| | | | | 11h 0' | 76,16 | | | | |
| | | | | 12h 0' | 61,10 | } - 0,23 | | | |
| | | | | 1h 0' | 60,87 | | | | |

Mittelwerth für Q₁₀₀ = 1,3416

Hiervon ist diejenige Quecksilbermenge in Abzug zu bringen, welche in Folge der Abkühlung des Glases eingesogen wird. Besondere Versuche ergaben, dass bei der Abkühlung von 1,0 g Glas derselben Sorte von 100° auf 0° 0,3029 g Quecksilber eingesogen werden.

Wir haben somit bei den Versuchen 1 und 2 für die Glashülle $G_1 = 0,3029 \cdot 0,5037 = 0,1526$ g Quecksilber und bei den Versuchen 3 und 4 $G_2 = 0,3029 \cdot 0,47 = 0,1424$ g Quecksilber von dem in der Tabelle angegebenen Mittelwerthe für Q₁₀₀ abzuziehen. Es ergibt sich alsdann, dass bei Anwendung von $w = 0,8025$ g Wasser $Q_1 = 1,2418$ g Quecksilber und bei $w = 0,776$ g Wasser $Q_2 = 1,1992$ g Quecksilber eingesogen werden.

Demnach erhalten wir für die Quecksilbermenge, welche bei der Abkühlung von 1 g Wasser von 100° auf 0° eingesogen wird, aus den Versuchen 1 und 2 den Werth 1,5474 g und aus den Versuchen 3 und 4 den Werth 1,5453 g; der Mittelwerth ist **1,5463** g, dessen hundertster Theil **0,015463** g

das Aequivalent der mittleren specifischen Wärme des Wassers zwischen 0° und 100° ist.

Es ist von Interesse diese Zahl mit den Resultaten anderer Arbeiten zu vergleichen.

Es ist für die mittlere specifische Wärme des Wassers zu setzen:

| | | |
|--|-----------|-------------|
| nach R. BUNSEN ¹ | 0,01541 g | Quecksilber |
| „ A. SCHULLER und V. WARTHA ² | 0,01544 g | „ |
| „ A. W. VELTEN ³ | 0,01547 g | „ |

Da A. W. VELTEN mit Quantitäten von mehr als 5,0 g Wasser und mit einem Platingefäss arbeitete, so hat die von ihm gefundene Zahl den grössten Anspruch auf Genauigkeit. Der von mir gefundene Werth unterscheidet sich von derselben nur um 0,05 Procent.

4. Bestimmung der specifischen Wärme des Boracits von Lüneburg.

Zur Bestimmung der specifischen Wärme des Boracits dienten durchsichtige Krystalle vom Kalkberge bei Lüneburg. Ein grösserer Krystall von ungefähr 2,0 g Gewicht war begrenzt von (100), (110), \times (111), \times ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$), \times ($2\bar{1}\bar{1}$), \times ($5\bar{3}\bar{1}$). Mehrere kleinere Krystalle zeigten vorherrschend (110) und daneben (100), \times (111), \times ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$), \times ($2\bar{1}\bar{1}$). In der Folge sollen diese beiden Typen der Kürze halber als „Hexaëder“ und „Dodekaëder“ unterschieden werden. Bei den Untersuchungen wurden sie getrennt angewendet.

Die Erhitzungstemperaturen wählte ich im Abstände von je 50° , nur für den regulären Zustand mussten kleinere Intervalle genommen werden. Das Hexaëder brachte ich ausserdem auch auf -30° abgekühlt in das Calorimeter, dessen centrales Rohr ¶ diesmal Alkohol statt Wasser enthielt. Da es meist nicht glückte, die Temperatur des Luftbades vollkommen genau in der beabsichtigten Höhe zu erhalten, so habe ich mich mit einer der nächstliegenden Temperaturen begnügt und nachher die der mittleren Temperatur entsprechende Quecksilbermenge berechnet, unter der Voraussetzung,

¹ R. BUNSEN: Pogg. Ann. 141. 1. 1870.

² A. SCHULLER und V. WARTHA: Ann. d. Phys. N. F. 2. 368. 1877.

³ A. W. VELTEN: Ann. d. Phys. N. F. 21. 58. 1881.

dass für geringe Intervalle die abgegebene Wärmemenge proportional der Temperatur sei. Im Laufe der Versuche lösten sich von den Krystallen einige Splitter ab; deshalb wurde die angewendete Substanz vor jedem Versuche von Neuem gewogen.

Es wurden für jede Temperatur 3 bis 4 Bestimmungen ausgeführt. Die Resultate weichen von einander zuweilen um einige Milligramm Quecksilber ab, eine Ungenauigkeit, die nicht sowohl auf fehlerhafte Ablesung des Standes des Quecksilberfadens am Calorimeter, als auf unsichere Bestimmung der Erhitzungstemperatur zurückzuführen ist. Denn einerseits wird der Versuchskörper nicht in allen seinen Theilen die angezeigte Temperatur haben; andererseits wird eine genaue Temperaturmessung bei höheren Graden, wo die Correction des herausragenden Fadens 5—6° beträgt, sehr schwierig. Da als Aequivalent der mittleren Wärmeeinheit nach VELTEN 15,47 mg Quecksilber anzunehmen sind, und man annehmen darf, dass die aus 3 Beobachtungen genommenen Mittelwerthe bis auf 1 mg Quecksilber richtig sind, so dürfte die erreichte Genauigkeit 0,05—0,07 cal. betragen¹.

In den folgenden Tabellen bedeutet:

p das Gewicht der angewendeten Substanz,

t_0 die abgelesene Erhitzungstemperatur,

t die mittlere Erhitzungstemperatur,

$Q_{t_0}^p$ die in Gewichtseinheiten ausgedrückte Menge des bei dem Versuch eingesogenen Quecksilbers,

Q_t^1 die für die Gewichtseinheit der Substanz und die mittlere Erhitzungstemperatur berechnete Quecksilbermenge,

q_t^1 die aus dem Mittelwerth von Q_t^1 unter Zugrundelegung der VELTEN'schen Zahl 15,47 berechnete Wärmemenge.

¹ cal. bedeutet hier den 100. Theil der Wärmemenge, die von 1 g Wasser zwischen der Siedetemperatur und der Gefriertemperatur abgegeben wird.

I. Hexaëder.

| | p | t ₀ | t | Q _{t₀} ^p | Q _t ¹ | q _t ⁰ |
|--|---------|----------------|---------|---|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. | 2,014 g | — 32,0° | — 32,0° | 0,1740 g | 0,0864 g | } 5,462 cal. |
| | " | — 30,9 | " | 0,1629 | 0,0838 | |
| | " | — 30,0 | " | 0,1575 | 0,0834 | |
| Mittelwerth für Q _t ¹ = 0,0845 g | | | | | | |
| 2. | 2,014 g | 50,5° | 50,0° | 0,3056 g | 0,1502 g | } 9,832 cal. |
| | " | 51,0 | " | 0,3104 | 0,1541 | |
| | " | 49,7 | " | 0,3045 | 0,1521 | |
| Mittelwerth für Q _t ¹ = 0,1521 g | | | | | | |
| 3. | 2,014 g | 98,0° | 100,0° | 0,6447 g | 0,3266 g | } 21,118 cal. |
| | " | 101,3 | " | 0,6634 | 0,3251 | |
| | " | 98,4 | " | 0,6412 | 0,3235 | |
| | " | 98,9 | " | 0,6605 | 0,3315 | |
| Mittelwerth für Q _t ¹ = 0,3267 g | | | | | | |
| 4. | 2,015 g | 150,3° | 150,0° | 1,0512 g | 0,5207 g | } 33,670 cal. |
| | 2,013 | 151,6 | " | 1,0573 | 0,5197 | |
| | 2,014 | 150,3 | " | 1,0566 | 0,5235 | |
| Mittelwerth für Q _t ¹ = 0,5213 g | | | | | | |
| 5. | 2,027 g | 201,6° | 200,0° | 1,5090 g | 0,7384 g | } 47,711 cal. |
| | 2,026 | 200,9 | " | 1,4987 | 0,7367 | |
| | 2,013 | 202,0 | " | 1,5026 | 0,7391 | |
| Mittelwerth für Q _t ¹ = 0,7381 g | | | | | | |
| 6. | 2,015 g | 251,0° | 250,0° | 1,9692 g | 0,9734 g | } 62,715 cal. |
| | 2,015 | 251,0 | " | 1,9609 | 0,9692 | |
| | 2,014 | 250,4 | " | 1,9587 | 0,9709 | |
| | 1,083 | 250,7 | " | 1,0506 | 0,9673 | |
| Mittelwerth für Q _t ¹ = 0,9702 g | | | | | | |
| 7. | 2,025 g | 270,3° | 270,0° | 2,2113 g | 1,0908 g | } 70,556 cal. |
| | 2,015 | 271,4 | " | 2,2115 | 1,0905 | |
| | 2,015 | 272,4 | " | 2,2213 | 1,0921 | |
| | 2,015 | 271,9 | " | 2,2274 | 1,0924 | |
| Mittelwerth für Q _t ¹ = 1,0915 g | | | | | | |
| 8. | 2,014 g | 284,8° | 285,0° | 2,3339 g | 1,1606 g | } 74,984 cal. |
| | 2,009 | 285,5 | " | 2,3352 | 1,1604 | |
| | 2,009 | 285,1 | " | 2,3297 | 1,1591 | |
| Mittelwerth für Q _t ¹ = 1,1600 g | | | | | | |

I. Hexaëder.

| | p | t ₀ | t | Q _{t₀} ^p | Q _t ¹ | q _t ⁰ |
|----|--|--------------------|--------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|
| 9. | 2,025 g | 302,5 ⁰ | 300,0 ⁰ | 2,5410 g | 1,2443 | 80,316 cal. |
| | 2,025 | 297,8 | " | 2,4947 | 1,2411 | |
| | 2,009 | 298,4 | " | 2,4823 | 1,2422 | |
| | Mittelwerth für Q _t ¹ = 1,2425 g | | | | | |

II. Dodekaëder.

| | | | | | | |
|----|--|-------------------|-------------------|----------|----------|-------------|
| 1. | 1,247 g | 57,4 ⁰ | 55,0 ⁰ | 0,2212 g | 0,1700 g | 10,801 cal. |
| | " | 53,2 | " | 0,2002 | 0,1661 | |
| | " | 55,4 | " | 0,2076 | 0,1653 | |
| | Mittelwerth für Q _t ¹ = 0,1671 g | | | | | |

| | | | | | | |
|----|--|-------------------|--------------------|----------|----------|-------------|
| 2. | 1,247 g | 99,0 ⁰ | 100,0 ⁰ | 0,4007 g | 0,3246 g | 21,053 cal. |
| | " | 100,3 | " | 0,4048 | 0,3239 | |
| | " | 98,7 | " | 0,4044 | 0,3286 | |
| | Mittelwerth für Q _t ¹ = 0,3257 g | | | | | |

| | | | | | | |
|----|--|--------------------|--------------------|----------|----------|-------------|
| 3. | 1,246 g | 151,7 ⁰ | 150,0 ⁰ | 0,6603 g | 0,5240 g | 33,697 cal. |
| | " | 151,0 | " | 0,6560 | 0,5230 | |
| | " | 148,2 | " | 0,6363 | 0,5168 | |
| | Mittelwerth für Q _t ¹ = 0,5213 g | | | | | |

| | | | | | | |
|----|--|--------------------|--------------------|----------|----------|-------------|
| 4. | 1,246 g | 203,0 ⁰ | 200,0 ⁰ | 0,9338 g | 0,7381 g | 47,718 cal. |
| | " | 200,4 | " | 0,9243 | 0,7403 | |
| | " | 201,3 | " | 0,9236 | 0,7363 | |
| | Mittelwerth für Q _t ¹ = 0,7382 g | | | | | |

| | | | | | | |
|----|--|--------------------|--------------------|----------|----------|-------------|
| 5. | 0,932 g | 248,4 ⁰ | 250,0 ⁰ | 0,8986 g | 0,9703 g | 62,766 cal. |
| | 1,246 | 250,5 | " | 1,2104 | 0,9695 | |
| | " | 251,6 | " | 1,2203 | 0,9732 | |
| | Mittelwerth für Q _t ¹ = 0,9710 g | | | | | |

| | | | | | | |
|----|--|--------------------|--------------------|----------|----------|-------------|
| 6. | 1,246 g | 269,0 ⁰ | 270,0 ⁰ | 1,3491 g | 1,0867 g | 70,427 cal. |
| | " | 270,5 | " | 1,3575 | 1,0874 | |
| | " | 271,0 | " | 1,3686 | 1,0943 | |
| | Mittelwerth für Q _t ¹ = 1,0895 g | | | | | |

| | | | | | | |
|----|--|--------------------|--------------------|--------|----------|-------------|
| 7. | 1,246 g | 284,2 ⁰ | 285,0 ⁰ | 1,4488 | 1,1661 g | 75,068 cal. |
| | 0,960 | 285,5 | " | 1,1142 | 1,1583 | |
| | 1,246 | 284,7 | " | 1,4431 | 1,1594 | |
| | Mittelwerth für Q _t ¹ = 1,1613 g | | | | | |

| | | | | | | |
|----|--|--------------------|--------------------|----------|----------|-------------|
| 8. | 0,646 g | 302,1 ⁰ | 300,0 ⁰ | 0,8199 g | 1,2604 g | 81,396 cal. |
| | 0,960 | 299,8 | " | 1,2073 | 1,2585 | |
| | 1,246 | 301,0 | " | 1,5737 | 1,2588 | |
| | Mittelwerth für Q _t ¹ = 1,2592 g | | | | | |

Ia. Hexaëder.

| t | q beobachtet | q berechnet | Differenz | s |
|-------|-----------------|----------------|-----------|--------|
| -32° | -5,462 | -5,467 | +0,005 | 0,1607 |
| 50,0° | 9,832 | 9,820 | -0,012 | 0,2124 |
| 100,0 | 21,118 | 21,111 | -0,007 | 0,2398 |
| 150,0 | 33,670 | 33,762 | +0,092 | 0,2660 |
| 200,0 | 47,711 | 47,679 | -0,032 | 0,2901 |
| 250,0 | 62,715 | 62,740 | +0,025 | 0,3120 |
| 270,0 | 70,556 | 70,556 | 0,000 | 0,2650 |
| 285,0 | 74,984 | 74,983 | -0,001 | 0,3253 |
| 300,0 | 80,316 | 80,316 | 0,000 | 0,3757 |

IIa. Dodekaëder.

| t | q beobachtet | q berechnet | Differenz | s |
|-------|-----------------|----------------|-----------|--------|
| 55,0° | 10,801 | 10,887 | +0,086 | 0,2157 |
| 100,0 | 21,051 | 21,111 | +0,061 | 0,2398 |
| 150,0 | 33,697 | 33,762 | +0,075 | 0,2660 |
| 200,0 | 47,718 | 47,679 | -0,039 | 0,2901 |
| 250,0 | 62,766 | 62,740 | -0,026 | 0,3120 |
| 270,0 | 70,427 | 70,427 | 0,000 | 0,2532 |
| 285,0 | 75,068 | 75,067 | -0,001 | 0,3656 |
| 300,0 | 81,396 | 81,395 | -0,001 | 0,4781 |

Bei einem Vergleich der entsprechenden Zahlen für die beiden Krystalltypen erkennt man, dass dieselben, wie es auch zu erwarten war, innerhalb der Versuchsfehler übereinstimmen; eine Verschiedenheit besteht nur für $t = 300^\circ$. Da die angegebenen Resultate die Mittelwerthe von drei unter einander ziemlich gut übereinstimmenden Beobachtungen sind, so dürfte die Annahme, dass diese Verschiedenheit eine Folge fehlerhafter Beobachtung sei, nicht begründet sein; es scheint, dass zeitweilig bei dem Hexaëder die Umwandlung sich nicht auf die ganze Masse erstreckt habe. Für die Berechnung der Umwandlungswärme ist indessen diese Verschiedenheit belanglos, wie wir sogleich sehen werden.

Trägt man in einem rechtwinkligen Coordinatensystem die Temperaturen t als Abscissen und die entsprechenden Wärmemengen q als Ordinaten ab, so erhält man für das

Intervall von -32° bis $+250^{\circ}$ und für das Intervall von 270° bis 300° je eine regelmässig ansteigende, nach der Axe der Temperaturen convexe Curve (Taf. III).

Nach der Methode der kleinsten Quadrate lässt sich die Abhängigkeit der abgegebenen Wärmemenge q von der Erhitzungstemperatur t durch folgende Gleichungen ausdrücken.

I. Hexaëder.

$$1) q = 0,1809644 t + 0,0003156922 t^2 - 0,00000012428 \cdot t^3$$

$$2) q_1 = 70,556 + 0,26506 (t - 270) + 0,002009 (t - 270)^2$$

II. Dodekaëder:

$$1) q = 0,1809644 t + 0,0003156922 t^2 - 0,00000012428 \cdot t^3$$

$$2) q_1 = 70,427 + 0,25316 (t - 270) + 0,0037488 (t - 270)^2$$

Die Gleichungen 1) stimmen für beide Krystalltypen überein. In den Gleichungen 2) sind dagegen die Constanten, entsprechend der oben hervorgehobenen Verschiedenheit des Werthes von q für $t = 300$, verschieden. Setzt man in diesen Gleichungen für t die angegebenen Temperaturen ein, so erhält man die in den dritten Columnen der Tabellen Ia und IIa stehenden Zahlen, welche sich von den beobachteten Werthen um die in den vierten Columnen stehenden Zahlen unterscheiden. Setzt man in je zwei zusammengehörigen Gleichungen $t = 265^{\circ}$, so erhält man die Umwandlungswärme des Boracits.

I. Hexaëder:

$$C = q_1 - q = 69,281 - 67,469 = 1,812 \text{ cal.}$$

II. Dodekaëder:

$$C = q_1 - q = 69,255 - 67,469 = 1,786 \text{ cal.}$$

Diese Werthe unterscheiden sich um $0,026 \text{ cal.}$, eine Grösse, die innerhalb der auf S. 133 angegebenen Fehlergrenze liegt. Bildet man jetzt:

I. Hexaëder:

$$\frac{dq}{dt} = s = 0,1809644 + 0,0006313844 \cdot t - 0,0000004284 \cdot t^2$$

$$\frac{dq_1}{dt} = s_1 = 0,26506 + 0,004018 \cdot (t - 270),$$

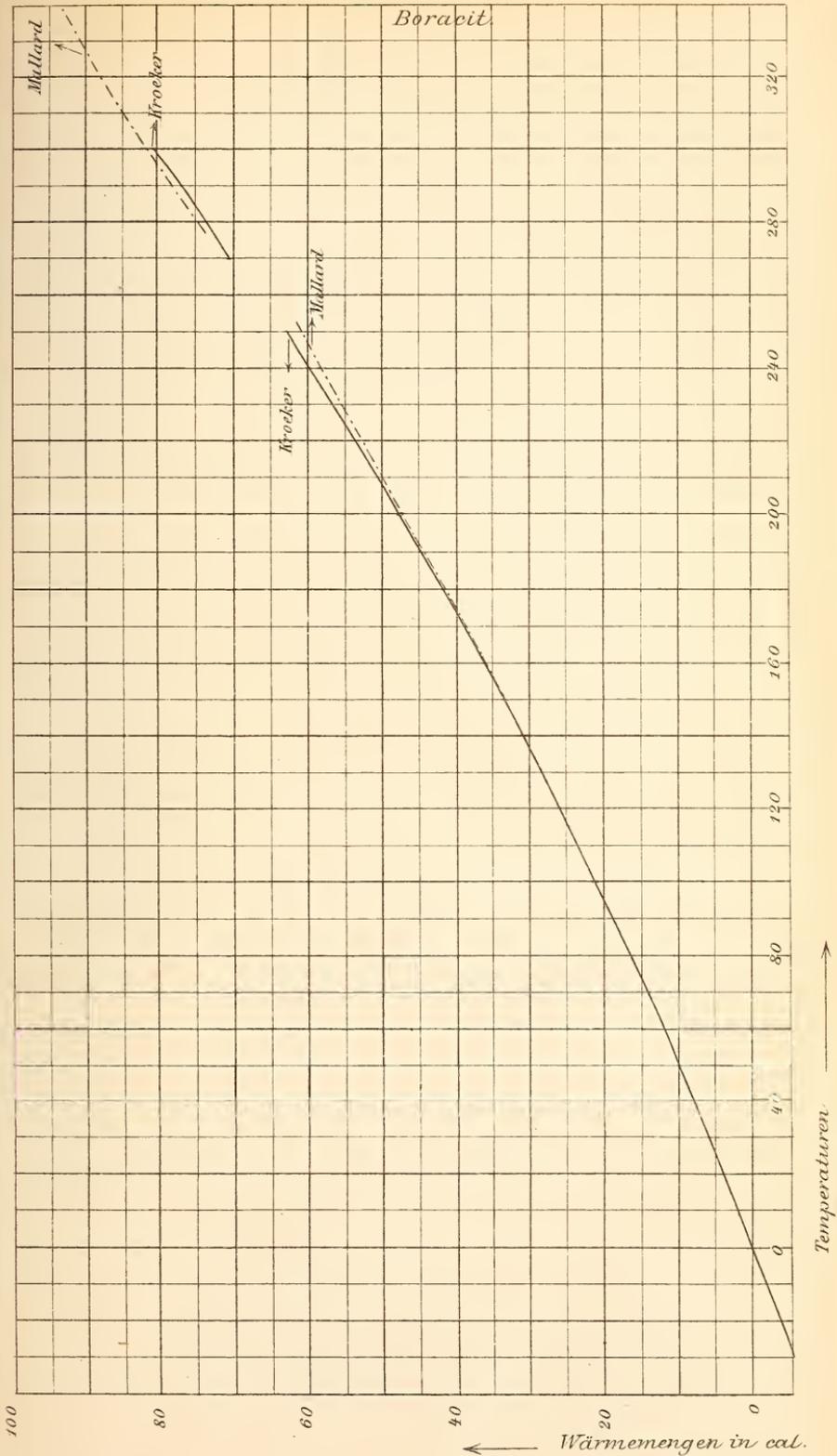
II. Dodekaëder:

$$\frac{dq}{dt} = s = 0,1809644 + 0,0006313844 \cdot t - 0,0000004284 \cdot t^2$$

$$\frac{dq_1}{dt} = s_1 = 0,25316 + 0,0074976 (t + 270),$$

so ergeben sich die in den letzten Columnen der Tabellen Ia und IIa angegebenen Werthe der specifischen Wärme des Boracits.

Göttingen, Min.-Petr. Institut der Universität, Januar 1892.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1892

Band/Volume: [1892_2](#)

Autor(en)/Author(s): Kroeker K.

Artikel/Article: [Ueber die Abhängigkeit der specifischen Wärme des Boracits von der Temperatur 125-138](#)