Ein Calorimeter für physiologische und hygienische Zwecke.

Von

Prof. Dr. **M. Rubner.**

(Aus dem hygienischen Institut zu Marburg.)

Zu dem Studium der Wärmeproduction der Organismen giebt es kaum eine bessere Methode als jene, welche auf der Berechnung der Wärmeproduction, aus den im Thierleib zerstörten Nahrungs- oder Körperstoffen fusst, zumal durch genaue calorimetrische Untersuchungen die Verbrennungswärmen des Eiweisses, des Fettes, der Kohlehydrate vollkommen sicher gestellt sind. Allein diese Methodik hat, wie jede, gewisse Grenzen ihrer Anwendbarkeit. Für manche complicirtere Zersetzungsvorgänge, wie bei der Ernährung der Thiere, oder wenn es sich namentlich um die Wärmeproduction der Thiere in kurzen Zeiträumen, innerhalb deren wir die vollkommene Ausscheidung der aus den Nahrungs- wie Körperstoffen entstandenen Zersetzungsproducte aus dem Thierleib, aus welchen wir die verbrannten Stoffe zu berechnen pflegen, nicht annehmen können, handelt, ward die directe calorimetrische Messung der abgegebenen Wärme zur nothwendigen Voraussetzung. Gerade an der Verfolgung jener Fragen, mit welchen der Verfasser seit einer Reihe von Jahren beschäftigt ist, machte sich die bisher bestehende Lücke empfindlich bemerkbar, und es wurde die Gewinnung eines einfachen, universell anwendbaren Calorimeters dringend erwünscht.

Kaum von geringerer Bedeutung wie für die Fragen der Wärmeabgabe bei den Thieren und speciell physiologische Aufgaben würden

einen wesentlichen Theil der gemessenen Wärme aus und bedingen Unsicherheiten, die sich freilich in den Händen exacter Beobachter auf ein geringes Maass reduciren lassen.

In neuerer Zeit hat man sich mehrfach einer andern Art von Calorimetern — den Luftcalorimetern zugewandt. Bei diesen befindet sich das Object, dessen Wärmemenge gemessen werden soll, in einem Raume mit doppelten Wandungen, zwischen welchen Luft eingeschlossen ist. Die abgegebene Wärme dehnt die Luft aus und diese Ausdehnung bildet den Maassstab für die Wärmemenge. Dieses Calorimeter ist strenge genommen nichts anderes als ein Luftthermometer, dessen Cuvette das wärmeabgebende Object vollkommen umschliesst. Verwendet wurde eine solche Einrichtung von Geigel, der unter Kunkel's Leitung die Wärmeabgabe von dem Arme eines Menschen untersuchte[1]), ferner hat d'Arsonval[2]) das Luftcalorimeter zu Untersuchungen von Thieren angewendet. Während Geigel nur relative Werthe für die Wärmeabgabe zu gewinnen sich bestrebte, scheint d'Arsonval dasselbe auch für absolute Wärmemessungen zu benützen. Gerade mit Rücksicht auf die Letzteren scheint es wünschenswerth, genauere Mittheilungen über den Gebrauch des Luftcalorimeters zu machen und über Versuche zu berichten, die bereits vor längerer Zeit im hiesigen hygienischen Institut ausgeführt wurden. Die Einrichtung des Calorimeters für bestimmte hygienische Aufgaben habe ich bereits andern Orts gegeben[3]). Bei der Ausführung der vielfach recht mühseligen und zeitraubenden Vorversuche und Messungen hat mich mein Assistent Dr. Rumpel bestens unterstützt; die Anschaffung der nöthigen Instrumente war durch einen besonderen Zuschuss der Bosestiftung ermöglicht. Erst nach einer grossen Reihe unvollkommener Versuche und erfahrungsreicher Vorstudien haben sich die im Nachfolgenden mitgetheilten Einrichtungen be-

1) Archiv für Hygiene 1884 Bd. 2 S. 218.

2) Journ. d'anat. et de physiol. 1886 (Mars-Avril).

3) Rubner, Lehrbuch der Hygiene S. 69; nach Abschluss unserer Untersuchungen erschien im Archiv der Anat. und Physiol. eine Arbeit von C. Rosenthal, gleichfalls über calorimetrische Messungen mit dem Luftcalorimeter, auf welche anderen Orts eingegangen wird.

zuverlässige Hilfsmittel zu calorimetrischen Messungen für hygienische Studien sein, zumal die letzteren vielfach mit kaum zu bestimmender Grenze direct an physiologische Vorarbeiten anzuknüpfen haben. So verhält es sich beispielsweise mit der Rolle, welche der Bekleidung für den Menschen hinsichtlich der Wärmeregulation zuzumessen ist. Der Vorgang der Wärmeregulation durch die Kleidung stellt ja nichts weiter dar, als eine specielle Frage der allen Warmblütern gemeinsam zukommenden Fähigkeit der Erhaltung der Eigentemperatur. Aber auch ausserhalb dieses der Physiologie verwandteren Gebietes bedarf die Hygiene für die Aufklärung wichtiger Theile der Lehre von der Beheizung oder der Beleuchtung erst noch besonderer, den speciellen Zwecken angepasster calorimetrischer Hilfsmittel.

Wir haben zwar — von den hygienischen Bedürfnissen abgesehen — bis jetzt für Thierversuche keineswegs der Instrumente, ihre Wärmeabgabe zu messen, entbehrt. Im Gegentheil, es stehen uns zur Messung jener geringen Wärmemengen, welche die Thiere produciren, mehrfach Calorimeter zur Verfügung; namentlich die Wassercalorimeter haben hierzu Verwendung gefunden. Bei jenem von Dulong[1]) angegebenen befindet sich das Thier in einem Kupferbehälter, welcher unter Wasser versenkt ist. Den Behälter durchstreicht Luft zur Sauerstoffzufuhr für das Thier, die Ausathemluft wird in einem mehrfach gewundenen Rohre durch das Wasser, an letzteres die Wärme abgebend, abgesaugt. Der Erwärmungsgrad des Wassers bietet das Maass zur Berechnung der Wärmeproduction. In ähnlicher Weise war das Calorimeter von Depretz[2]) eingerichtet und wurden späterhin derartige Instrumente vielfach zu Versuchen benützt.

Die Wassercalorimeter leiden aber alle an einer gewissen Unbequemlichkeit und es fehlt ihnen jene Handlichkeit, welche durch die grosse Zahl und Variirung der Versuche eine Verbreitung und Vertiefung der Untersuchung gestattet. Die Correctionen für die Abkühlung des Calorimeters durch die Berührung mit Luft machen

1) Dulong, Compt. rend. Bd. 18 S. 327.
2) Depretz, Ann. d. chim. et d. phys. (2) Bd. 26 p. 337.

währt. Die in Frage kommenden Bedingungen zu Wärmemessungen mit dem Luftcalorimeter nach absolutem Maasse werden im Folgenden einzeln besprochen werden.

a) Beschreibung des Calorimeters.

Von Luftcalorimetern wurden verschiedene Formen verwendet und wird auch stets nach den speciellen Aufgaben, welche zu lösen sind, das Aeussere derselben bestimmt werden. Für Thiere empfiehlt sich ein Doppelcylinder mit eiförmigem Querschnitt, der an der einen Seite zur Einbringung des Thieres geöffnet ist und sodann durch ein geeignetes, gleichfalls doppelwandiges Verschlussstück geschlossen werden kann; für andere Zwecke, zur Bestimmung der Verbrennungswärme von Beleuchtungsmaterial u. dgl. verwendet man aufrecht stehende Calorimeter. Da zunächst im Laboratorium die Wärmeabgabe von der Haut des Armes eines Gesunden bestimmt werden sollte, so sind namentlich mit einem für diesen Gebrauch besonders eingerichteten Instrumente viele Beobachtungen angestellt worden, über welche hier, insoweit dieselben die principielle Frage der Verwendbarkeit der Luftcalorimeter betreffen, berichtet werden soll. Es wird daher die Aufgabe sein, die Einrichtung unseres Calorimeters hier mitzutheilen.

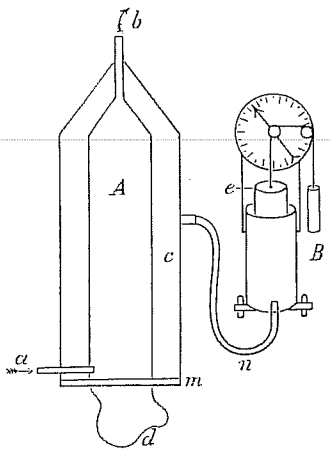

Fig. 1.

Das Calorimeter bestand, wie Fig. 1 zeigt, aus einem doppelwandigen Cylinder, innen aus Weissblech gefertigt, der äussere Mantel jedoch aus mittelstarkem Messingblech. An der einen Seite verlängert sich dieser Cylinder konisch. Der entstehende Hohlraum *c* communicirt mit einer Vorrichtung, welche die durch die Erwärmung der Luft entstehende Ausdehnung derselben oder den von ihr ausgeübten Druck zu messen gestattet.

Der Raum *A* dient zur Aufnahme des Gegenstandes, dessen Wärmeabgabe gemessen werden soll; handelt es sich um Objecte, welche constanter Luftzuführung bedürfen, so tritt durch *a* Luft ein und verlässt durch *b* den Innenraum *A*.

An dem Ende des Cylinders bei *m* befindet sich eine, die Wärme schlecht leitende Schicht — eine Holzplatte, durch mehrere Schrauben fest verbunden. Hier wird durch eine Oeffnung die Wärmequelle eingebracht; doch muss durch einen kleinen aus Holz gefertigten Rost Fürsorge getroffen werden, dass nirgends ein directer Contact der Wärmequelle mit der Wandung des Calorimeters vorhanden ist.

Das Calorimeter ruht auf zwei vertical gestellten, mit entsprechenden Ausschnitten versehenen Brettchen, etwa 20—25 cm von der Tischfläche entfernt. Die Aussenseite des Calorimeters wird durch Putzen sorgfältigst blank erhalten; im Innern ist es durch Asphaltlack geschwärzt.

Eine Wärmequelle ins Innere des Instruments gebracht, gibt Wärme durch Strahlung an die Calorimeterwandungen ab und indem sich die Luft erwärmt, wird auch Wärme durch Leitung an die Wandungen übertragen. Die innere Calorimeterwandung gibt ihrerseits in gleicher Weise die Wärme an die Aussenwandung ab, durch Strahlung, ferner durch Leitung, indem die in dem Hohlraum *c* eingeschlossene Luft an dem Wärmetransport sich betheiliget. Jede Mehrung der Wärmemenge im Calorimeter wird bei gleichbleibenden Aussenbedingungen die Wandungstemperatur von Innen- und Aussenwand ändern und damit eine Erhöhung oder eine Erniedrigung der Lufttemperatur in *c* herbeiführen. Diese Aenderung der Temperatur der Luft lässt sich nun in mannigfacher Weise messen.

b) Die Messung der Lufterwärmung.

Die directe Bestimmung der Temperatur der Luft in *c*, welche unter Umständen ja zur Messung der Wärmeabgabe zu verwenden wäre, kann, da andere genauere und bequemere Arten der Feststellung möglich sind, übergangen werden. Geigel hat

in den unter Kunkel's Leitung angestellten Versuchen die Volumzunahme der erwärmten Luft gemessen und zwar mittels eines Manometers mit stark geneigtem Schenkel. Auf diese Weise lassen sich bereits minimale Erwärmungen der Calorimeterluft feststellen, ja vielfach ist dieser Nachweis der Ausdehnung zu empfindlich, als dass er bei genaueren Messungen sich verwerthen liesse.

Es soll nicht geleugnet werden, dass man unter Umständen einer derartigen Einrichtung mit Vortheil sich bedienen kann. Besonders eignet sich alsdann das Recknagel'sche Differentialmanometer zur Verbindung mit dem Calorimeter. Das Recknagel'sche Instrument bietet den grossen Vortheil, rasch und in beliebiger aber genau messbarer Weise die Neigung des einen Schenkels des Manometers zu ändern. Wegen allzugrosser Empfindlichkeit eignet sich diese Versuchsanordnung nur für ganz kurze Beobachtungszeiten und minimale Wärmemengen; sie ist dabei mit gröberen Versuchsfehlern behaftet und lässt sich zu Messungen nach absolutem Maasse nicht verwerthen.

Die Messung des Druckes, den die erwärmte Luft ausübt, eignet sich recht wohl, um auch bei langdauernden Versuchen die Veränderungen im Wärmegrad der Luft im Calorimetermantel festzustellen. Je mehr Wärme ein Körper producirt, desto mehr wird sie auch den Mantelraum durchsetzen, die Luft auszudehnen versuchen und den am Manometer ablesbaren Druck leisten. Man kann bei mittlerer Grösse des Mantelraumes und relativ geringen Wärmequellen einen Druck von vielen Centimetern Wasser erhalten und auch immerhin geringe Schwankungen der Wärmeproduction wahrnehmen. Je nach dem Grade der Erhitzung des Calorimeters verwendet man entweder Petroleum, Wasser oder Quecksilber als Sperrflüssigkeit im Manometer. Die Druckmessung hat aber entschiedene Nachtheile. Bei starkem Druck kommen leicht Verbiegungen an den Wandungen des Calorimeters zu Stande, welche bisweilen zu nennenswerthen Aenderungen im Cubikinhalt des Mantelraums führen können, ausserdem aber führen irgend welche minimale Undichtigkeiten des Calorimeters zur vollkommenen Functionsunfähigkeit des Instrumentes. Verbiegungen der Wandungen führen ihrerseits leicht wieder zu Undichtigkeiten.

in den unter Kunkel's Leitung angestellten Versuchen die Volumzunahme der erwärmten Luft gemessen und zwar mittels eines Manometers mit stark geneigtem Schenkel. Auf diese Weise lassen sich bereits minimale Erwärmungen der Calorimeterluft feststellen, ja vielfach ist dieser Nachweis der Ausdehnung zu empfindlich, als dass er bei genaueren Messungen sich verwerthen liesse.

Es soll nicht geleugnet werden, dass man unter Umständen einer derartigen Einrichtung mit Vortheil sich bedienen kann. Besonders eignet sich alsdann das Recknagel'sche Differentialmanometer zur Verbindung mit dem Calorimeter. Das Recknagel'sche Instrument bietet den grossen Vortheil, rasch und in beliebiger aber genau messbarer Weise die Neigung des einen Schenkels des Manometers zu ändern. Wegen allzugrosser Empfindlichkeit eignet sich diese Versuchsanordnung nur für ganz kurze Beobachtungszeiten und minimale Wärmemengen; sie ist dabei mit gröberen Versuchsfehlern behaftet und lässt sich zu Messungen nach absolutem Maasse nicht verwerthen.

Die Messung des Druckes, den die erwärmte Luft ausübt, eignet sich recht wohl, um auch bei langdauernden Versuchen die Veränderungen im Wärmegrad der Luft im Calorimetermantel festzustellen. Je mehr Wärme ein Körper producirt, desto mehr wird sie auch den Mantelraum durchsetzen, die Luft auszudehnen versuchen und den am Manometer ablesbaren Druck leisten. Man kann bei mittlerer Grösse des Mantelraumes und relativ geringen Wärmequellen einen Druck von vielen Centimetern Wasser erhalten und auch immerhin geringe Schwankungen der Wärmeproduction wahrnehmen. Je nach dem Grade der Erhitzung des Calorimeters verwendet man entweder Petroleum, Wasser oder Quecksilber als Sperrflüssigkeit im Manometer. Die Druckmessung hat aber entschiedene Nachtheile. Bei starkem Druck kommen leicht Verbiegungen an den Wandungen des Calorimeters zu Stande, welche bisweilen zu nennenswerthen Aenderungen im Cubikinhalt des Mantelraums führen können, ausserdem aber führen irgend welche minimale Undichtigkeiten des Calorimeters zur vollkommenen Functionsunfähigkeit des Instrumentes. Verbiegungen der Wandungen führen ihrerseits leicht wieder zu Undichtigkeiten.

Als zuverlässigste Methode, die Erwärmung des Mantelraums festzustellen, muss die Volummessung angesehen werden. Hier bieten sich aber wieder mehrere Wege. Schon d'Arsonval hat die aus dem Mantelraum durch die Erwärmung ausgetriebene Luft nach einer kleinen cylindrischen Glocke geleitet, welche leicht beweglich in eine Sperrflüssigkeit tauchte. Ueber den Spiegel der Sperrflüssigkeit wurde mittels einer festen Röhre die Mantelraumluft in die Glocke geleitet und diese dadurch, wie ein Gasometer durch Leuchtgas emporgehoben wird, in Bewegung gesetzt. Durch eine Hebelübertragung schrieben sich die Bewegungen der Glocke selbstthätig an einer berussten Trommel auf. Diese Einrichtung hat den ungemeinen Vorzug, dass die Glocke bereits bei einem minimalen Drucke sich bewegt und hebt, Undichtigkeiten des Mantelraums in ihrem Schaden auf das kleinste Maass zurückgeführt werden und kaum in Frage kommen.

Auch ich habe mich nun einer ähnlichen Einrichtung von d'Arsonval bedient, insoferne das Volum der austretenden Luft gemessen wurde, doch in wesentlichen Theilen gegenüber dem Apparate Abänderungen getroffen wurden, welche die Empfindlichkeit wesentlich zu erhöhen im Stande waren.

In einem cylindrischen Gefässe aus Weissblech *B* befindet sich vom Boden aufsteigend ein verticales Metallrohr zur Einleitung der Luft aus *c* (s. Fig. 1), das Gefäss *B* ist mit Petroleum gefüllt; in letzteres taucht eine cylindrische, aus leichtem Messingblech gefertigte Glocke *e*. Oberhalb der Glocke wurde eine gut (in 360°) getheilte Scheibe aus Metall befestigt, in deren Mitte ein leicht bewegliches Rad den Aufhängepunkt der Glocke *e* bietet und zugleich durch einen Zeiger die Hebung der Glocke *e* an der Kreistheilung messen lässt. Ein Gegengewicht gleicht den Widerstand für den Auftrieb der Glocke möglichst vollkommen aus; allerdings ist das Gewicht der Glocke bei verschieden tiefem Eintauchen nicht völlig das gleiche. Die hierdurch aber bedingten Druckdifferenzen sind, wie direct mit einem sehr empfindlichen Differentialmanometer gemessen wurde, nur unbedeutend. Im Maximalfalle, wenn man den tiefsten Stand der Glocke, sowie den höchsten miteinander vergleicht, ergeben sich Differenzen von 2,04 mm Wasser = 0,15 mm Hg-Druck. Aender-

ungen in der Genauigkeit des Instrumentes werden dadurch also nicht hervorgerufen.

Das Instrument wird vor der Verwendung durch die am Boden angebrachten Stellschrauben sorgfältig vertical gestellt und auf das Freischweben der Glocke geachtet. Mit dem Hohlraum *c* verbindet die Glocke ein Kautschukschlauch, welcher durch ein **T**-Rohr aus Glas[1]) und einem an letzteres gefügten, mit einer Klemmschraube versehenen Schlauch, auch eine Communication von *c* und der Glocke *e* mit der Atmosphäre herzustellen erlaubt und namentlich zum Anblasen der Glocke *e* benöthiget wird. Da nach Beendigung der Versuche bei Abkühlung des Calorimeters (unter die Anfangstemperatur) das Petroleum nach *c* gesogen würde, muss durch Oeffnung des Quetschhahnes der Eintritt von Aussenluft ermöglichet werden.

Die Eintheilung der Scheibe des Volumeters — wie wir das Messinstrument nennen wollen — ist so getroffen, dass bereits eine Volumzunahme von 1,383 ccm einen Ausschlag von 1° erzeugt; eine ausserordentliche Empfindlichkeit, zumal die im Calorimeter eingeschlossene Luftmenge 50000 ccm betrug.

Temperaturänderungen des Volumeters ändern kaum in irgend welchen Fällen die Resultate; als das Instrument in kühlem Wasser von 10° längere Zeit stehen blieb, zeigte sich ein Ausschlag von 240° (bei höchster Stellung der Glocke), der nach längerem Stehen in Wasser von 30° sich auf 270° = + 30° mehrte. Da während der Versuche nur minimale Schwankungen der Temperaturen eintreten, liegt hierin keine Fehlerquelle für dieselben.

In vielen Versuchen reichte die Glocke nicht aus, die Gesammtmenge der ausgetretenen Luft aufzunehmen. Trotzdem wurde aber von der Construction eines grösseren, weniger empfindlichen anderen Instrumentes abgesehen. Die Schwierigkeit lässt sich leicht umgehen. Hat sich die Glocke stark gehoben, so klemmt man mittels eines Quetschhahnes zwischen **T**-Stück und dem Calorimeter ab und lässt durch Oeffnen des Kautschukschlauches an dem **T**-Stück Luft entweichen und die Glocke sinken. Sodann wird der Kautschukschlauch, nachdem die Anzahl der Grade, um welche man den Zeiger zurück-

1) In Fig. 1 weggelassen.

gerückt hat, notirt, geschlossen und die Verbindung mit dem Calorimeter wieder hergestellt.

Für besondere Fälle, wenn es sich um Luftcalorimeter grösserer Dimensionen handelt, kann anstatt des Volumeters eine Gasuhr zur Messung der Ausdehnung der Calorimeterluft benützt werden, was den Vortheil bietet, dass man nach Beendigung des Versuches nicht erst eine Communication mit der äusseren Luft herzustellen genöthigt ist. Diese Modification der Versuche werde ich in Folgendem aber nicht weiter berühren.

c) Die Prüfung auf die Dichtigkeit.

Hat man das Calorimeter in der vorher genannten Weise mit dem Volumeter verbunden, so müssen die Apparate zunächst auf ihre Dichtigkeit geprüft werden, eine Vorsicht, die man selbstverständlich auch späterhin nicht ausser Auge lassen darf, wenn schon ich auch bei längerem Gebrauch ein Leckwerden der Apparate bisher nicht beobachtet habe. Die Prüfung auf Dichtigkeit nimmt man für das Volumeter und Calorimeter getrennt vor. Zur Prüfung des Ersteren klemmt man den zuführenden Kautschukschlauch ab und belastet die Glocke des Volumeters mit dem maximalsten Druck, der ohne Ueberlaufen des Petroleums erlaubt ist, und wartet nun ½ — 1 Stunde, ob der Zeiger einen constanten Stand beibehält.

Schwieriger ist es bei den vielen und ausgedehnten Löthstellen des Calorimeters an diesem Undichtigkeiten aufzufinden. Man wendet einen stärkeren Druck an. Das Volumeter wird von dem T-Stück abgenommen, dann durch einen Schlauch, letzterer mit einem Quecksilbermanometer verbunden und ausserdem an das noch freibleibende Ende des Kautschukschlauches, der zum Einblasen der Luft dient, ein Kautschukgebläse angefügt und nun durch Drücken mit der Hand ein Druck von 60 — 80 mm Hg erzeugt. Unter diesem Drucke muss das Calorimeter lange Zeit hindurch völlig dicht bleiben. Sinkt nun das Manometer wegen vorhandener Undichtigkeiten, so bestreicht man alle Löthstellen mit einer ziemlich concentrirten Seifenlösung; auch die geringste Undichtigkeit erkennt man an der sich bildenden Seifenblase. Die Innenseite des Calorimeters wird

selbstverständlich erst mit Asphaltlack überstrichen, nachdem durch Löthung absolute Dichtigkeit erreicht ist.

Gewöhnlich genügt ein einmaliges Nachsehen der Löthstellen zur vollkommenen Dichtung nicht, da die geringeren Undichtigkeiten erst nach Verlöthung der gröberen Lecke bemerkbar zu werden pflegen.

d) Einfluss der Temperatur, des Luftdruckes, das Differentialcalorimeter.

Das Luftcalorimeter bringt, da es ja eigentlich nur Lufttherm-meter ist, nicht nur bei Einbringung eines wärmeliefernden Objectes, sondern auch unter dem Einflusse anderweitiger Erwärmung, bei Veränderungen der Zimmertemperatur und bei Aenderungen des Luftdruckes, eine Hebung oder Senkung der Glocke des Volumeters hervor.

Um die durch die Temperaturänderungen sich ergebenden Fehler auszuschliessen, ist es nothwendig, in der Nähe des Calorimeters empfindliche Thermometer aufzustellen und zwar eines etwas über und seitlich vom Apparate, ein zweites unterhalb und seitlich von demselben. Die Temperaturänderungen werden genau abgelesen, das Calorimeter selbst durch Schirme aus Pappe vor directer Bestrahlung geschützt.

Kennt man das Volumen der in dem Calorimeter eingeschlossenen Luft, so ist die Correction für die Temperaturänderungen leicht zu gewinnen. Dazu wird als bekannt vorausgesetzt, dass man die Angaben des Volumeters nach Cubikcentimetern ausdrücken könne. Zu diesem Behufe hebt man die Glocke heraus, reinigt sie mit Fliesspapier von Petroleum, stellt sie umgekehrt an einem Stativ fest und schüttet aus einem Messcylinder Wasser von bestimmter Temperatur zu, bis eben die Glocke bis an den Rand gefüllt ist und wiederholt den Versuch öfter. Sodann wird die (innere) Höhe der Glocke sorgfältig gemessen. Durch beide Beobachtungen erfährt man, wie viel die Glocke Luft fasst, wenn sie z. B. 1, 2, 3, 6° C. u. s. w. gehoben wird. Nun senkt man sie wieder in das

Petroleumgefäss, befestigt an dem oberen Rand der Glocke ein über den Rand des Volumeters vorstehendes horizontales Stäbchen und stellt vertical hinter diesem einen Maassstab auf. Notirt man sich dann den Stand des Zeigers an der Kreistheilung, ferner den Stand des horizontalen Stäbchens an dem Maassstab und verändert dann durch Einblasen von Luft (an dem T-Stück) den Stand des Zeigers und des Stäbchens, so erfährt man, wie vielen Cubikcentimetern Luft der Ausschlag des Zeigers des Volumeters entspricht, durch einfache Rechnung.

Z. B. wurde beobachtet, dass eine 1 cm hohe Schicht der Glocke gerade 46,51 ccm entspricht. Als die Glocke sich 106 mm hoch hob, betrug der Ausschlag des Zeigers 360°. Als die Glocke sich 107 mm hoch hob, betrug der Ausschlag des Zeigers 363°, also in dem ersten Falle für 1 cm Hebung 32,96°, in dem zweiten Falle für 1 cm Hebung 33,92° Ausschlag, welche demnach 46,51 ccm Luft entsprechen.

Fast ebenso einfach ist die Volumbestimmung der im Calorimeter eingeschlossenen Luft; ein Eingiessen von Wasser und Aichung mittels desselben ist aus naheliegenden Gründen ausgeschlossen. Ein anderer Weg führt aber ebenso bequem zu befriedigendem Resultate.

Der Stand des Volumeters wird gemessen. Ausser mit ersterem ist das Calorimeter noch mit dem Quecksilbermanometer verbunden. Der Stand des Barometers wird genau notirt. Alsdann wird in das Calorimeter, nach Abklemmung der Verbindung zum Volumeter, Luft eingepresst und nun am Quecksilbermanometer der Druck abgelesen. Alsdann löst man nach dem Volumeter hin die Verbindung und misst mittels desselben die aus dem Calorimeter ausströmende Luft. Da nun das Volumen der ausströmenden Luft bekannt ist (v) und weiters der Barometer durch (b) und der durch Einblasen von Luft erzeugte Druck ($b+n$) so ergibt sich das eingeschlossene Volum zu:

$$x \cdot b = (x - v) \cdot (b + n)$$

$$x = \frac{v\,(b+n)}{n}$$

Kennt man nun in dieser Weise den Voluminhalt des Calorimeters, so lässt sich auch leicht angeben, um wie viele Grade das Volumeter bei Erhöhung der Temperatur der umgebenden Luft um 1° C sich änderte und eine Correction der Beobachtungen vornehmen; in einem gegebenen Falle berechnete sich für das Volumeter bei Zunahme der Temperatur um 1° 166° als Zuwachs.

Die Correctionszahl kann übrigens auch direct gewonnen werden durch langsames Anheizen des Raumes, in welchem das Calorimeter sich befindet und Beobachtung der Zunahme der Angaben des Volumeters, endlich noch durch Berechnung des Cubikinhaltes nach den (annähernden) Dimensionen des Calorimeters.

In gleicher Weise kann man für die Veränderungen, welche der Stand des Volumeters unter dem Einflusse der Barometerdruck-Aenderungen annimmt, eine Correctionszahl gewinnen. Bei kurz dauernden Versuchsreihen wird man allerdings einer solchen kaum bedürfen; doch kann bei Messung geringer Wärmequantitäten mittels eines grösseren Calorimeters (mit bedeutendem Luftinhalt) der Fehler durch Vernachlässigung des Barometerdruckes sehr beträchtlich werden.

Es lassen sich nach dem Gesagten mittels eines Luftcalorimeters Messungen der abgegebenen Wärme eines Körpers mit constanter Wärmeentwicklung ausführen und rechnerisch unabhängig machen vom Luftdruck und dem Wechsel der Temperatur.

Indess steht, insoferne man der mühsamen Ablesung der Thermometer, des Barometers und rechnerischer Reductionen sich begeben will, andere Wege des Experimentes offen. Soweit mir bekannt, scheint d'Arsonval zuerst eine Anwendung von zwei Calorimetern gemacht zu haben, deren eines für den eigentlichen Versuch d. h. zur Aufnahme der Wärmequelle diente, indess das zweite unbenützte nur insoferne Schwankungen am Messapparate bemerken liess, als Temperatur und Luftdruck Aenderungen bedingten. Das zweite Calorimeter ergab also die Summe aller Correctionswerthe für das erste Calorimeter; doch ist auch dies Verfahren nicht, in beliebiger Weise angewendet, tadellos. Es bedarf vielmehr einer möglichst gleichmässigen Aufstellung der beiden Calorimeter und sorgfältiger Ueberwachung der Heizung eines

Zimmers und Mischung der Luft, wenn man gleichheitliche Temperaturen an beiden Calorimetern voraussetzen und einen richtigen Correctionswerth erhalten will.

d'Arsonval hat die beiden Messglocken zweier Calorimeter durch einen Hebel verbunden und lässt mittels des letzteren den Stand der Glocken auf eine rotirende Trommel aufschreiben. Da durch eine solche Einrichtung unmittelbar der Correctionswerth eliminirt wird, indem jede gleichmässige Erwärmung, Abkühlung oder die auf Barometerdruckschwankungen beruhenden Volumänderungen beide Glocken gleichmässig heben oder senken (gleichen Cubikinhalt der Glocken und des Calorimeters vorausgesetzt), also den Hebel unbeeinflusst lassen, so erhält man als Aufschreibung auf die Trommel nur jene Wärmemengen, welche auf die (constante) Wärmequelle in dem Versuchscalorimeter zu beziehen ist.

Bei der Anwendung dieser Einrichtung ergaben sich jedoch mancherlei Schwierigkeiten, deren eine darin bestand, dass die Temperaturschwankungen in manchen Fällen das Petroleum aus dem Volumeter vollkommen herausdrängten, wodurch man zum Abbrechen des Versuches genöthigt wird. Wenn nun schon zugegeben werden mag, dass die Versuchsbedingungen wegen der Ungunst der Räume meines damaligen Institutes nicht überall in gleicher Weise störend sein werden, so würde doch die Voraussetzung möglichst kleiner Temperaturschwankungen des Versuchsraumes den Gebrauch des Calorimeters wesentlich einschränken. Ich halte es daher für zweckmässig, auf jedwede Verkoppelung der beiden Cylinder des Volumeters zu verzichten, und habe die beiden, für zwei Instrumente zu verwendenden Volumeter, neben einander auf einem Stative aufstellen lassen. Zur Berechnung hat man ja nichts weiter zu besorgen, als die Differenz der Angaben beider Volumeter zu verwerthen.

Z. B. wurde bei einem Versuche mit einem Thiere an dem Volumeter I abgelesen 299°, indess das zweite als Correctionszahl zu verwendende Volum ergab 20°, die Differenz entspricht also der von dem Thier abgegebenen Wärme = 279°.

Die graphische Darstellung, welche für manche Fälle Vorzüge besitzt, entbehrt doch für die meisten Fälle des Vorzuges

der Zeitersparniss; namentlich bei Thierversuchen ist es absolut unthunlich, den Gang des Versuches unbeachtet zu lassen, vielmehr sollte der Experimentator stets anwesend sein. Dann ist es aber auch keine Mühe, die Zahlen der beiden Volumeter abzulesen. Eine Zeitersparniss gewährt die graphische Methode in diesem Falle jedenfalls nicht.

Will man aber dennoch, etwa für Demonstrationszwecke in einer Vorlesung eine Koppelung der zwei Cylinder zweier Volumeter vornehmen, um nur auf den Ausschlag an einer Volumeterscheibe die Aufmerksamkeit zu lenken, dann lassen sich mit folgender Einrichtung Differentialversuche leicht vornehmen.

Die beiden Scheiben der Volumeter werden durch eine aufschraubbare Vorrichtung mit einander verbunden; die beiden Petroleumbehälter der Volumeter durch eine nicht zu enge Messingröhre, welche beiderseits unterhalb dem Petroleumspiegel mündet, verschraubt. Sie dient zum Ausgleich des letzteren für beide Gefässe. Gerade mitten zwischen den beiden Volumetern ist ein verticales Röhrchen angebracht, in welchem die Trägerstange eines Hebels gleitet und mittels einer Stellschraube fixirt werden kann. Die Trägerstange hat eine Millimetertheilung, sie lässt ablesen, wie hoch der Hebel steht. Der Hebel greift mit je zwei fingerartigen Ansätzen gerade auf die Mitte der Cylinder auf. Solange nun beiden Calorimetern die gleiche Wärmemenge zugeführt wird, wird auch dem Volumeter gleich viel Luft eingepresst. Der Hebel und der Zeiger des Volumeters bleiben in Ruhelage; das Petroleum wird aus den Cylindern des Volumeters verdrängt und steigt im Gefässe. Gefährdet der letztere Umstand nun die Weiterführung des Versuches, so löst man die Stellschraube des Hebels und gestattet die Hebung des letzteren durch die Cylinder, um eine bestimmte Anzahl von Theilstrichen. Da man vorher die Verbindung der Volumeter mit dem Calorimeter abgeklemmt hat, kann man auch ohne Störung ablesen, welche Aenderung im Stande des Zeigers eingetreten ist; auch kann man — dazu dient die Eintheilung des Trägers des Hebels — durch Vorversuch feststellen, welche Aenderung im Stande des Zeigers das Heben oder Senken des Hebels um 1,2 u. s. w. mm entspricht, dann bedarf es keiner besonderen Ablesung

des Volumeterstandes, sondern man kann nach Beendigung des Versuches nach dem Protokolle desselben die nothwendigen Correcturen vornehmen.

e) Zeitdauer der Versuche. Uebereinstimmung der Resultate.

Das von mir beschriebene Luftcalorimeter ist sehr empfindlich; es bedarf nur der Einbringung einer minimalen Wärmequelle in den Calorimeterraum, um nach wenigen Secunden den Ausschlag an dem Volumeter bereits wahrzunehmen. Trotz dieses Umstandes dauert es aber verhältnissmässig sehr lange, ehe das Calorimeter vollkommen im Wärmegleichgewicht sich befindet. Durch zahlreiche, wohl über hundert Versuche hatte ich die Gelegenheit, den Gang der Erwärmung an dem eben beschriebenen, wie an anders gebauten Calorimetern kennen zu lernen. Bei dem genannten, aus Weissblech und Messing gefertigten Instrumente wurde das thermische Gleichgewicht zwischen 30—40 Minuten errreicht; so dass die Ablesungen der letzten 30—20 Minuten zur Bildung einer Mittelzahl zu verwerthen sind.

Als Beispiele hierfür lasse ich einige an einem kleinen Meerschweinchen angestellte Versuche folgen; die Bezeichnung der einzelnen Zeilen wird leicht verständlich sein. Das Calorimeter, welches die Correctionswerthe lieferte, sei als Cal. I, das Calorimeter, welches das Meerschweinchen enthielt, als Cal. II aufgeführt. Das Zeichen — bedeutet ein Fallen, das Zeichen + eine Zunahme der Volumeterzahl.

Versuch 1.

Zeit	8 Uhr 30	40	50	9 Uhr	10	20	30
Cal. I	0	— 5	+ 15	+ 20	+ 45	+ 50	+ 85
Cal. II	0	+ 136	+ 246	+ 260	+ 300	+ 315	+ 346
Differenz II—I	0	+ 141	+ 231	+ 240	+ 255	+ 255	+ 261

Seit der 30. Minute war die Zunahme des Wärmewerthes demnach eine so geringe, dass man die gewonnenen Werthe zur Bildung einer Mittelzahl benützen kann und ähnlich verhält es sich in den folgenden Fällen.

Versuch II.

Zeit	12 Uhr 8	18	28	38	48	58	1 Uhr 8
Cal. I	0	0	0	+ 4	+ 2	+ 15	+ 20
Cal. II	0	+ 174	+ 234	+ 264	+ 274	+ 293	+ 299
Differenz II—I	0	+ 174	+ 234	+ 260	+ 272	+ 278	+ 279

Versuch III.

Zeit	4 Uhr 40	50	5 Uhr	10	20	30	40
Cal. I	0	+ 15	+ 15	— 2	— 1	— 10	— 30
Cal. II	0	188	258	283	313	328	323
Differenz	0	173	243	285	314	338	353

Auch in anderen länger fortgeführten Versuchen, auf die ich noch zu sprechen komme, zeigte sich die einstündige Beobachtungsreihe als ausreichend zur Feststellung der Wärmeabgabe. Dabei muss natürlich vorausgesetzt werden können, dass die Wärmequelle insofern gleichheitlich ist, um aus einer halbstündigen Beobachtung einen wahren Mittelwerth gewinnen zu können.

Man wird daher immer, wenn man an neue Objecte zur Wärmemessung herantritt, erst durch Versuche bezüglich des letzteren Punktes sich Gewissheit verschaffen müssen. Ich habe bei den ersten Experimenten von fünf zu fünf Minuten die Ablesungen vorgenommen; es ist dies überflüssig und vollauf ausreichend, die Ablesungen von 10 zu 10 Minuten zu wiederholen.

Während man nach dem Gesagten in immerhin kurzer Zeit einen thermischen Gleichgewichtszustand des Calorimeters bei Einbringung einer Wärmequelle erreichen kann, hält es mit der Abkühlung des Apparates weit schwerer. In der Regel dauert dieselbe sehr lange; man wird gut thun, in dieser Beziehung möglichst aufmerksam zu sein und am besten nach einem Versuche das Zurückgehen des Volumeters auf den Nullpunkt geduldig abzuwarten. Die Ventilation des Calorimeters beschleunigt die Einstellung, aber trotz dieser währt sie lange Zeit. Wollte man ohne vollkommene Abkühlung das Calorimeter zu einem weiteren Versuche benützen, so werden die gewonnenen Werthe aus mehreren Gründen zu klein ausfallen müssen.

Die einzelnen Versuche haben offenbar nur verschwindend kleine Fehlerquellen. Wie gering dieselben sind, wird aus den gleich mitzutheilenden Versuchen zu entnehmen sein. Ich habe in zwei Calorimeter zu gleicher Zeit einen Mann die entblössten Arme einlegen lassen.

Dabei zeigte nach Vollendung des Versuches das Calorimeter des rechten Armes 387°, jenes des linken Armes 382°, demnach nur eine Differenz von 1,3 %. In zwei anderen Fällen ergab der linke Arm etwas mehr Wärme:

R. A.	L. A.
451°	459°
523°	530°

d. h. einmal um 1,7, das andere Mal um 1,3 % mehr. Da nun in der That geringe Verschiedenheiten an der Wärmeabgabe der Arme vorhanden sein mögen, geht aus den Versuchen jedenfalls hervor, dass der Messungsfehler des Calorimeters kleiner als 1,3—1,7 % sein müsse, eine Genauigkeit, die dasselbe zu jedweder exacten Bestimmung verwendbar machen.

f. Die Wärmemessung nach absolutem Maasse.

Man könnte zu der Annahme sich versucht fühlen, das im Vorausgehenden genauer beschriebene Calorimeter sei ohne Weiteres ein ausreichendes Maassinstrument zur Feststellung des Wärmewerthes nach absoluter Zahl, wie auch zum Vergleich der Wärmemengen zweier differenter Wärmequellen. Um aber das Luftcalorimeter wirklich anwenden zu können, dazu bedarf es noch weiterer recht eingehender Versuche; denn die an das Calorimeter abgegebenen Wärmemengen sind keineswegs der Anzahl der Grade des Volumeters proportional. Ohne eine sorgfältige Graduirung des Instrumentes ist das Luftcalorimeter ebensowenig, wie ein Multiplicator zu Messungen tauglich.

Versuche, die hierüber Auskunft geben, habe ich an zwei verschieden ausgestatteten Calorimetern angestellt. Um zu controliren, inwieweit die Ausschläge des Volumeters den vom Calorimeter auf-

genommenen Wärmemengen proportional gehen, traf ich folgende Einrichtung. In den Innenraum des Calorimeters konnte eine etwa 50 cm lange, 15 cm im Durchmesser haltende Blechkapsel, deren Wandungen allerseits von grossen Oeffnungen durchbrochen waren eingeführt werden. Die Blechkapsel enthält ein mehrfach gebogenes Bleirohr, dessen einzelne Windungen durch Hölzchen isolirt werden; das Bleirohr durchbohrt mit seinem Anfangs- und Endtheil den einen Deckel der Blechkapsel. Beide Enden sind hier mit je einem metallenen T-Stück verbunden, in deren verticalem Schenkel ein Thermometer steckt. Die dritte Oeffnung des T-Stückes dient der Zuleitung bzw. Ableitung von warmem Wasser. Die T-Stücke sind sorgfältig mit Watte thermisch isolirt. Diesen Apparat durchströmt nun heisses Wasser, dessen Temperatur gerade bei dem Eintritte ins Calorimeter und ebenso beim Ausfluss aus dem Calorimeter gemessen wird. Zugeleitet wird das warme Wasser aus einem Standgefäss, in welchem es auf gleiche Temperatur gehalten wird und abfliessend gelangt es in einen Messcylinder, in welchem das durchgeflossene Volum gemessen wird. Zur Regulation des Stromes, der während eines längeren Versuches constant gehalten wird, dienen Quetschhähne. Man hat auf möglichste Gleichheit der Geschwindigkeit des Wasserstromes zu achten und erst, nachdem längere Zeit Ein- und Abstrom sich auf gleicher Temperatur gehalten, darf der Versuch beendet werden. Bei diesen Aichungsversuchen wurde das Calorimeter mit derselben Geschwindigkeit ventilirt wie während der Versuche, zu welchen die Aichungszahlen dienen sollten.

Die Blechkapsel ist im Innern des Calorimeters nirgends mit der Wandung in directem Contacte, sondern sie liegt auf einem Holzrost auf.

Von den Bleiröhren wird im Innern des Calorimeters Wärme abgegeben; sorgt man für vollkommene Isolirung der Röhren bei der Einmündung und Ausmündung an die Blechkapsel, so führen wir durch diese Methode genau gekannte Wärmemengen in das Calorimeter ein. Durch Beschleunigung oder Verlangsamung des Wasserstromes, sowie durch Aenderung der Temperatur im Standgefässe kann man die Wärmemengen beliebig variiren. Die Thermometer sollen $^1/_{10}$ Grade noch ablesen lassen.

Das in dem Bleiröhrensystem bei Beginn eines Versuches vorhandene kühle Wasser (von der Temperatur des Calorimeters) wird langsam durch das nachfliessende heisse verdrängt, und nicht plötzlich heisses Wasser eingelassen.

Besondere Aufmerksamkeit verdient das von dem Standgefäss nach dem Aichungsgefäss heisses Wasser führende Glas- oder Gummirohr; es muss in allen Fällen mit Watte sorgfältigst umhüllt werden, damit nicht etwa durch Bestrahlung des Calorimeters eine nicht unwesentliche Fehlerquelle entstehe. Desgleichen wird das Standgefäss, in welchem das Wasser erhitzt wird, weit ab vom Calorimeter, am besten unter einem Abzug aufgestellt, um allenfallsige Erwärmung des Versuchsraumes zu vermeiden.

Nachfolgende Versuche wurden mit allen hier angegebenen Cautelen ausgeführt. Zu Aichungsversuchen kamen theils grosse, theils kleine Wärmemengen zur Anwendung. Die Versuche dauerten bei den kleinen Wärmemengen oft bis 3 Stunden, um möglichst sichere Zahlen zu gewinnen. Dabei wurde die Temperatur der einströmenden und aus dem Calorimeter abströmenden Luft genau bestimmt. Von der Gesammtmenge der von dem Wasserstrom im Calorimeter abgegebenen Wärme wurden alsdann jene Wärmemenge in Abzug gebracht, welche durch die Erwärmung der Ventilationsluft zu Verluste ging. Der nun verbleibende Rest wurde auf die Anzahl der Grade des Volumeters vertheilt.

Z. B. waren in 3 Stunden durch die Abkühlung des Wasserstromes 22,81 Cal. an Wärme abgegeben, davon durch die Erwärmung der Ventilationsluft 2,91 Cal. verloren, somit 19,90 Cal. durch die Wandungen des Calorimeters hindurchgegangen = 6,63 Cal. pro Stunde; der Ausschlag des Volumeters war 178°, also 1° des Volumeters $= \frac{6,63}{178} = 0,0373$ Cal.[1]) pro Stunde.

Nachdem wir dies Beispiel der Berechnung vorausgeschickt haben, dürften die Zahlen der folgenden Versuchsreihen leicht verständlich sein.

1) Grosse Calorien = 37,3 cal. (Grammcalorien).

Tabelle I.

Nummer des Versuches	Ausschlag des Volumeters	Cal. pro Stunde an das Calorimeter abgegeben	1° des Volumeters entspricht Cal. pro Stunde
1	564	28,3	0,0501
2	149	5,5	0,0369
3	399	16,1	0,0404
4	939	47,4	0,0504
5	204	6,3	0,0323
6	451	21,6	0,0478
7	780	37,6	0,0482
8	178	6,6	0,0373
9	489	22,0	0,0449

Es sind also hier neun verschiedene Versuchsreihen zur Ausführung gekommen. Der kleinste Ausschlag des Volumeters betrug 149°, der grösste 939°. Die Wärmemengen schwankten von 5,5—47,0 Cal. pro Stunde; ersterer Werth repräsentirt selbst mit Rücksicht auf die bei Thierversuchen zu erwartende geringe Wärmeproduction eine sehr kleine Grösse. Betrachtet man Stab 4, in welchem die für 1° des Volumeters zu rechnende Wärmemenge eingetragen ist, so fallen sofort die Schwankungen in diesen Wärmewerthen auf. Würde das Luftcalorimeter ein Instrument sein, welches an dem Volumeter die Ausschläge proportionel den an das Calorimeter abgegebenen Wärmemengen erkennen lässt, so hätten wir bei Reduction der auf 1° treffenden Wärmemenge Zahlen erhalten müssen, welche bis auf die Versuchsfehler nahezu übereinstimmend waren. Davon sind aber in der That die Zahlen weit entfernt. Sie sind aber keineswegs regellos schwankend ausgefallen, wie sich unschwer nachweisen lässt.

Der leichteren Uebersicht wegen habe ich dann die Versuche so gruppirt, dass die in den Volumeterzahlen einander naheliegenden, zusammen geordnet und zur Bildung von Mittelwerthen verwendet wurden.

Tabelle II.

	Ausschlag des Volumeters	Wärmemenge in Cal. pro Stunde	Für 1° des Volumeters treffen Cal. pro Stunde
	149	5,5	0,0369
	204	6,3	0,0323
	178	6,6	0,0373
Mittel	178	6,1	0,0355
	399	16,1	0,0404
	451	21,6	0,0478
	489	22,0	0,0449
Mittel	449	19,9	0,0440
	564	28,3	0,0501
	780	37,6	0,0482
	939	44,5	0,0470
Mittel	761	36,8	0,0484

Man wird auch hier erkennen, wie der Werth des Wärmeverlustes für 1° des Volumeters sehr variabel ist; bei geringen Wärmemengen ist das Calorimeter weit empfindlicher als bei grossen Wärmemengen. Der Aenderung der Aichungswerthe liegt zweifellos eine gewisse Gesetzmässigkeit zu Grunde. Setzt man den Ausschlag des Volumeters 178 = 100 und die Wärmemenge 6,1 Cal. desgleichen und bildet die relativen Zahlen so hat man:

Volumeterzahlen:	Wärmewerthe:
100	100
249	326
427	603

Das zu den eben berichteten Versuchen verwendete Calorimeter war etwa von Würfelform, aus Weissblech, alle Theile mit Oelfarbe gestrichen. Von einer Seite war ein mit dicker Korkplatte belegter Deckel als Verschluss aufgeschraubt.

Ich habe nun auch an dem früher schon beschriebenen Messingblechcalorimeter, welches cylindrisch gebaut war und einen viel

grösseren Mantelraum besass, Aichungversuche in der eben beschriebenen Weise durchgeführt. In diesem Falle wurde nur insofern eine Aenderung getroffen, als die durch die Ventilationsluft verlorene Wärme nicht gesondert in Rechnung gezogen, sondern aus der Gesammtsumme der von der Bleispirale abgegebenen Wärme und der Volumeterzahl der Aichungswerth berechnet wurde[1]). Es wurden nun folgende Versuche angestellt:

Tabelle III.

Nummer des Versuches	Ausschlag des Volumeters	Cal. pro Stunde an das Calorimeter abgegeben	1° des Volumeters entspricht Cal. pro Stunde
1	243	2,98	0,0123
2	636	9,71	0,0154
3	690	11,85	0,0174
4	706	11,08	0,0157
5	1304	29,11	0,0224
6	1452	28,86	0,0204

Bildet man auch hier wieder drei Werthe, welche, abgesehen von dem Ersten, Mittelzahlen repräsentiren, so gelangt man zu folgendem Resultat:

Tabelle IV.

Ausschlag des Volumeters in Graden	Wärmemengen in Cal. pro Stunde	Für 1° des Volumeters treffen Cal. pro Stunde
243	2,98	0,0123
674	10,88	0,0162
1378	28,98	0,0214

Die Wärmewerthe wachsen rascher als die Volumeterzahlen und die Aichungswerthe wachsen mit zunehmender Wärmezufuhr. Auch dieses Calorimeter ist also für geringe Erwär-

1) Dadurch wird die gesonderte Berechnung der mit der Ventilationsluft abgegebenen Wärme erspart.

mungen besser empfänglich als für starke Erhitzung; es ist überhaupt zum Nachweis minimaler Wärmemengen geeigenschaftet, da 1° der Volumeter-Ablenkung der Wärmentwicklung von nur 12,3 cal. für die Stunde entspricht. Kein Wassercalorimeter könnte bei den gleichen Aufgaben eine gleiche Empfindlichkeit zeigen.

Die Zahlen der Tabelle 4 sind also wegen der Verschiedenheit der Calorimeter andere. Stehen sie aber in einem ähnlichen Verhältnisse, wie jene bei dem vorgenannten Calorimeter? Diese Frage ist um so interressanter hier aufzuwerfen, als wir diesmal die Wärmewirkung auf das Calorimeter in noch weiteren Grenzen schwanken liessen wie früher, nämlich zwischen 2,98—28,98 Cal. pro Stunde. Ordne ich die relativen Werthe wie früher, so haben wir:

Volumeterzahlen:	Wärmewerthe:
100	100
277	362
567	966

Die Zahlen fügen sich den mit dem erstgenannten Calorimeter gewonnenen vollkommen ein, wie noch deutlicher die folgende Aneinanderreihung der Zahlen beider Calorimeter darthut; die Werthe des zweiten Calorimeters sind mit * bezeichnet:

Volumeterzahlen:	Wärmewerthe:
100	100
249	326
277*	362*
427	603
567*	966*

Diese Zunahme des Aichungswerthes zeigt sich offenbar der Wesenheit nach unabhängig von der Natur des Calorimetermaterials, und unabhängig von der Form und dem Fassungsraum des Calorimeters.

Dies Verhalten des Luftcalorimeters, so auffallend dasselbe für den Augenblick auch scheinen mag, schädiget und vermindert keineswegs seine Verwendbarkeit zu exacter Messung. Es liegt nur die Forderung vor, dass die zwischen den Volumeterzahlen und Wärmewerthen

bestehende Beziehung eine gleichbleibende und gesetzmässige sei Ueberzeugten uns hiervon bereits die oben stehenden relativen Werthe beider ganz verschieden gebauter Calorimeter, die ohne Unregelmässigkeit sich aneinanderreihen, so wird die Uebereinstimmung der Zahlenreihen doch erst durch folgende graphische Darstellung voll zu würdigen sein. Ich habe als Abscisse die Volumeterzahlen, als Ordinaten die Wärmewerthe eingetragen und die Verbindungslinie ausgezogen.

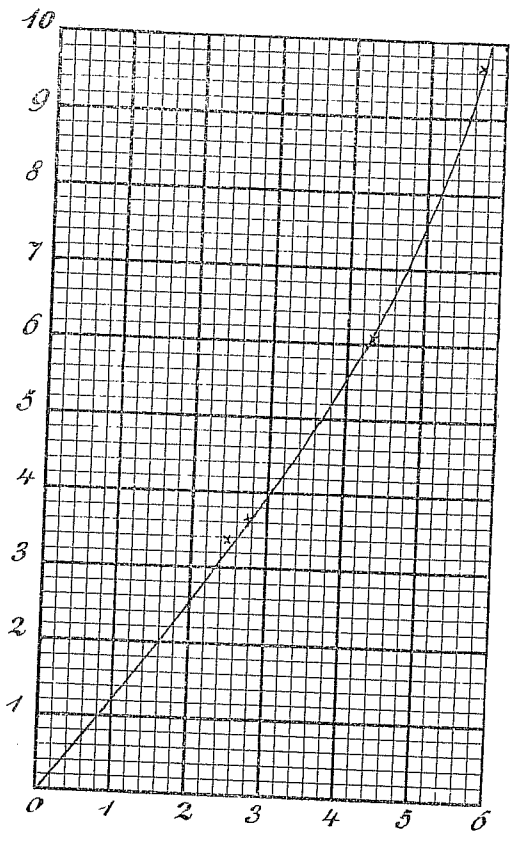

Fig. 2.

Die Wärmemengen zeigen sich also sämmtlich, ob sie nun dem einen oder anderen Calorimeter zugehören, innerhalb des Verlaufes der Verbindungslinie oder sie liegen doch unmittelbar an derselben. Der Verlauf der Curve selbst entspricht einem gesetzmässigen Wachsthum der Wärmewerthe, wie der ungebrochene Verlauf der Curve und die Betrachtung der Grösse des Wachsthums der Werthe darthut.

Es obliegt uns nun weiter darzulegen, welche Verhältnisse wohl das eigenartige Verhalten des Luftcalorimeters begründen mögen.

Wenn man die Umstände, welche für dieses Verhalten der Luftcalorimeter maassgebend sein können erwägt, so gibt es deren mancherlei, welche in dem beobachteten Sinne wirken und den Ausschlag bei steigender Erwärmung zu vermindern im Stande sind;

so z. B. die cubische Zunahme des Mantelraumes durch die Ausdehnung des Metalls; die Temperaturerniedrigung der durch Erwärmung des Mantelraums nach dem Volumeter geblasenen Luft, die Verminderung des Luftinhaltes des Mantelraumes durch die Füllung des Volumeters und Verlust dieses Luftantheils an der weiteren Ausdehnung durch die Wärme. Aber all diese Momente sind kleinlich und unbedeutend und reichen zur Erklärung der bestehenden Verhältnisse nicht hin; man erwäge, dass bei dem zweiten Calorimeter, z. B. gleiche Empfindlichkeit wie bei 2,98 Cal. vorausgesetzt, bei 28,98 Cal. ein Ausschlag von 2356° hätte beobachtet werden sollen, indess er nur 1378° betrug! Die Ursache für dieses eigenthümliche Verhalten des Luftcalorimeters ist offenbar in der Circulation der Luft im Mantelraume zu suchen. Bei geringen Wärmemengen ist wegen der gleichfalls geringen Temperaturunterschiede zwischen den beiden Mantelflächen die Bewegung und Circulation der Luft eine minimale, je mehr Wärme aber dem Calorimeter zugeführt wird, um so wirksamer wird auch der Faktor der Luftcirculation werden. Der Ausgleich der Temperatur in der Luft des Mantelraumes wird ein innigerer und die Bewegung der Luft immer lebhafter. Dadurch steigert sich also mit weitergehender Erwärmung der Wärmeverlust rascher als man nach der Ausdehnung der Luft im Mantelraume d. h. nach der Angabe des Volumeters erwarten sollte.

Unschwer ist einzusehen, dass auch keine der anderen Methoden zur Feststellung der Erwärmung des Mantelraumes irgend etwas bezüglich dieser gesetzmässigen, grösseren Durchgängigkeit der Luftcalorimeter gegenüber grösseren Wärmemengen voraushaben kann. Wir sind in der Lage, aus dem Ausschlage des Volumeters zu berechnen, welche mittlere Temperatur die Luft des Mantelraumes besessen haben muss, da je 166° des Volumeters gleich der Erwärmung der Mantelraumluft um 1° gefunden wurden. Greife ich nun auf die mittels des mit dem Calorimeter II gewonnenen Zahlen zurück, so besagen sie Folgendes:

Ausschlag des Volumeters	Mittlere Temperatur des Mantelraums	Wärmemenge in Cal. pro Stunde
243	1,46° C.	2,98
674	4,06° „	10,88
1378	8,30° „	28,98

Man erkennt, dass die mittleren Temperaturen viel langsamer anwachsen, als die dem Calorimeter zugeführten Wärmemengen und eben das gleiche Verhältniss könnte man finden, falls wir mit Hilfe eines Manometers den unter den Einfluss verschiedengradiger Erwärmung des Calorimeters eintretenden Druck als Maass der Wärme verwenden sollten. Durch die vorstehenden Versuche ist also mit Sicherheit dargethan, dass der Verwendung der Luftcalorimeter eine sorgfältige Justirung derselben vorauszugehen hat und ohne eine solche dieselben unbrauchbar zur Wärmemessung sind, gleichgültig ob man volumeterisch die Ausdehnung der Luft des Mantelraums, oder thermometrisch ihre Erwärmung oder manometrisch ihren Druck bestimmt.

Hat man nun durch Aichung den Wärmewerth je eines Grades des Volumeters erfahren, dann empfiehlt es sich, graphisch Volumeter und Wärmewerthe darzustellen, die Enden der Ordinaten durch Linien zu verbinden und nun, behufs Herstellung einer Aichungstabelle für das Calorimeter, mit den Werthen der Abscisse jene der Ordinaten für 10 zu 10° des Volumeters zu ordnen.

Die Justirung des Calorimeters mittels strömenden Wassers erfordert Zeit und grosse Genauigkeit, doch lässt sich die Methode kaum durch ein anderes Verfahren ersetzen. Die sehr nahe liegende Idee, mittels einer Kerze, einer kleinen Lampe u. s. w. dem Apparate gemessene Wärmemengen zuzuführen, lässt sich nicht verwerthen. Wie ich durch viele Versuche nachzuweisen in der Lage war, verbrennen Olivenöl, Stearinsäure, Paraffin nie vollständig, vielmehr gibt die Aichung des Calorimeters mit diesen Substanzen zu hohe Werthe.

Durch die Aichung wird das Luftcalorimeter zu einem ausserordentlich werthvollen Instrumente; es ist in seiner Form jedem

beliebigen Zwecke anzupassen, die Beobachtung bequem und exact. Es ist jederzeit zum Versuche bereit, bedarf keiner langwierigen Vorbereitungen. Ich habe zahlreiche Versuche sowohl mit Thieren, ferner über die Wärmeabgabe am Menschen, über die Verbrennungswärmen von Beleuchtungsmaterial anstellen lassen und überall bei geeigneten Modificationen zufriedenstellende Resultate erhalten. Das Calorimeter kann mit dem angegebenen Volumeter zu zahlreichen physiologischen wie hygienischen Untersuchungen Verwendung finden.