

Die Quelle der thierischen Wärme.

Von

Professor **M. Rubner.**

I. Historisches.

Die Anschauungen über den Lebensprocess, welche man in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts vertrat, erscheinen uns heutzutage dunkel und verworren; trotz der vielen einzelnen durch Erfahrung und Experimente erschlossenen Thatsachen fehlte das einheitliche Band, welches die Bruchstücke und Theile zu einem Ganzen verknüpft hätte, und die fiktive Lebenskraft, welche erklärend und erläuternd wirken sollte, war selbst der Erklärung und Erläuterung auf's Dringendste bedürftig.

In diese Zeit fiel die lichtvolle Hypothese Lavoisier's¹⁾, der den Lebensprocess für einen durch die Respiration unterhaltenen Verbrennungsprocess erklärte, und sie ist der Markstein einer neuen für die Physiologie anbrechenden Aera geworden.

Die Hypothese nannte den Respirationsprocess einen Verbrennungsprocess und behauptete, er sei die Quelle der thierischen Wärme. Die erste Annahme liess sich durch Experimente über die Athmung mit genügender Sicherheit erweisen; denn die Sauerstoffaufnahme, die Kohlensäureabgabe und ihre Beziehungen waren nach Maass und Zahl zu bestimmen. Anders stand es aber mit dem weiteren Schlusse, dass die von einem Thiere gelieferte

1) Lavoisier's physikal. chem. Schriften. Deutsch von Weigel. Greifswald, 1785. Bd. 3 S. 292 ff.

Wärme aus dem Verbrennungsprocess herrühre; er war zu kühn, um ohne einen eingehenden Beweis allgemein acceptirt zu werden.

Der Beweis des zweiten Satzes der Lavoisier'schen Hypothese wurde oft versucht, doch nie erbracht, obschon mit der Verfeinerung der Methoden immer neue Kräfte der Sache näher traten.

Lavoisier, unterstützt von Laplace, ersann zuerst den Versuch, der seiner Hypothese die nöthige Stütze verleihen sollte. Ein Meerschweinchen wurde in ein Eis calorimeter gebracht und seine Wärmeabgabe bestimmt; in einem andern Experimente brachte man es unter eine Glasglocke, wo die in einer gewissen Zeit sich ansammelnde Kohlensäure gemessen wurde.

Im Eis calorimeter hatten Lavoisier und Laplace auch die Verbrennungswärme des Kohlenstoffes bestimmt; was schien nun leichter zu lösen als die Frage, ob der in der Respiration ausgetretene verbrannte C, d. h. die CO_2 , ebenso viel Wärme liefern könne, als das Thier wirklich geliefert hat?

Es hat vielleicht Interesse, zu erfahren, in welcher Weise mit einfachen Mitteln von Lavoisier¹⁾ und Laplace diese Versuche ausgeführt wurden.

Die Kohlensäure bestimmten sie theils in durch Quecksilber geschlossenem Versuchsraum (Zuckerglas), theils in einer ventilirten Glocke, indem die abströmende Luft ihr Wasser (hauptsächlich) in einer Röhre condensirte, während die CO_2 in einem mit Lauge gefüllten und gewogenen Apparat aufgefangen wurde. Letzterer nahm aber nicht nur die CO_2 auf, sondern auch Wasser; der Fehler glich sich dadurch ab, dass durch Verdunstung Wasser aus der Kalilauge wegging.

Das Thier verblieb im Eis calorimeter 10 Stunden; nach der Bestimmung der Kohlensäure hätten 224 Gran²⁾ Kohlensäure, welche durch Verbrennen von C erhalten werden, im Eis calorimeter 10,38 Unzen Eis geschmolzen; 224 Gran Kohlensäure = 59,71 Gran C geben, 1 Gran altes Pariser Gewicht zu 0,053 g berechnet, 3,16 Gran

1) a. a. O. S. 378 f.

2) Ich habe angenommen, das von Lavoisier benützte Maasssystem sei das alte Pariser Maass gewesen, das Livre = 9216 Grains = 489,5 g. Münz-, Maass- und Gewichtsbuch von Chr. u. Fr. Noback. 1858. S. 567.

Kohlenstoff, und 1 Unze zu 30,6 Gran angenommen, liefern 10,38 Unzen 317,6 Gran Schmelzwasser. Lavoisier legte bei seinen Untersuchungen als Schmelzwärme 75 Cal. zu Grunde (auf die neuen Wärmeinheiten berechnet), während zum Mindesten die Zahl 80 anzunehmen ist.¹⁾

Sonach sollten 25,408 Cal. geliefert werden²⁾, das Thier gab aber ab: 13 Unzen Schmelzwasser = 397,8 Gran = 31,82 Cal.

Die Berechnung lieferte demnach weniger Wärme als der directe Versuch. Lavoisier waren aber mehrere Fehler, die seiner Versuchsanordnung anhafteten, nicht entgangen; die Respirationsversuche waren nicht bei derselben Temperatur wie die calorimetrischen Versuche angestellt, sondern bei höherer; die Respirationswerthe hätten, wie er richtig angibt, etwas höher sein sollen. Das Thierchen kühlte sich ferner im Eiscalorimeter um Einiges ab, und endlich mischte sich der condensirte Wasserdampf der Athmung mit dem Schmelzwasser.

Lavoisier sagt bezüglich seiner Ergebnisse: „Das Athmen ist also ein zwar sehr langsames, aber übrigens der Kohle ihrem vollkommen ähnliches Verbrennen; es geschieht inwendig in der Lunge, ohne merklich Licht zu entbinden, weil das frei gewordene Feuerwesen alsobald von der Flüssigkeit dieser Werkzeuge angezogen wird.“³⁾

Und an einer anderen Stelle glaubt Lavoisier⁴⁾ nach seinen Versuchen am Meerschweinchen sich dahin aussprechen zu dürfen, dass „wenn ein Thier in einem ausdauernden und ruhigen Zustande befindlich ist, wenn die Umstände, in denen es sich befindet, sein Blut und seine Säfte nicht merklich ändern, so dass der thierische Organismus nach verschiedenen Stunden keine merkliche Aenderung erfährt, so rührt die Erhaltung der thierischen Wärme wenigstens

1) Nach Laprovostay, Desains, Regnault, Person, Hess, Bunsen; s. Naum., Thermochem. S. 240.

2) Wenn 3,16 g C 25,408 Cal. liefern, so wäre die Verbrennungswärme von Kohlenstoff pro 1 g = 8040, woraus hervorgeht, dass die Versuche Lavoisier's und Laplace's genauer sind, als man bis jetzt annahm; der Fehler lag also in der Bestimmung der latenten Schmelzwärme.

3) a. a. O. S. 386.

4) a. a. O. S. 388.

grösstentheils von der Wärme her, welche die Verbindung der von den Thieren geathmeten Luft, so ihnen das Blut liefert, bewirkt.“

Indes wir aber von Lavoisier sprechen und seinen Einfluss auf die experimentelle Lösung der Frage der Ursache der thierischen Wärme schildern, dürfen wir den bedeutendsten, wenn auch weniger glücklichen, Mitarbeiter auf diesem Gebiete, den Engländer Crawford¹⁾, nicht vergessen.

Im Sommer 1777 hat Crawford zu Glasgow Messungen über die Wärmeproduction der Thiere, die später mannigfach ergänzt wurden, angestellt. Er maass mit allerdings primitiven Methoden die Menge des verzehrten Sauerstoffs und die bei den Verbrennungsprocessen ausgehauchte Kohlensäure. Die Wärme bestimmte er in einem Wassercalorimeter, das zur Verminderung des Wärmeverlustes nach Aussen einen Mantel von Flaumfedern besass.

Die meisten Versuche, in denen der Gaswechsel studirt wurde, hat Crawford leider über Wasser als Sperrflüssigkeit angestellt, wenn schon bisweilen auch von über Quecksilber ausgeführten Messungen die Rede ist.²⁾

Crawford's calorimetrische Messungen waren, da zumeist nur die Temperaturerhöhung des Wassers, nicht auch der übrigen Calorimetertheile bestimmt worden zu sein scheint, mit erheblichen Fehlern belastet.

Trotzdem scheinen mir seine Ergebnisse immerhin bemerkenswerth und verdienen vielleicht nicht die gar zu abfälligen Bemerkungen, mit denen man sie da und dort abgefertigt findet.

Crawford verbrannte im Calorimeter Kohle, Brennöl, Wachs, Talg; dabei maass er die Sauerstoffzehrung; in ähnlicher Weise verfuhr er auch bei Thieren.

Die Crawford'schen Erhebungen lassen sich, was die Genauigkeit der Ergebnisse anlangt, offenbar mit denen von Lavoisier und Laplace nicht vergleichen; aber immerhin ist es nicht uninteressant, sie mit unsern heutigen Ergebnissen des Calorimeters zu vergleichen. Zwei Versuchsergebnisse lassen sich controliren: die An-

1) Versuche und Beobachtungen über die Wärme der Thiere etc. etc. von Adair Crawford. Deutsch von D. L. Crell. Leipzig, 1789.

2) a. a. O. S. 270.

gabe über die Wärmebildung, wenn eine gewisse Menge reiner Luft (Sauerstoff) verzehrt wird. Man würde dies heutzutage den calorischen Werth des Sauerstoffs nennen.

Ferner theilt er mit, wie viel Wärme (in $\frac{1}{10}^{\circ}$ Fahrenheit)¹⁾ an 31 Pfund 7 Unzen Apothekergewicht Wasser beim Verbrennen einer halben Drachme Substanz abgesetzt wurde.

Bei Wachs waren es $24,2^{\circ}$ Fahrenheit seines Thermometers = $1,33^{\circ}$ C.

„ Talg	„	24,0	„	„	„	= 1,32	„
„ Lampenöl	„	22,3	„	„	„	= 1,23	„
„ Kohle	„	17,1	„	„	„	= 0,94	„

Legt man zur Berechnung das englische Troygewicht²⁾, 1 Pfund = 373,2 g, 1 Gran = 0,065 g, zu Grunde, was Crawford, wie aus einigen Vergleichen mit anderen Maasssystemen hervorgeht, benützt hat, so findet man die Wärmemenge in Cal.

(31 Pfund 7 Unzen = 11,8 kg) = 15,69

„ „ „ = 15,57

„ „ „ = 14,51

„ „ „ = 11,09.

für $\frac{1}{2}$ Drachme (= 1,94 g Substanz) demnach für

1 g Wachs 8,1 Cal.

„ „ Talg 8,0 „

„ „ Oel 7,5 „

„ „ Kohle 5,7 „

Die gefundenen Werthe sind alle zu klein, was darauf zurückzuführen ist, dass die Substanzen unvollkommen verbrannten, ferner ging bei dem Luftdurchblasen durch das Calorimeter mittels eines Blasebalges Wärme und Wasserdampf verloren und endlich entstand ein Verlust durch Wärmeübertragung an die Calorimetertheile.

Man findet für das calorische Aequivalent des Sauerstoffes, dessen Volum ich auf etwa 20° und annähernd normalen Druck beziehe,

zu 3,27

„ 3,05

„ 2,56 (bei Kohlenstoff)

1) a. a. O. S. 271.

2) a. a. O. S. 411 bei Noback.

letzterer Werth ist offenbar auch erheblich zu klein (3,03 Cal. nach¹⁾ neueren Versuchen).

Wenn 100 Unzen Sauerstoff verzehrt wurden, so erwärmte sich das Wasser des Calorimeters

	bei Wachs um	2,1°	Fahrenheit,
	„ Kohle „	1,93°	„
	durch ein Meerschwein „	1,73°	„

Crawford fügt erklärend hinzu: „Diese Unterschiede entstehen wahrscheinlich aus den folgenden Ursachen: in dem ersten Falle wird ein beträchtlicher Theil der Luft in Wasser verwandelt und mehr Wärme durch die Veränderung der reinen Luft in diese Flüssigkeit hervorgebracht, als wenn sie in feste (Luft) verändert ward. In dem letzten Falle wird ein Theil der Wärme durch unmerkliche Ausdünstung fortgeführt.“

„Die Resultate kommen indes einander so sehr nahe, dass sie beweisen, dass die Wärme in diesen Processen, wo nicht ganz, doch hauptsächlich von der Verwandlung der reinen Luft in feste oder Wasser entsteht.“

Schienen nun auch die Versuchsergebnisse von Lavoisier und Laplace und jene von Crawford im Grossen und Ganzen von einiger Uebereinstimmung, so waren die Anschauungen über den näheren Vorgang der Wärmebildung bei Lavoisier und Crawford ganz und gar divergirend.²⁾

Lavoisier nahm an, der Sauerstoff verdankt dem gasförmigen Zustand seine Wärme, er wird von verbrennlichen Stoffen eingesogen und gebunden.

Crawford, dem Dalton beipflichtete, nahm an, die specifi- sche Wärme des Sauerstoffs sei 87mal grösser als jene des Wassers, bei der Bildung von CO₂ werde der Wärmeüberschuss frei.

Die beiden Erklärungen treffen, wie man wohl erkennt, nicht das Richtige.

Die Verbrennungstheorie verlor späterhin, man möchte sagen, gerade durch den Umstand, dass man allmählich in die physiologi- schen Verhältnisse des Thierkörpers näher eindrang, an Boden.

1) Rubner, Calorimetr. Untersuchungen. Zeitschr. f. Biol. Bd. 21 S. 360 f.

2) Handwörterbuch der Physiologie von R. Wagner. Braunschw., 1853. Bd. 4 S. 1 f.

Man entdeckte neben der Respiration noch eine Reihe anderer Wärmequellen in den Organismen.

Peart liess das Phlogiston der Nerven und den Aether des Blutes sich vereinigen und Wärme bilden (1788). Buntzen sah in der Reizung der Muskeln eine thierische Wärmequelle, de la Rive in der Nervenelectricität, Chossat in der Nerventhätigkeit, Matteucci wies auf die bei Imbibition trockner Substanzen frei werdende Wärme hin.

Die Wärmehildung wurde nicht mehr unter einen einheitlichen Gesichtspunkt gestellt, wie dies Lavoisier vorschwebte. Die Annahme einer Vielheit der Wärmequellen wirkte verwirrend. Den inneren Zusammenhang der verschiedenen Wärmequellen kannte man noch nicht.

Die Vertreter der Verbrennungstheorie, wie Lavoisier selbst, hatten nicht verkannt, dass ihre damals vorliegenden Versuche keineswegs einwandfrei waren. Man drängte nach einer Wiederholung mit besseren, exacteren Methoden.

Da stellte die Pariser Akademie die Erledigung der Frage über die Quelle der thierischen Wärme als Preisarbeit. Zwei Arbeiten, eine von Depretz¹⁾ und eine von Dulong²⁾, wurden eingereicht, und ersterer am 1. Juni 1823 der Preis zugesprochen.

Depretz verwendete ein aus Kupfer hergestelltes Wassercalorimeter. Die in das Calorimeter tretende Luft scheint vorher mit Chlorcalcium getrocknet worden zu sein.

Die Abkühlung des Calorimeters durch die umgebende Luft bestimmte er direct unter Zugrundelegung des Newton'schen Strahlungsgesetzes.

Betreffs calorimetrischer Versuche an Thieren meint er:

»On ne trouve pas dans cette recherche la même uniformité, la même constance, que dans les recherches sur la matière inorganique. Ici l'affinité des éléments est sous l'influence de la puissance vitale que l'âge, la température, l'état de santé, la nature des aliments et diverses autres circonstances peuvent modifier.«

Diese Vorstellungen stehen zum Theil in recht bemerkenswerthem Gegensatz zu den Anschauungen, welchen seine Experimente zum Siege verhelfen sollten.

1) Annal. d. chim. et de phys. 1824. 2) Ebenda, 1841.

Depretz hat auch den Antheil des Sauerstoffs bestimmt, welcher nicht zur Oxydation des C verwendet wird. Crawford wie Lavoisier kannten bereits diese Thatsache; Davy, Allen und Pepys, Bostock hatten ihre Grösse näher festgestellt; nur über die Betheiligung des Stickstoffs an der Athmung sind die Meinungen damals noch getheilt gewesen; Depretz beobachtete eine Ausathmung des N-Gases.

Mittels eines Gasometers wurde Luft durch das Calorimeter getrieben und durch ein zweites Gasometer, wie ersteres mit Wasser gefüllt, wieder aufgefangen; von dieser Luft des einen wie anderen Gasometers entnahm Depretz Proben in ein Eudiometer. Dort wurde die Kohlensäure mit Lauge, der O durch Wasserstoff, d. h. also durch Verpuffen, bestimmt und offenbar recht genau ausgeführt, da die Controlanalysen der Luft gut übereinstimmen.

Die Versuche an den Thieren dauerten nur $1\frac{1}{2}$ — $1\frac{3}{4}$ Stunden, und die Ventilation des Calorimeters war so minimal, dass die abströmende Luft im Durchschnitt nicht weniger als 6 Volumprocent Kohlensäure enthielt.

Die abströmende Luft ging in Schlangenwindungen durch das Calorimeterwasser und kühlte sich auf die Temperatur desselben ab. Sie führte also wohl noch etwas Wärme, sowie Wasserdampf mit sich fort, doch ist dieser Antheil nicht bestimmt. Keinesfalls aber kann er wegen der geringfügigen Ventilation erheblich gewesen sein.

Die Vergleiche der Wärme, welche sich aus dem verbrannten Kohlenstoff und Wasserstoff berechnete und die direct gefundene, deckten sich nicht; die berechnete Wärme betrug nur 74—90% der gefundenen.

Depretz schliesst daher, dass die Respiration die hauptsächlichste Quelle der thierischen Wärme sei; die Ernährung, die Blutbewegung, Reibung lieferten vermuthlich den fehlenden Rest.

Man ersieht daraus, wie man von dem Ineinandergreifen und dem ursächlichen Zusammenhang der Organe und Lebensprocesse noch eine recht unvollkommene Vorstellung hatte.

Als Versuchsthiere hat Depretz Kaninchen, Hunde, Tauben etc. benützt; die Mittheilungen sind leider recht aphoristisch.

Unzweifelhaft bestimmter und exacter scheinen Dulong's Versuche. Er hält es für die principiell richtigste Anordnung, die Respirationsuntersuchung unbedingt mit der calorimetrischen Untersuchung zu verbinden. Lavoisier hatte hierin gefehlt.

Sein Apparat stimmt nahezu vollkommen mit dem Depretz' überein: ein Wassercalorimeter zum Wärmemessen und zwei Gasometer zur Ventilation.

Die Absorption der Kohlensäure etc. durch die Wasserfüllung der Gasometer vermied er durch Einlegen von mit Taffet überzogenen Korkplatten, welche auf dem Wasser schwammen.

Die Gase sind eudiometrisch durch je drei Controlbestimmungen analysirt.

In das Calorimeter tritt mit Wasserdampf gesättigte Luft, so dass jeder weitere von dem Thier gelieferte Wasserdampf in der durch das Calorimeterwasser tretenden Spirale der Respirationsluft zur Condensation kam.

Doch muss immerhin ein geringer Bruchtheil der Wärme mit der Ventilationsluft verloren gegangen sein, da diese ja beim Austritt aus dem Calorimeter von etwas höherer Temperatur ist, als der Einstrom, und da ausserdem auch etwas mehr Wasserdampf, als im Einstrom vorhanden ist, nach aussen tritt. Die Ventilation war leider auch bei Dulong auf ein nicht mehr zulässiges Minimum beschränkt. Ein Kohlensäuregehalt von 5—6% ist bei seinen Versuchen keine Seltenheit.

Dulong bestimmte den verbrannten C und H; fast in allen Fällen fand eine N-Aushauchung statt.

Der Vergleich der berechneten und gefundenen Wärme war ganz unbefriedigend, Dulong fand ein erhebliches Wärmedeficit; er sagt daher, dass die Oxydation nicht hinreiche, um die thierische Wärme zu erklären, und dass es somit noch andere Quellen für dieselbe geben müsse.

Es ist durchaus unerfindsam, wie bei diesem Stande der Frage Cl. Bernard¹⁾ späterhin behaupten konnte, dass es Dulong und Depretz gelungen sei, eine vollständige quantitative Uebereinstimmung zwischen der berechneten Wärmemenge und der von dem Thiere producirt zu finden.

1) Die thier. Wärme von Cl. Bernard, 1876, S. 28.

Auch Liebig scheint die Tragweite der Versuche von Dulong und Depretz überschätzt zu haben.

Liebig¹⁾ stellt sich zur Frage sehr einfach, er sagt: „Wenn man demnach den Sauerstoffverbrauch eines Thieres in 24 Stunden kennt, sowie die Menge der erzeugten Kohlensäure und die Menge des gebildeten Wassers (aus dem verschwundenen Sauerstoff), so ist es leicht, die ganze Wärmemenge zu berechnen, welche ein Thier durch seinen Athmungsprocess entwickelt. Es ist ferner verständlich, dass wenn man ein Thier in einem passenden Apparate athmen lässt, welcher mit kaltem Wasser ganz umgeben ist, in diesem Falle durch die Temperaturzunahme des Wassers sich die Anzahl der Wärmegrade leicht berechnen lässt, die das Thier während einer gewissen Zeit an die Umgebung abgibt. Auf diesem Wege hat man die Gewissheit erlangt, dass die Anzahl der Wärmegrade, durch den in seinem Leibe vor sich gehenden Prozess erzeugt, derjenigen sehr nahe entspricht, welche der nämliche Apparat empfangen würde, wenn man eine der ausgemittelten Kohlensäure und dem verschwundenen Sauerstoff entsprechende Menge Sauerstoffgas durch Verbrennung von Kohlenstoff und Wasserstoff in demselben in ebenso viel Kohlensäure und Wasser übergeführt hätte, und die Frage nach dem Ursprung der thierischen Wärme ist damit in befriedigender Weise gelöst.“

Neben diesen Vertheidigern der Verbrennungstheorie, welche von vornherein in ihrer festen Ueberzeugung von der Richtigkeit derselben die Mängel des experimentellen Beweises nicht sahen oder unterschätzten, gab es aber bis über die 50er Jahre hinaus Physiologen, die ausser den Verbrennungsprocessen noch andere Wärmequellen zu suchen sich bemühten.

Einen zweiten, nach der Entdeckung des Sauerstoffes vielleicht den grössten Schritt vorwärts machte die Erkenntniss biologischer Probleme durch die Auffindung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft, das alle Erscheinungen der Kräfte unter einem gemeinsamen Gesichtspunkt betrachtete.

1) Chem. Briefe. Volksausgabe S. 262.

Der Einfluss, den dieses Gesetz auf den gesamten Ideenkreis biologischer Vorgänge übte, ist von ungeheurer Bedeutung gewesen; die Verwerthung dieser Gedanken ist nur nicht so plötzlich vor sich gegangen, als man die Consequenzen aus der Lavoisier'schen Hypothese gezogen hat. Es hat den letzten Schleier des Mystischen, der noch über den Stoffzersetzen und chemischen Vorgängen schwebte, zerrissen. R. Mayer¹⁾ hat das Gesetz von der Erhaltung der Kraft zuerst auf die Wärmeerscheinungen und die Bewegung angewandt, und gleichzeitig erwies Helmholtz, wie sich dasselbe auf allen physikalischen Gebieten bestätigt finde.

Aus Nichts kann keine Kraft entstehen und keine Kraft in Nichts verschwinden; wo sie als bewegte Kraft entgegentritt, muss vorher potentielle Energie vorhanden gewesen sein. Die Quantität der Kräfte bleibt constant, die Qualität dagegen unterliegt dem Wechsel. Kraft kann als kinetische Energie, als Wärmebewegung, als elektrische, magnetische, als potentielle Energie vorhanden sein.

Diese Gesetze mussten dazu führen, die Vielheit der in den thierischen Organismen gefundenen Wärmequellen zusammenzufassen und auf eine einzige Ursache, auf die Umwandlung der Bestandtheile unserer Nahrung zurückzuführen.

Kraft und Stoff können sich auf physiologischem Gebiete nicht anders verhalten wie in der unbelebten Natur.

Die Stoffe, welche wir dem Körper zuführen, haben uns namentlich Liebig und seine Schüler näher kennen gelehrt, indem sie die Nahrungsmittel zergliederten und ihren Abbau zeigten. Bei Lavoisier, Crawford, Dulong und Depretz sind nur sehr unvollkommene Vorstellungen über die Art der im Körper verbrauchten Stoffe zu finden und sie mussten stets nur die Oxydation des C und H ihren Wärmebilanzen zu Grunde legen.

Wenn sich die Nahrungsstoffe im Thierkörper spalten, so können sie keine grössere oder geringere Wärmemenge liefern, als wenn sie den gleichen Process ausserhalb des Körpers vollenden.

1) Bemerkungen über das mechan. Aequival. d. Wärme von D. R. Mayer. Heilbronn u. Leipzig, 1851.

Die Verbrennung in einem Calorimeter ist zwar eine stürmische und plötzliche Auflösung in CO_2 und H_2O , oder N, die Auflösung im Thierkörper eine allmähliche, durch Zwischenstufen vermittelte.

G. H. Hess¹⁾ hat schon im Jahre 1840 ausgesprochen, dass für die Wärmeentwicklung bei chemischen Vorgängen nur der Anfangs- und Endzustand maassgebend ist, gleichgiltig was auch immer die Zwischenzustände sein möchten.

Doch hat man merkwürdiger Weise diesem durch zahlreiche Experimente gestützten Grundsatz der Thermochemie eine unweigerliche Anerkennung nicht gezollt. Liebig z. B. glaubte annehmen zu dürfen, dass wenn man Zucker zu CO_2 und Alkohol vergähren lasse und dann den Alkohol verbrenne, die Summe der Gährungs- und Verbrennungswärme grösser als die durch die directe Verbrennung des Zuckers erhaltene Wärme sei.

Dies ist aber nicht zutreffend. Wenn ein Stoff in einem Calorimeter und im Thierkörper in gleiche Endproducte zerfällt, so muss die producirte Wärmemenge dieselbe sein. Es ist vollkommen gleichgiltig, dass z. B. die Art der Spaltung bei Fetten und Kohlehydraten im Thierkörper eine ganz andere ist, als bei der Verbrennung im Sauerstoff; Fette und Kohlehydrate zerfallen schliesslich in CO_2 und H_2O ; dies geschieht auch im Calorimeter, folglich müssen die Wärmesummen dieselben sein.

Auch der Wandel der Kräfte von dem Momente des Entstehens bis zum definitiven Austritt als Wärme aus dem Organismus ändert an den Thatsachen nicht das Geringste. Die ursprüngliche Spannkraft kann als Lebensbewegung sich äussern, sie kann die Zuckung der Muskelzelle, die elektrischen Strömungen erzeugen; endet die Bewegung in Wärme, so ist ihre Quantität der Spannkraft der ursprünglichen Kraftquelle entsprechend.

Das Gesetz der Erhaltung der Kraft musste auch läuternd und klärend auf die Frage wirken, in welcher Weise die Energievorräthe schliesslich den Körper verlassen.

Man hatte früher ohne Weiteres angenommen, dass die Wärme den einzigen Weg darstelle, auf welchem die aus der Respiration

1) Oswald, Grundriss der allgem. Chemie. II. Aufl. S. 209.

entwickelte Wärme den Körper verlasse; die Erfahrung hat gelehrt, dass diese Annahme nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen giltig ist. Die Wärme ist nicht die einzige Bewegungsform, welche den Kraftverlust des Körpers bedingt, sondern wechselnd ist die Art der abgegebenen Kräfte.

Leuchtkäfer, Bakterien geben Licht ab, manche Fische verlieren Elektrizität, die Mehrzahl der Organismen geben Kraft als Wärme und Bewegung ab.

Man konnte also nur hoffen, das Gesetz der Erhaltung der Kraft im Organismus zu bestätigen, wenn Wärme und Arbeit gemessen wird, oder wenn die Wärme den alleinigen Kraftverlust darstellt.

Ein solches Unternehmen mag man vielleicht für nicht mehr wichtig genug erachten, da doch das Gesetz der Erhaltung der Kraft auch ohnedies feststeht; man darf aber doch nicht vergessen, dass bis jetzt ein Versuch, die thierische Wärme mit der Verbrennungswärme zu vergleichen eben noch nicht vorliegt. Der Vergleich der Wärmebilanz und Stoffbilanz bleibt also ein Grundgesetz der thierischen Wärmelehre.

Die uns beschäftigende Frage hat eine weitere, nicht minder wichtige, praktische Bedeutung. Ich habe zuerst bei Hungerthieren¹⁾ beobachtet, dass am Ende der Hungerzeit nach Aufzehrung der letzten Spuren von Fett ebensoviel Eiweiss mehr verbrennt, als aus letzterem Fett entstehend gedacht werden kann, noch mehr aber haben meine Untersuchungen über die Vertretungswerte organischer Nahrungsstoffe²⁾ die Anschauung experimentell begründet, dass bei dem Ernährungsprocesse die physikalischen Eigenschaften, der Energieinhalt der Nahrungsstoffe die bedeutsamste Rolle spielt. Es war nunmehr auch möglich, die Vorgänge des Stoffverbrauchs einheitlich zu betrachten³⁾ und in dem Energieinhalt der Nahrungsstoffe ein Maass für den Gesamtenergieverbrauch zu benützen. Diese Anschauungsweise auf verschiedene Probleme der

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 17 S. 214 f.

2) *ibid.* Bd. 19 S. 313.

3) *ibid.* Bd. 21 S. 250.

Ernährungslehre angewendet¹⁾, hat eine Reihe wichtiger Thatsachen auffinden lassen; man wird auch in Zukunft den engen Connex, in welchem Ernährungslehre und die Wärmelehre stehen, in fruchtbringender Weise zur Lösung der Fragen verwenden.

Die fundamentale Voraussetzung für die Zulässigkeit der Berechnung des Gesamtstoffwechsels wird stets sein müssen, dass einerseits alle Quelle der thierischen Wärme in der Zersetzung der Stoffe liegt und andererseits die jetzt geübte Methode der Feststellung des Stoffverbrauchs ein untrügliches Bild des wirklich Zerstörten gibt.

Um diesen wichtigen Zusammenhang unzweifelhaft sicher zu stellen und unserer heutigen Methodik des Studiums der Zersetzungen und Wärmeproduction eine unanfechtbare Basis zu verschaffen, wird nur der experimentelle Vergleich von Stoffzersetzung und Wärmebildung geeignet sein.

II. Vorarbeiten.

Die Entwicklung der physikalischen und physiologischen Erkenntnisse hat in den letzten Jahrzehnten einen Weg genommen, der uns eine Lösung der Frage nach der Quelle der thierischen Wärme in sichere Aussicht stellt.

Der eine bedeutungsvolle Fortschritt liegt in dem Aufbau und Ausbau, den die Lehre des thierischen Stoffwechsels uns gebracht hat.

Die Ernährungslehre unserer Tage gibt nicht nur an, was an C und H im Körper verbraucht wird, sie gibt uns Rechenschaft von allen Körperstoffen, welche der Zerlegung anheimfallen. Die fundamentalen Thatsachen wurden in verhältnissmässig kurzer Zeit entdeckt. Von grösster Bedeutung war der durch C. Voit erbrachte Nachweis, dass man aus der N-Ausscheidung eines Thieres in Harn und Koth die Eiweissstoffe in ihrer Zersetzung beurtheilen könne.

Dazu kam die Erfindung von Apparaten, welche die Ausathmungsproducte genau zu messen gestattete, der Regnault-Reiset-sche und der Pettenkofer'sche Respirationsapparat. Der letztere

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 19 S. 535, Bd. 21 S. 272 u. s. w.

konnte jeder Grösse des Thieres angepasst, und jedes Wesen unter vollkommen hygienischen Bedingungen untersucht werden.

Pettenkofer und Voit haben dann weiter gezeigt, wie man aus der Art der Nahrung, aus der N- und C-Ausscheidung der Thiere genau erkennen könne, ob und wie viel Eiweiss, Fett und Kohlehydrate täglich zerstört würden.

So sind uns also heute nicht mehr Bruchstücke des thierischen Stoffverbrauchs bekannt wie früher, sondern wir wissen genau, wie der Körper seinen Bedürfnissen gerecht wird.

Der zweite wichtige Fortschritt, der uns dem Ziele näher bringt, liegt auf physikalischem Gebiete. Die Verbrennungswärmen organischer Stoffe waren den älteren Autoren nur ungenau bekannt. Die Verbrennungswärme des C und H boten die einzige Möglichkeit, um etwas über die Menge der Wärme, welche Thiere erzeugten, zu erfahren; die Verbrennungswärme organischer Verbindungen ist aber grundverschieden von der Wärme, welche man nach ihrem Gehalt an C und H abzuleiten versucht sein kann.¹⁾

Eine Reihe von Körpern, welche zu den thierischen Verbrennungsprocessen Beziehung haben, hat Favre und Silbermann mittels eines Wassercalorimeters geprüft. Die Substanzen verbrannten im O-Strome. Leider fehlen unter den von Favre und Silbermann untersuchten Substanzen gerade Angaben über wichtige Nahrungsstoffe.

Diese Lücken füllte Frankland²⁾ aus, indem er mit einem von Thompson angegebenen Verfahren durch Verbrennen der organischen Substanzen mittels chlorsaurem Kali zuerst einen Ueberblick über die Verbrennungswärmen der wichtigsten Nahrungsstoffe und Abfallstoffe (Harnstoff) gab. Danilewsky untersuchte gleichfalls eine grössere Anzahl solcher Körper.

Stohmann verfeinerte dann das Frankland'sche Verfahren und gab sicherere Werthe als Frankland und Danilewsky erhalten hatten. Ich habe sodann für eine Reihe der gerade bei den thierischen Stoffzersetzungen in Frage kommenden Verbindungen

1) Rubner, Calorim. Untersuchungen. Zeitschr. f. Biol. Bd. 21 S. 357 f.

2) Philos. Mag. Bd. 32 S. 182; s. auch calorim. Unters. a. a. O. S. 252 ff.

die Verbrennungswärmen bestimmt und den physiologischen Verbrennungswerth der Eiweisskörper zuerst genau festgestellt. Der letztere ist wegen der Erzeugung von Harn und Koth ein wesentlich geringerer als die unmittelbare Verbrennung vermuthen lässt.

Die von mir angegebenen Verbrennungswärmen sind inzwischen durch eine Reihe anderer Beobachter nachgeprüft worden, ohne dass sich irgend welche in Betracht zu ziehenden Differenzen gefunden hätten.

Für die aschefreie Muskelsubstanz vom Rind habe ich 5656 cal. pro g der Trockensubstanz angegeben.

Mittels der Berthelot'schen Bombe hat Stohmann¹⁾ für entfettetes Rindfleisch, das ich auch benutzt hatte, 5641 cal., für Kalbfleisch 5663 cal. gemessen. Für mit Wasser ausgezogenes Muskelfleisch fand ich pro g 5778 cal., Stohmann und Langbein 5720 cal., Berthelot und André 5728 cal. Auch für den Harnstoff liegen einige neuere Bestimmungen vor. Ich hatte durch Verbrennung mit chlorsaurem Kali pro gr 2523 und mittels unterbromigsurem Natron auf nassem Wege 2513 cal. gemessen; Berthelot und Petit finden 2525, Stohmann und Langbein 2536 cal. Demnach eine vorzügliche Uebereinstimmung.

Die mit verschiedenen Methoden von verschiedenen Beobachtern erhaltenen Werthe sind nahezu gleich und geben die Gewissheit, dass unsere Vorstellungen betreffs der Energievorräthe der Nahrungsmittel richtige sind.

Die Bestimmung der Verbrennungswärme von Eiweiss unterliegt insofern noch gewissen Schwierigkeiten, als das Eiweiss, wie erwähnt, im Körper nicht glatt verbrennt, sondern Harn und Koth als Abfallstoffe liefert. Zumeist hat man diesem Energieverlust dadurch Rechnung getragen, dass man von der Verbrennungswärme des Eiweisses so viel Cal. abzog als der Harnstoffmenge entspricht, welche entsteht, wenn aller N in Form dieses Stoffwechselproductes ausgeschieden würde.

Ich habe zuerst darauf hingewiesen, dass diese letztere Berechnungsweise zu hohe Werthe geben müsse und eine irrige sei.

1) Journal f. prakt. Chemie. Bd. 44 S. 336 f.

Ich habe bei einer längeren Versuchsreihe mit Fütterung von Fleisch bei einem Hunde allen Harn und Koth gesammelt und direct die Verbrennungswärme von Harn und Koth bestimmt und auch bewiesen, welch' erheblich andere Resultate für den physiologischen Nutzeffect der Verbrennungswärme des Eiweisses erhalten werden, als wenn das alte Schema einer Harnstoffabspaltung beibehalten wird.

Stohmann und Langbein¹⁾ wenden merkwürdiger Weise noch immer das oben berührte Verfahren der Berechnung der Verbrennungswärme des Eiweisses an, obschon sie selbst doch zugeben müssen, dass es zu grosse Werthe liefert. Der höchst merkwürdigen Schlussfolgerung von St. und L., dass es ihnen zweckmässiger erscheine, mit einer notorisch unrichtigen Zahl, von der sie nur wissen, dass sie zu hoch sein muss, zu rechnen, weil meine Zahl das Ergebniss eines einzigen Versuches sei, vermag man schwer zu folgen. Das Wort „einziger Versuch“ ist geeignet, bei dem Leser einen Irrthum hervorzurufen. Was da einziger Versuch genannt wird, ist nicht etwa ein eintägiges Experiment, sondern eine fünftägige Versuchsreihe gewesen; die Gesammtmenge des Harns wurde sorgfältig gesammelt und zur Bestimmung der Verbrennungswärme verwendet.

Versuchsreihen mehrfach zu wiederholen oder verschiedene Thiere dazu zu verwerthen, lag auch nicht die geringste Veranlassung vor; denn es lässt sich keine Thatsache für eine bei gleicher Ernährung schwankende individuelle Verschiedenheit des Harnes beibringen.²⁾ Mir selbst war bei der Untersuchung verschiedener Harnes verschiedener Hunde ein constantes Verhältniss zwischen N und C entgegengetreten, das ich auch bei den Berechnungen der C-Ausscheidung im Harn zu Grunde legte. Ich habe auch nachgewiesen, wie mit schwankender Relation zwischen N und C die Verbrennungswärme des Harnes variirt.

Folgende Zahlen wurden erhalten:

	Quotient	
	$\frac{C}{N}$	$\frac{\text{Wärme}}{N}$
Bei Harnstoff	100	100
Harn nach Eiweissfütterung	124	123
„ „ Fleisch	142	138
„ bei Hunger	169	157

1) a. a. O.

2) d. h. so weit dies für die calorim. Messung von Bedeutung wäre.

Diese Ergebnisse berechtigen zu der Annahme, dass dort wo N und C in ihrer Relation nicht schwanken, beim Harn die gleiche Verbrennungswärme vorausgesetzt werden kann.

Ich habe ferner bei einer grossen Zahl von Hunde-Harnen mich mit dem Nachweis des Verhältnisses zwischen dem durch bromirte Lauge entwickelten N zum Gesamt-N beschäftigt und zuerst näher gezeigt, wie sehr verschieden Harnen sind, welche bei verschiedener Fütterung entleert werden.

Im Hunger-Harn macht der durch Bromlauge entwickelte

N	73,3 %
beim Fleisch . . .	80,1 %
beim Eiweiss . . .	87,7 %

des Gesamt-N aus. ¹⁾

Es ist mir bei diesen zahlreichen Erhebungen nie ein Resultat entgegengetreten, das mich veranlasst hätte, an bemerkenswerthe individuelle Verschiedenheiten zu denken. Sie bestehen eben nicht.

Mein Vorgehen beruhte also auf wohlbegründeten Thatsachen, und die Ausdehnung meiner Untersuchungen in dieser Frage hätte ich nur als Arbeitsvergeudung empfunden.

Bei der Feststellung des Verbrennungswerthes des Kothes, wo noch eher Schwankungen zu erwarten wären, habe ich zur Controle von verschiedenen Thieren und verschiedenen Versuchsreihen die Proben während mehrerer Jahre gesammelt. Die Verbrennungswärme des Kothes vom 5tägigen Versuch und der grösseren Menge der jahrelang gesammelten Masse war ganz unerheblich different. ²⁾

Die von Stohmann gemachten Einwände hätten sich meines Erachtens recht gut auf Grund meiner Veröffentlichungen schon als unzutreffend ergeben sollen; die nachfolgenden Untersuchungen werden aber auf einem anderen nicht uninteressanten Wege zeigen, dass die von mir zuerst angegebene Berechnung des physiologischen Verbrennungswerthes der Eiweissstoffe unanfechtbar ist.

Ebenso unzutreffend ist ein neuerdings gemachter Einwand, dass man von dem Kothe, welchen der Hund entleert, dessen Fett-

1) Calorim. Meth.: S. 329. Die Verwerthung dieser Methode zur Untersuchung des Harns und zur Trennung ist später mehrfach von Autoren ausgeführt worden, ohne die von mir zuerst gewonnenen Ergebnisse zu erwähnen.

2) a. a. O. S. 318.

gehalt hätte in Abrechnung bringen sollen; da dieses ja aus dem Fleische stamme, also nicht aufgenommenes Material sei. Dass ich eine derartige Berechnung nicht anstellte, hat seinen Grund und ist nicht ohne Ueberlegung geschehen. Der Fleischkoth des Hundes enthält ja mit Aether extrahirbares Material; aber diess letztere darf man nicht als Rest der Spuren des Fettes eines verzehrten mageren Fleisches betrachten. Es ist vielmehr ein ähnliches Gemenge von Stoffen, wie man es auch aus dem Hungerkoth erhält. Wollte man selbst die Verbrennungswärme dieses „Fettes“ nicht berücksichtigen, so würde dieselbe praktisch die Werthe fast unverändert lassen. Ich muss mich aber gegen ein solches Vorgehen, als principiell unrichtig, entschieden verwahren. Die Verbrennungswärmen können jetzt für jeden besonderen Fall der Stoffzersetzung mit grösster Genauigkeit angegeben werden. Um die erhaltenen Werthe für Stoffwechseluntersuchung an Hunden praktisch leicht verwerthbar zu machen, habe ich für die gewöhnlich gemessenen Ausscheidungsproducte den N, und den auf Fettzersetzung zu rechnenden C die calorischen Grössen bezogen.¹⁾

Er trifft

auf 1 N beim hungernden Thier . . .	24,98 Cal.
„ 1 „ bei Fleischfütterung . . .	25,98 „
„ 1 „ „ Eiweissfütterung . . .	26,66 „
„ 1 C	12,31 „

III. Das Thiercalorimeter.

Der letzte, wichtigste Factor, den wir noch zum Gelingen vergleichender Versuche über Wärmebildung und Stoffzersetzung nothwendig haben, betrifft die Messung der von einem Thiere gelieferten Wärme, wobei wir voraussetzen, dass das zu untersuchende Thier in absoluter Ruhe verharre und keine äussere Arbeit leiste.

Die älteren Calorimeter sind alle zu primitiver Art, um ganz genau und für eine längere Zeit die Wärmeabgabe eines Thieres zu messen. Vor einiger Zeit habe ich ein Calorimeter angegeben, welches allen unseren Anforderungen entspricht.

1) Calorim. Unters. S. 309, 321, 328.

Ich habe früher zur Messung mich einfacher Luftcalorimeter bedient, deren eines in dieser Zeitschrift bereits näher beschrieben wurde.

Das neue Calorimeter, welches ich in den nachfolgenden Thierversuchen gebrauchte, findet sich eingehend andern Orts abgebildet und mit den experimentellen Belägen betreffs seiner Genauigkeit beschrieben.¹⁾

Da ich vermuthen darf, dass diese Publication nicht so allgemeine Verbreitung gefunden hat, um die Bekanntschaft mit dem Apparat überall voraussetzen zu können, will ich die wichtigsten in Frage kommenden Dinge hier nochmals mittheilen.

Das neue Luftcalorimeter besteht aus zwei wesentlichen unter Wasser versenkten Theilen.

Wie bei jedem Luftcalorimeter sind eigentlich zwei Apparate (Calorimeter) nothwendig; der eine zeigt mir die Schwankungen der Temperatur und des Barometers an, der andere diese beiden Einflüsse und die erwärmende Wirkung des Thieres.

Die durch die Erwärmung u. s. w. aus den Calorimetern getriebene Luft habe ich in kleinen Spirometern (Volumetern) gemessen.

Von dem Ausschlag, welchen das Thier, die Wärme- event. die Barometerschwankung hervorruft, ist der Ausschlag abzuziehen (oder hinzuzuzählen), den das Calorimeter angibt, in welchem sich gar keine Wärmequelle befindet. Man kann also das leere Calorimeter auch „Correctionscalorimeter“ heissen. Dieses letztere hat bei meinem neuen Calorimeter die wesentlichsten Umformungen erhalten.²⁾

Das nunmehr seit mehr als sechs Jahren zu messenden Versuchen benutzte Calorimeter vereinigt in sich den completen Apparat zur Wärmemessung, sowie zur Bestimmung der ausgeschiedenen Kohlensäure, des Wasserdampfes und bietet die Möglichkeit der indirecten Bestimmung des aufgenommenen Sauerstoffes. Es können sonach alle, namentlich für die Erforschung biologischer Processe,

1) Festschrift zu C. Ludwig's 50jährigem Doctorjubiläum.

2) Bezüglich der näheren Beschreibung der Calorimeter verweise ich ausdrücklich auf die als Monographie erschienene „Calorimetrische Methodik“, Marburg, Elwert.

nothwendigen Messungen zu gleicher Zeit vorgenommen werden. Dadurch werden der Forschung neue Wege geöffnet und manche Streitfrage der Lösung zugeführt werden.

Ich sehe zunächst von dem Respirationstheil des Calorimeters ab und gehe zur Skizzirung des Calorimeters, welche das Schema Fig. 1 erleichtern wird, über.

Der Calorimeterraum R , welcher zur Aufnahme einer Wärmequelle dient, ist im Verticalschnitt wie Horizontalschnitt rechteckig gestaltet, mit etwas abgestumpften Kanten, höher als breit. Die Längsachse ist horizontal. Den Verschluss bildet eine luftdicht aufschraubbare Thüre (T). Diesen Raum R umgibt an allen Stellen, die Thüre ausgenommen, ein Mantel aus Kupferblech (M), die zur Bewegung der Volumeter¹⁾ nöthige Luftmenge einschliessend.

Der ganze, einem Luftcalorimeter entsprechende Theil des Apparates wird von einem zweiten Mantel, gleichfalls aus Kupferblech, umgeben, so dass der Isolirraum (I) entsteht.

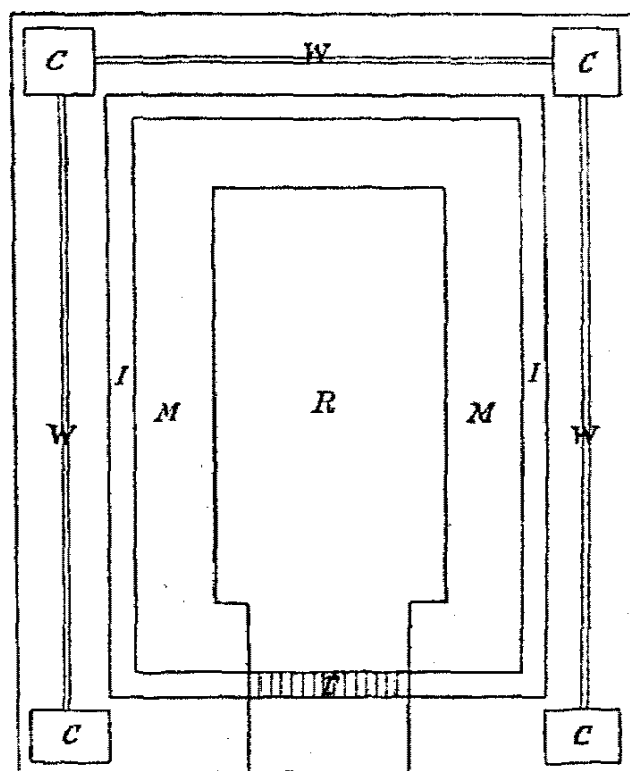


Fig. 1.

Das System der Mantelräume ist an dem Eingang in den Calorimeterraum fest verlöthet und in ein Wasserbad (W) von grossen Dimensionen versenkt, doch so, dass eine Seite des Wasserbades behufs Communication mit dem Calorimeterraum durchbrochen wird, (bei T).

Das bei den früheren Versuchen mit dem Hauptcalorimeter in seinen Dimensionen identische Correctionscalorimeter wird durch den Correctionsapparat ersetzt. Letzterer besteht aus 5 kupfernen Hohlkörpern von rechtwinkligem Querschnitt (C). (Fig. 1 führte deren nur vier auf), welche in dem zwischen Calorimeter und Wasser-

1) Kleine, nach Art von Spirometern gebaute Apparate.

badwandung bleibenden Raume versenkt sind. Die Hohlkörper communiciren durch Bleiröhren untereinander, und eine Ableitung führt die Luft nach einem Spirometer von kleineren Dimensionen, wie das dem eigentlichen Calorimeter zugehörige ist.

So ist Beobachtungs- und Correctionscalorimeter in ein Instrument vereinigt worden; die Ausschläge des Correctionsspirometers sind allerdings kleiner wie jene des Beobachtungsspirometers, aber beide lassen sich bequem vergleichen.

Das Wasserbad, in welches das Calorimeter wie der Correctionsapparat eingebettet ist, wird ständig auf gleicher Temperatur erhalten.

Nach der im Vorstehenden allgemeinen Beschreibung des Calorimeters will ich die wesentlichsten Theile desselben noch im Einzelnen besprechen.

Der Wasserraum besteht aus einem grossen aus Kupfer hergestellten Gefäss von rechteckigem Querschnitt; der kupferne Behälter hat sechs Füsse und ist so hoch gestellt, dass unter dem Calorimeter ein Gasbrenner bequem Platz findet.

An der Stirnseite des Apparates befindet sich der Eingang in den Calorimeterraum, der durch eine Thüre absolut luftdicht zu verschliessen ist. Letztere besteht aus einem kräftigen kupfernen Rahmen, in welchem in dem Abstände von etwa 2 cm zwei Spiegelscheiben befestigt sind. Zwischen den Spiegelscheiben befindet sich also ein geschlossener Hohlraum, die Oberfläche der Thüre beträgt weniger als 10% der gesammten Innenfläche des Calorimeters.

Die Temperaturregulirung des Wassermantels ist eine zweifache.

Der Mantelraum besitzt einen Kaltwasser- und einen Wärme-Leuchtgasregulator.

Der Kaltwasserregulator ist ein modificirter Soxhlet'scher; er besteht aus einem 25 cm langen cylindrischen Körper, der sich oben zu einer Röhre verjüngt, letztere ist in ihrem Mitteltheile um eine horizontale Achse S-förmig gekrümmt und erweitert sich sodann wieder in axialer Richtung trichterförmig.

Der Körper des Regulators enthält Methylalkohol, der S-förmige Theil Quecksilber. Der trichterförmige Aufsatz ist für die Regulation des Wasserstromes bestimmt.

Der Trichter hat seitlich ein Abflussrohr und der ihn abschliessende Kork zwei Durchbohrungen. Durch eine derselben strömt Wasser in den Trichter ein und verlässt denselben wieder durch einen Glasheber, der gleichfalls durch den Kork gesteckt ist. Der Heber reicht mit seiner Mündung tiefer als das seitliche Ausflussrohr an dem Trichter. Daher strömt, solange der Heber offen ist, kein Wasser aus der seitlichen Oeffnung des Trichters.

Wird der Regulator erwärmt, dann treibt der sich ausdehnende Methylalkohol das Quecksilber vor sich her, bis dieses den Heber schliesst; sodann läuft kaltes Wasser aus dem Seitenrohre, und dieses Wasser wird in den Mantelraum zur Kühlung geleitet. Folgt eine Abkühlung des Regulators, dann öffnet das Quecksilber den Heber, das Wasser fliesst durch diesen ab, ohne mit dem Calorimeter in Berührung zu kommen. Die Regulation ist eine ganz vorzügliche, reicht aber natürlich nur für bestimmte Grenzen.

Mit derselben Regelmässigkeit, mit der man während des Tages eine Tendenz der Wärmezunahme des Calorimeterwassers erwarten kann, findet sich Nachts die Tendenz des Temperaturabfalls.

Die Beibehaltung einer gleichen Temperatur muss deshalb noch durch eine zweite Regulireinrichtung gewährleistet werden.

Der Apparat trägt einen Soxhlet'schen Gasdruckregulator, welcher, um vom Barometerdruck abhängige Schwankungen zu vermeiden, gleichfalls wie der Kaltwasserregulator mit Methylalkohol gefüllt wird.

Unter dem Calorimeter ist ein doppelarmiger Mikrobrenner aufgestellt, welcher die zur Regulation nothwendige Wärme dem Apparate zuführt.

Die Gleichmässigkeit der mit unserer Regulationseinrichtung erreichbaren Temperatur ist eine staunenswerthe. Wir haben vollkommen selbstthätig dieselbe sich viele Wochen hindurch auf $0,1^{\circ}$ vollkommen genau erhalten sehen.

Der Versuchsraum hat 66 cm Länge, 45 cm Höhe und 28 cm Breite. 10 cm über dem Boden ist ein aus dünnen Holzstäben hergestelltes Gerüst, auf welches sich die Thiere zu legen haben.

Eine directe Berührung der Wandungen durch ein Thier ist durch ein Zinkdrahtnetz, welches im Abstand von 2 cm dieselben

an allen Stellen bedeckt, zur Unmöglichkeit gemacht. An der Decke mündet das Rohr der einströmenden Luft, nahe dem Boden findet die Ableitung der Abstromluft statt. Letzteres Rohr wird durch ein feineres Drahtnetz vor dem Ansaugen von Haaren geschützt.

Die Temperatur der einströmenden wie abströmenden Luft wird in unmittelbarer Nähe des Calorimeters durch ein in $0,05^{\circ}$ getheiltes Thermometer gemessen.

Einer sehr sorgfältigen Bearbeitung bedurften die Volumeter. Die Cylinder sind aus dünnstem Kupferblech hergestellt; die Rollen aus Aluminium. Der zur Bewegung nothwendige Druck beträgt 0,4 mm Wasser.

An dem Aequilibrirungsgewichte der Volumeter wird eine kleine Schreibfeder aus Glas angebracht, welche ihre Bewegung auf einen mit Millimeterpapier bespannten rotirenden Cylinder aufschreibt.

Das Calorimeter ist zu dem Zwecke der Untersuchung von Respirations- oder Verbrennungsproducten mit einer hierzu geeigneten Einrichtung versehen. Die Wahl des zu benützensden Systems ergibt sich leicht; alle mit dem Calorimeter zu lösenden Aufgaben, gehören sie den Lebensprocessen oder Verbrennungsprocessen zu, erfordern eine reichliche Versorgung mit frischer Luft und sehr bedeutende Mengen der Ventilationsluft. Man kann daher nie die Gesammtmenge der Luft auf die in ihr vertheilten Gase prüfen, sondern muss das von v. Pettenkofer zuerst durchgeführte Princip der Untersuchung eines Theilstromes verwenden.

Die Hauptmenge der Luft wird mittels einer grossen Gasuhr mit durchgehender Achse durch das Calorimeter gesaugt; die Bewegung der Uhr vermittelt ein überschlächtiges Wasserrad, das Voit zuerst an dem kleinen Respirationsapparate ¹⁾ in Anwendung gebracht hat. Die frische Luft tritt aus dem Freien in einer weiten, dicht gelötheten Röhre in die Stube und gelangt zuerst entweder in einen weiten, mit trockenem Chlorcalcium gefüllten Blechcylinder, in welchem sie ihren Wasserdampfgehalt regulirt, oder in einen ähnlichen Apparat, der zur Befeuchtung dient; sodann tritt sie ins Calorimeter ein, in dessen Wassermantel ein in Schlangenwindungen gelegtes Kupferrohr die besonders

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 11 S. 532 f.

während des Winters unbedingt nöthige Vorwärmung der Luft besorgt und endlich in den sonst luftdicht geschlossenen Versuchsraum.

Die Entnahme des Theilstroms der Ventilationsluft geschieht mittels Quecksilberpumpen, in einer nach dem kleineren Pettenkofer-Voit'schen Respirationssystem modificirten Weise.

An das Calorimeter schliesst sich der Respirationstheil des Apparates enge an. Die austretende Luft gelangt durch ein kurzes Rohr zur grossen Gasuhr; der Theilstrom, welcher die zur Untersuchung zu verwendende Luft abzuleiten hat, wird unmittelbar vor dem Eintritt der zuströmenden und unmittelbar nach dem Austritt der abströmenden Luft weggenommen.¹⁾ An der Aussenseite des Calorimeters hängt eine kleine Console, auf welcher die Schwefelsäure-Bimsteinkölbchen, denen die Absorption des Wasserdampfes zugewiesen ist, in doppelter Reihe geordnet stehen.

Durch diese kurze Leitung, welche den Einstrom wie Abstrom mit den Schwefelsäure-Bimsteinkölbchen verbindet, wird eine Condensation von Wasserdampf in der Zweigleitung, welche die allergrössten Fehler hervorrufen könnte, gänzlich vermieden.²⁾

Von den Schwefelsäurekölbchen gelangt die Luft in einer Glasröhrenleitung nach den Quecksilberpumpen, welche den Theilstrom absaugen, sodann nach den mit nassen Bimsteinstücken gefüllten Fläschchen, welche als Befeuchtungsapparat dienen, von hier nach den Barytröhren zur Abgabe der Kohlensäure und nach den kleinen Gasuhren, in denen schliesslich die Grösse des zur Untersuchung benutzten Theilstromes gemessen wird.

Die Volumeter werden nach Abschluss der Verbindung zum Calorimeter stark belastet und 4—5 Stunden auf ihre Luftundurchgängigkeit beobachtet.

Messung nach absolutem Maasse und die Genauigkeit des Apparates.

Hat der Apparat in allen seinen Theilen eine richtige Aufstellung gefunden, so muss der calorimetrische wie respiratorische Theil auf seine Genauigkeit geprüft werden.

1) Vergl. Zeitschr. f. Biol. Bd. 11 a. a. O.

2) C. u. E. Voit und J. Forster. Zeitschr. f. Biol. Bd. 11 S. 126 ff.

Als die erste und wichtigste Aufgabe ist zunächst die Vergleichung der beiden Volumeter zu bezeichnen.

Diese Vergleichung lässt sich in zweierlei Weise vornehmen: man beobachtet die unter dem Einfluss der Luftdruckschwankungen sich ergebenden Ausschläge, oder heizt den Wassermantel des Calorimeters langsam an und notirt die Excursionen des Corrections- und Mantelraumspirometers.

Die zuverlässigste Methode ist die Beobachtung der Schwankungen des Luftdrucks.

Mit den gewonnenen Verhältnisszahlen lassen sich die Angaben des Correctionsspirometers auf das Mantelraumvolumeter umrechnen. Die zur Zeit verwendeten Volumeter verhalten sich zu einander wie 1 : 1,78.

Mit der daraus abzuleitenden Verhältnisszahl werden die Grade oder Flächenwerthe des Correctionsvolumeters multiplicirt und das Product von der Volumeterzahl des Mantelraumes abgezogen, wenn die beiden Volumeter in gleichem Sinne sich bewegten, oder hinzugezählt, wenn die Bewegungsrichtung eine entgegengesetzte war.

Das Calorimeter kommt nach Ablauf einer Stunde in's Gleichgewicht.

Wenn nun auch die Einstellung eine langsame ist, so schliesst diese noch keineswegs die Empfindlichkeit des Instrumentes aus; vielmehr prägen sich alle Schwankungen einer Wärmequelle genauestens in den Diagrammen aus.

Wenn man kurze Versuche von 2—4stündiger Dauer zu berechnen hat, wird man in vielen Fällen die Ablesungen an dem Volumeter direct nach Graden vornehmen, bei länger währenden Reihen wird man die graphische Darstellung und planimetrische Messung der Kurve vorziehen, worüber später berichtet wird.

Zur Gewinnung von Werthen nach absolutem Maasse muss nun festgestellt werden, wie vielen Wärmeeinheiten 1° der Volumeter oder 1 qcm bei Flächenmessungen entspricht.

Dies kann bei unserem Calorimeter in zweierlei Weise geschehen:

1) indem man demselben eine genau gemessene Wärmemenge zuführt,

2) indem man demselben eine genau gemessene Wärme entnimmt. Aus gewissen Gründen ist der erste Weg dem zweiten vorzuziehen.

Eine gemessene Wärmemenge lässt sich am einfachsten an den Apparat übertragen, wenn man denselben nach Art einer Warmwasserheizung beheizt.¹⁾

Das warme Wasser wird in einem durch einen Soxhletregulator auf gleicher Temperatur gehaltenen Bassin erzeugt; der Wasserstrom selbst mit grosser Sorgfalt regulirt.

Während der Versuchszeit (von zwei Stunden) wird dann das Einstrom- und Abstromthermometer, die Ventilation abgelesen, die Grösse derselben bestimmt und die Notirungen des Volumeterstandes vorgenommen.

Die Metallspirale, durch welche das Wasser circulirt, bestand aus einer Kupferspirale von 10 m Länge. Ganz besondere Aufmerksamkeit hat man der vollkommenen Dichtigkeit der Röhrenleitung, sowie einer guten Isolirung beim Durchtritt der Röhren durch die Thüre zu schenken.

Aus der durch die Spirale gegangenen Wassermenge und der Temperaturdifferenz zwischen Einstrom- und Abstromthermometer leitet sich die nach dem Einstrom bis unmittelbar an das Abstromthermometer abgegebene Wärmemenge her.

Diese ist aber keineswegs mit der an das Calorimeter selbst abgegebenen Wärmemenge identisch, sondern etwas grösser.

Ein Wärmeverlust, welcher dem Calorimeter nicht zu Gute kommt, ist der durch die Ventilationsluft verlorene Antheil, welcher mit voller Sicherheit berechenbar ist, da die Grösse der Ventilation und die Temperatur der in das Calorimeter einströmenden wie der abströmenden Luft gemessen wird.

Ein zweiter und wesentlicher Wärmeverlust findet statt an den kurzen Strecken der Röhren, welche zwischen dem Einstrom- und Abstromthermometer und der Thüre liegen, auch wenn die Umhüllung dieser Theile mit Watte eine sehr zureichende ist. Die Grösse dieses Wärmeverlustes muss experimentell erhoben werden. Zu diesem Behufe nimmt man den Aichungsapparat aus dem Calorimeter

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 25 S. 400 ff.

zugleich mit der Thüre heraus, trennt die Spirale ab und fügt die Zuleitungsröhre, sowie die Ableitungsröhren, welche die Thermometer tragen, aneinander.

Dann verfährt man, wie sonst bei der Aichung, indem man eine bekannte Menge warmes Wasser hindurchtreten lässt und die Thermometer unter gleichzeitiger Notirung der Lufttemperatur abliest.

Da bei den Versuchen die genannten Röhrenantheile mit Watte umwickelt sind, wird der Wärmeverlust unter dieser nämlichen Versuchsbedingung eruiert. Beifolgend gebe ich eine solche Messung des Wärmeverlustes:

Ein-strom	Abstrom	Diff.	Ein-strom	Abstrom	Diff.
70,4	65,0	5,4	69,7	65,5	4,4
70,5	65,6	4,9	69,5	65,0	4,5
70,3	66,0	4,3	69,4	64,9	4,5
70,0	65,8	4,3	69,2	64,7	4,3
70,0	65,8	4,2	68,7	64,4	4,5
			68,6	63,8	4,5

Die mit Watte umwickelte Röhre verlor nur $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ der von einer nicht geschützten Röhre zu Verlust gehenden Wärmemenge.

In mehreren Reihen habe ich bestimmt, wie viel für 1° Temperaturdifferenz zwischen dem warmen Wasser und der Lufttemperatur an Wärme verloren geht, und folgende Werthe erhalten:

Reihe	Für 1° Temperatur-diff. Wärmeabgabe i. Cal. pro 2 Stunden	Mittel in Cal.
I.	0,225	} 0,220
II.	0,237	
III.	0,212	
IV.	0,206	

Bringt man, wie oben entwickelt, von der dem Apparat zugeleiteten Wärmemenge den Ventilationsverlust und den eben genannten Leitungsverlust in Abzug, so erhält man die zu Berechnungen verwendbare Grösse der an den Apparat selbst übertragenen Wärme.

Die Menge der dem Apparat zugeführten Wärme dividirt durch den Ausschlag der Spirometer in $^{\circ}$ gibt die auf 1° treffende Wärmemenge, oder dividirt durch die Planimeterzahl die für 1 qcm in Rechnung zu stellende Wärmemenge.

Zur definitiven und endgiltigen Bestimmung der Constante unseres Calorimeters habe ich dann mit möglichster Sorgfalt und unter Beachtung aller Cautelen folgende 25 Versuche ausgeführt.

No.	Wärmeabgabe des Wassers in Cal.	Wärme nach Abzug des Verlustes m. d. Ventil	Wärme nach Abzug des Verlustes a. d. Leitung	Ausschlag in $^{\circ}$	Für 1° trifft für 2 Stunden in Cal.
1.	35,2	34,9	32,2	287	0,1122
2.	37,4	36,6	32,8	292	0,1126
3.	36,0	35,6	33,3	296	0,1124
4.	36,1	35,8	33,6	293	0,1147
5.	37,5	36,6	34,2	304	0,1125
6.	38,4	38,1	35,4	311	0,1138
7.	40,9	40,1	36,0	311	0,1157
8.	39,2	38,9	36,2	306	0,1183
9.	39,6	38,7	36,3	305	0,1188
10.	40,1	39,2	36,7	319	0,1151
11.	40,1	39,2	36,7	319	0,1151
12.	41,8	41,5	38,7	333	0,1162
13.	53,0	52,2	42,5	364	0,1167
14.	61,7	60,9	58,8	511	0,1150
15.	63,2	62,5	59,0	514	0,1148
16.	62,9	61,7	59,2	505	0,1172
17.	65,8	64,3	60,1	510	0,1178
18.	70,1	69,1	60,9	536	0,1136
19.	67,8	66,2	62,0	542	0,1143
20.	75,4	74,3	65,8	572	0,1150
21.	76,8	75,8	67,1	571	0,1171
22.	88,3	86,6	82,5	731	0,1127
23.	91,0	89,7	85,3	739	0,1154
24.	109,3	108,1	91,8	805	0,1140
25.	122,3	121,3	105,4	930	0,1133

In der Tabelle ist genau die Grösse der Wärmezufuhr und die Grösse der Correctionen für den Wärmeverlust durch die Ventilation angeführt. Aus diesen Grössen und dem Ausschlag wurde die Constante, welche im letzten Stab eingetragen ist, abgeleitet.

Aus den mitgetheilten Versuchen ergibt sich, dass unser Calorimeter innerhalb gewisser Grenzen eine vollkommen gleichbleibende Constante besitzt. Erst bei reichlicher Wärmezufuhr, wie wir sie in den Vorstudien angewendet haben, stossen wir auf das Anwachsen der Werthe der Constante.

Leitet man auf Grund der Abweichungen vom Mittelwerth die Fehlergrößen in bekannter Weise ab, so ergibt sich:

der mittlere Fehler einer Beobachtung	. beträgt absolut	0,00190
„ „ „ des ganzen Resultats	„ „	0,00038
der wahrscheinliche mittlere Fehler der Beobachtung	„ „ 0,00030
der wahrscheinliche mittlere Fehler des Resultats	„ „ 0,00026.

In % ausgedrückt folgt hieraus:

als mittlerer Fehler einer Beobachtung		+ 1,66 %
„ „ „ des Resultats		+ 0,25 %
als wahrscheinlicher mittlerer Fehler der Beobachtung		+ 0,84 %
„ „ „ „ des Resultats		+ 0,17 %.

Wenn man die Wärmemessung in Vergleich setzt mit den aus 24 stündigen Versuchen abzuleitenden Fehlern der Kohlensäurebestimmung bei Respirationsversuchen, so wird man auch unter Annahme tadelloser Versuche die mittleren Fehlergrenzen nicht günstiger gestalten, als wir sie hier erreicht haben.

Zur Beurtheilung der Fehlerquellen muss man noch berücksichtigen, dass die bestehenden Differenzen keineswegs auf unseren Apparat selbst treffen, sondern ebensowohl in gewissen Fehlern der Wärmezufuhr begründet sein können.

Der minimalste Werth, welcher überhaupt gefunden wurde, wich vom Mittelwerth um 2,4, der maximalste von demselben um 2,6 % ab.

Unter der Annahme, wir seien ohne jeden Fehler in der Lage, dem Calorimeter Wärme zuzuführen, habe ich in der Tabelle auf S. 103 berechnet, um wie viel unsere Messung nach absoluter Zahl von den wahren Werthen der Wärmezufuhr absteht.

Daraus folgert als grösste absolute Abweichung eine Differenz von 1,6 Cal. pro 2 Stunden; die mittleren Abweichungen betragen $\pm 0,7$ — $0,8$ Cal. für 2 Stunden. Für grosse wie für kleine Wärmemengen, welche man an den Apparat überträgt, bleiben dieselben annähernd gleich.

Aus dem Dargelegten kann man zur Genüge den hohen Grad der Genauigkeit ersehen, mit welchem man nunmehr die thermischen Versuche anzustellen in der Lage ist. Die Methodik ist sicherlich allen sich ergebenden Aufgaben vollkommen gewachsen, sei es nun, dass es sich um technische oder um biologische Probleme handelt.

No.	Wärmezufuhr nach dem Calorimeter	Wärme n. d. Mittelwerth der Aichung berechnet	Absolute Abweichung in Cal.
1.	32,2	33,0	+ 0,8
2.	32,8	33,6	+ 0,8
3.	33,3	34,0	+ 0,7
4.	33,6	33,7	+ 0,1
5.	34,2	35,0	+ 0,8
6.	35,4	35,8	+ 0,4
7.	36,0	35,8	— 0,5
8.	36,2	35,2	— 1,0
9.	36,3	35,0	— 1,2
10.	36,7	35,2	— 1,5
11.	36,7	36,7	0
12.	38,7	38,3	— 0,4
13.	42,5	41,9	— 0,6
14.	58,8	58,8	0
15.	59,0	59,1	+ 0,1
16.	59,2	58,1	— 1,1
17.	60,1	58,6	— 1,5
18.	60,9	61,6	+ 0,7
19.	62,0	62,3	+ 0,3
20.	65,8	65,8	0
21.	67,1	65,7	— 1,4
22.	82,5	84,1	+ 1,6
23.	85,3	85,3	0
24.	91,8	92,6	+ 0,8
25.	105,4	106,9	+ 1,5

Manchem kann es vielleicht praktischer erscheinen, an Stelle unserer mit gewissen Schwierigkeiten verbundenen Methode der Bestimmung der Constante die andere näher liegende durch Aichung mittels eines Leuchtmaterials zu wählen; doch ist unzweifelhaft diese letztere Methode wegen der unvollkommenen Verbrennung aller Leuchtmaterialien mit wesentlichen Fehlern behaftet.¹⁾

Thermochemische Umsetzungen, von welchen ich einige auch auf ihre Verwendbarkeit geprüft habe, erwiesen sich unzweckmässig.

Der Respirationstheil des Apparates muss in gleicher Weise wie das Calorimeter auf seine Genauigkeit geprüft werden.

Dieser Forderung ist von Pettenkofer zuerst bei seinem Apparate dadurch gerecht geworden, dass durch Verbrennung von Stearinkerzen von bekanntem Kohlenstoffgehalt dem Luftraum eine gewisse Menge Kohlensäure zugeführt und mit der in dem Respirationversuche gefundenen verglichen wurde. Späterhin hat man auf die exacte Aichung der Gasuhren besonders Rücksicht genommen²⁾ und die Angaben eines solchen Apparates auch hinsichtlich der Bestimmung des Wasserdampfes genauestens controlirt.³⁾

Da Kerzenmaterial nie ganz vollkommen verbrennt, sondern zum Theil unvollkommene Zersetzungsproducte liefert, wie C. und E. Voit und Forster direct für den Wasserstoffgehalt des Stearins und die Versuche von E. Cramer in meinem Laboratorium für den Wasserstoff- wie Kohlenstoffgehalt gezeigt haben, so ist es wünschenswerth, entweder den Respirationstheil unseres Apparates durch Verdunsten einer gewogenen Menge Wassers oder durch Einleiten von reiner Kohlensäure zu prüfen. Nachdem alle Gasuhren genau geaicht, die Barytlösungen wie Oxalsäurelösung hergestellt waren, habe ich in das Calorimeter reine Kohlensäure, welche aus Natron bicarbonicum entwickelt wurde, eingeleitet.

Man füllt mehrere kurze Verbrennungsröhren mit dem Salz und wiegt sie. Ein Drahtnetz hindert das Herausfallen des Salzes. Eine solche Röhre wird dann mit 2 Liebig'schen mit Schwefelsäure gefüllten, gleichfalls gewogenen Kugelapparaten verbunden, über

1) Archiv f. Hygiene Bd. 10 S. 283 ff.

2) C. und E. Voit und J. Forster, Zeitschr. f. Biol. Bd. 11 S. 126 ff.

2) Ebendasselbst.

die Verbrennungsröhre ein Eisendrahtnetz geschoben und nun Strecke für Strecke so erhitzt, dass die Blasen reiner Kohlensäure die Schwefelsäureapparate langsam durchsetzen. Die CO_2 trat durch eine Oeffnung in der Thüre in den Calorimeterraum ein.

Nach dem Versuch werden die Röhren und die Kugelapparate (letztere getrennt) gewogen; der Gewichtsverlust ist reine Kohlensäure. Damit hat man dann das Ergebniss des Respirationsversuchs zu vergleichen.

Die Methode liefert ganz günstige Resultate.

In einem Falle wurden aus den Röhren mit Bicarbonat abgegeben:

Röhre 1.	7,8	g
„ 2.	10,15	„
„ 3.	14,25	„
Summa	32,20	g.

Davon gehen ab 7,25 „ Wasser, welche in der vorgelegten concentrirten Schwefelsäure blieben,

demnach bleiben 24,95 g Kohlensäure, welche dem Apparat zugeleitet wurden. Der Respirationsversuch lieferte 24,50 g.

In einem zweiten Experiment verloren die Bicarbonatröhren:

Röhre 1.	7,3	g
„ 2.	8,5	„
„ 3.	11,10	„
Summa	26,95	g,

davon gehen als Wasser, das in den Schwefelsäureapparaten blieb, ab:

4,35 „

somit sind 22,60 g Kohlensäure geliefert worden, während der Respirationsversuch 22,44 g berechnen liess.

Tagesversuche mit dem registrirenden Calorimeter.

Die Durchführung langdauernder Versuche stellt die gefährlichste Klippe aller bisher angewandten calorimetrischen Methoden dar; durchgehend eignen sie sich nur zu kurzen Versuchen. Nach vielerlei negativen Ergebnissen ist es mir gelungen, die Schwierigkeiten zu beseitigen.

Ein vierundzwanzigstündiger Versuch erfordert die allergrösste Aufmerksamkeit und die Beseitigung von Fehlern, welche bei kürzeren Untersuchungen wenig oder gar keinen Einfluss üben.

In erster Linie müssen die Originalkurven, welche die Volumeter aufschreiben, einer horizontalen Abscisse entsprechen, wozu genaue Aufstellung der rotirenden Cylinder, genaueste Befestigung des Millimeterpapiers und ferner eine Controle der Umdrehungszeit der registrirenden Cylinder nothwendig ist.

Wenn die Curven richtig geschrieben sind, so müssen dieselben mit Hilfe eines sorgfältig geachteten Planimeters ausgemessen werden; meist ist es aber vorher nothwendig, einige Correctionen vorzunehmen.

Eine derselben wird bedingt durch gewisse Bewegungen, welche die in den Volumetern selbst eingeschlossene Luft erzeugt, die andere ist bedingt in gewissen Reibungswiderständen der Volumeter. Wir wollen die beiden Correctionen nachfolgend besprechen.

Die Volumeter werden nicht allein durch die Aenderungen des Volums der in dem Mantelraum und dem Correctionsapparat eingeschlossenen Luft in Bewegung gesetzt, sondern sie unterliegen auch gewissen Einflüssen der umgebenden Temperatur wie des Barometerdruckes. Wenn man dieselben nach Abklemmung der Kautschukverbindungen nach dem Mantelraum und Correctionsapparat den Einflüssen schwankender Temperatur und schwankenden Barometers unterwirft, so machen sie gewisse Excursionen, die je nach dem Hochstande des Volumeters verschieden, aber in beiden, dem kleinen wie grossen Volumeter, von gleichem Werthe sind.

Daraus folgt, dass man bei der Ausführung der Correcturen die von dem Drucke und dem Barometer abhängigen Schwankungen der Volumeter selbst erst eliminiren muss.

Da die Volumeter im Allgemeinen eine mittlere Höhenstellung einhalten, und ihre Excursionen nur einen Bruchtheil ihrer ganzen Höhe betragen, so kann man Mittelzahlen zur Berechnung zu Grunde legen.

In unseren Versuchen waren für 1 mm Schwankung des Barometers 0,21 mm und für 1° Temperaturdifferenz 0,56 mm (d. i. für

1 Stunde ein Flächenwerth von 0,012 qcm und 0,062 qcm) als Correctionszahl beizubehalten. Die Mitteltemperatur wurde mit Hilfe eines registirenden Thermometers von Sendtner, der Luftdruck durch mehrere Wiederholungen von Barometerbeobachtungen erhalten.

Grosse Temperaturdifferenzen treten nur während der Heizperiode und nur während des Anheizens ein; sie lassen sich auf ein sehr bescheidenes Maass zurückführen. Späterhin ist die Temperatur ziemlich leicht für diese Zwecke gleichmässig zu erhalten.

Was die zweite Correction anlangt, so verhält es sich damit folgendermaassen.

Wenn die rotirenden Cylinder ausgelöst sind und die Volumeter sich heben, so beschreiben ihre Federn auf dem Millimeterpapier eine Curve. Entfernt man späterhin die Wärmequelle aus dem Apparat, und sind die äusseren Bedingungen des Versuches die gleichen geblieben, so geht die Feder des Volumeters auf die ursprüngliche Abscissenaxe zurück. Man hat dadurch die Möglichkeit, jeden Versuch behufs Controle in zweierlei Art zu berechnen, einmal indem man die Wärmemengen erhebt, welche sich beim Ausgang von dem Anfangspunkte der Curve ergeben, und dann indem man die aus dem Nullpunkt der Abkühlung ableitbare Wärmemenge feststellt. Beide Werthe — der Erwärmungswerth und Abkühlungswerth — werden dann zu einem Mittelwerthe vereinigt.

Nicht bei allen Instrumenten kehrt aber der Zeiger des Volumeters oder die Schreibfeder nach der Abkühlung des Calorimeters vollkommen in die 0-Lage zurück, auch wenn der Mantelraum sich auf völlig gleicher Temperatur hält und der Luftdruck nicht die geringsten Schwankungen gezeigt hat. In diesen Fällen liegt eine grössere oder geringere Trägheit und Reibungswiderstand in den Volumetern vor.

Drückt man in solchen Fällen das Volumeter tief in das Petroleumgefäss hinein und comprimirt die Luft im Innern des Mantelraums oder des Correctionsapparates, so wird die Druckvertheilung so sein, als hätte man das Spirometer angeblasen.

Man lässt, wenn das Spirometer zur Ruhe gekommen ist, dasselbe eine Abscisse schreiben.

Hebt man alsdann die Spirometerglocke, so dass ein negativer Druck im Innern entsteht, und lässt sie wieder sinken, so schreibt die Feder jetzt eine Abscisse, die höher liegt als diejenige, welche nach der Compression des Spirometers aufgenommen wurde. Die Stellung und Schreibart der Feder entspricht jener, wie sie beim Aussaugen von Luft aus der Spirometerglocke gegeben ist.

Auf eine hochgradige Empfindlichkeit der Spirometer muss also alle Aufmerksamkeit verwendet werden, da sonst die Correctionen unbequem werden können.

Im Verlauf eines Versuchs wiederholen sich die genannten Trägheitsfehler oft, und es kommt bei der Beeinflussung des Resultates ganz und gar auf den Anfangszustand des Druckes in den Volumetern an. Hat man dasselbe vor dem Versuche angeblasen, so geht es während des Versuches in demselben Sinne weiter, d. h. die kleinste Erwärmung bewegt den Zeiger vorwärts. Wird nun eine Abkühlung des Calorimeters eingeleitet, so beginnt der Zeiger oder die Feder erst die Aufschreibung, wenn genügender negativer Druck vorhanden, die betreffende Ordinate bleibt zu hoch. Eine nachfolgende Erwärmung vermag zwar auch den Zeiger oder die Feder nicht sofort zu bewegen und wird dies erst nach gehörigem Steigen des Druckes thun; da die Zeiger oder die Feder aber einen um die Widerstandsgrösse des Volumeters geringeren Weg zurückzulegen haben, so wird ihr Werth genau der absoluten Erwärmung folgen. Die Erwärmungswerthe überwiegen.

Geht man von dem entgegengesetzten Zustande des Volumeters aus: es sei vor Erwärmung des Calorimeters Luft ausgesaugt worden, dann wird bei trägen Instrumenten die Ordinate für die erste Erwärmung zu klein, die Werthe für zeitweise Abkühlung jedoch werden richtig sein. Im Ganzen genommen wird der Ausschlag geringer sein, als der Erwärmung entspricht.

Um die Stellung der Volumeter genau zu markiren, hebt und senkt man dieselben zu Anfang und zu Ende des Versuchs und versetzt die Feder in pendelnde Bewegung. Man erhält dadurch auch jedesmal eine Controle für die Elevations- und Compressionsabscisse; der Unterschied derselben betrug bei meinem kleinen Volumeter 1,0 mm.

Da die rotirenden Cylinder nur 8—10 cm Höhe besitzen, tritt bei den Versuchen alsbald die Nothwendigkeit ein, Luft abzulassen. Auch bei dieser Procedur oder bei dem Anblasen während der Abkühlungsperiode muss auf die oben entwickelten Beziehungen Rücksicht genommen werden.

Die Berechnungen werden bei länger währenden Versuchen immer am besten für den Erwärmungs- wie Abkühlungszustand durchgeführt.

Ueber die dabei auftretenden Differenzen gibt uns folgende Tabelle Aufschluss, in welche ich einige mehrstündige Versuche über die Verbrennungswärme von Beleuchtungsmaterialien aufgenommen habe¹⁾:

Material	Durch Erwärmung des Apparates	Durch Abkühlung des Apparates
Leuchtgas	5,299	5,413
	5,107	5,024
	5,125	5,198
	4,799	4,821
	4,425	4,399
	5,534	5,451
Petroleum	10,134	10,522
	9,701	9,542
	10,066	9,924
	10,043	9,925
	9,392	9,371
	10,226	10,140
	10,260	10,527
	9,747	10,182
Paraffin	10,032	10,152
	9,667	9,515
	9,746	9,556
	9,496	9,483

Schwieriger gestalten sich die Verhältnisse bei sehr langgedehnten 22—23stündigen Versuchen, weil jede kleine Abweichung in den Verticalen bei der langen Ausdehnung der Curve (22 bis

1) S. Archiv f. Hygiene Bd. 10, a. a. O.

24 cm) planimetrisch sehr in's Gewicht fällt. 1 mm-Fehler entspricht 2,2—2,4 qcm Flächenwerth. Nachstehend folgt eine zwölf-tägige ununterbrochene calorimetrische Messung an einem kleinen, 4—5 Kilo schweren Hunde, die erste derartige, welche ich mit dem Calorimeter durchgeführt habe.

No.	Planimeter- zahl der Erwärmung	Planimeter- zahl der Abkühlung	Mittel- werth
1.	129,8	129,8	129,8
2.	128,9	125,7	127,3
3.	122,8	121,4	122,1
4.	119,8	123,3	121,5
5.	113,2	114,1	113,6
6.	120,9	120,9	120,9
7.	115,7	114,2	114,9
8.	112,3	113,4	112,8
9.	121,5	128,6	125,0
10.	127,4	126,9	127,1
11.	125,5	123,3	124,4
12.	136,4	139,4	137,9

Die Versuche mussten unter ausnehmend schwierigen Luftdruckverhältnissen, welche die planimetrische Messung sehr verwickelt machten, angestellt werden und zugleich repräsentiren die Planimeterzahlen nur sehr geringe Wärmegrößen, welche der unteren Grenze der zweckmässigen Verwendbarkeit des Calorimeters nahe liegen. Trotzdem sind die Abweichungen gering.

Nachdem wir den Correctionen in dem Vorhergehenden ausführliche Besprechung haben angedeihen lassen, ist es nothwendig, zu erweisen, ob die in 24 stündigen Versuchen zu gewinnenden Resultate eine genügende Genauigkeit besitzen.

Der bequemste und zugleich ebenso zuverlässige Weg zur Lösung der gestellten Frage ist der folgende.

Die Verwendbarkeit des Apparates zu Versuchen, welche sich über einen ganzen Tag erstrecken, hängt einzig und allein von der Genauigkeit der Aufschreibungen unserer beiden Volumeter ab. Diese lässt sich leicht darthun, wenn man während 24 Stunden Luftdruckcurven schreiben lässt und die Ergebnisse auf ihre Regelmässigkeit der Zahlen vergleicht.

Nachfolgende Tabelle enthält sechs dieser langwährenden Versuche und in 3—6 die maximalsten Schwankungen, die ich je beobachtet habe.

No.	Corrections- volumeter Planimeterfl.	Mantelraum- volumeter Planimeterfl.	Ver- hältniss	Höchster Wechsel des Barometers
1.	19,4	33,4	1,72	—
2.	29,1	50,0	1,73	+ 2,3
3.	50,0	88,5	1,77	+ 3,2
4.	50,7	90,0	1,77	— 7,0
5.	75,9	137,8	1,81	+ 6,6
6.	142,4	256,1	1,79	+14,8

Man sieht die Verhältnisszahlen geringe Differenzen aufweisen. Zur Prüfung der Genauigkeit der Methode für eine Versuchsdauer von 22—24 Stunden berechne ich aus der Correctionsplanimeterzahl durch Multiplication mit 1,78, wie viele qcm Fläche das Mantelraumvolumeter hätte anzeigen sollen, und setze die wirklich beobachteten Werthe nebenbei.

No.	Werth nach dem Cor- rectionsvol. berechnet	Mantelraum, Flächen- werth gefunden	Absolute Differenz
1.	33,4	34,5	+ 1,1
2.	50,0	51,8	+ 1,8
3.	88,5	88,5	0
4.	90,0	90,2	+ 0,2
5.	137,8	135,1	— 17
6.	256,1	253,5	— 2,6

Die unerheblichen Differenzen erweisen die Möglichkeit und grosse Genauigkeit der Versuche auch unter den allernünftigsten Verhältnissen grosser Correctionswerthe.

Die % Genauigkeit des Resultats hängt von der absoluten Grösse der zu bestimmenden Wärmemenge ab; je kleiner diese, um so schwerer fallen die absoluten Fehler in die Wagschale.

IV. Versuchsanordnung.

Nachdem jetzt alle Vorbedingungen erfüllt sind, welche eine Lösung unserer Aufgabe möglich machen, will ich kurz angeben, wie die Ausführung derselben gedacht wurde.

Es sollte verglichen werden, ob die in einem Thiere verbrannten Stoffe ebensoviel Wärmehalt besitzen, als von Seiten des Thieres Wärme nach Aussen abgegeben wird.

Zu diesem Behufe wird der Harn des Thieres tagweise gesammelt und direct mit dem Katheter entnommen. Die Blase nachgespült.

Der Koth wird in üblicher Weise bestimmt.¹⁾ Alle N-Bestimmungen sind nach Kjeldahl²⁾ ausgeführt.

Die ausgeathmete CO₂ wird jedesmal in der bereits früher mehrfach angegebenen Weise mittels des Respirationsapparates für 21 Stunden zusammen bestimmt, für 24 Stunden dann berechnet.³⁾ Mit dem Apparate sind Controlversuche über die Genauigkeit der Kohlensäurebestimmung durch Einleiten gewogener Kohlensäuremengen ausgeführt worden. Die letztere stammte aus reinem Natron bicarbonicum.⁴⁾

Die Wasserdampfmenge in der Luft wurde mittels Absorption in Kölbchen, die mit in concentrirter Schwefelsäure getränktem Bimstein gefüllt waren, ausgeführt. Auch für diese Methode wurde durch Verdampfen gewogener Wassermengen die Genauigkeit geprobt.

Wir sind also in der Lage, mit grösster Genauigkeit anzugeben, welche Stoffe in dem Körper unserer Versuchsthiere zersetzt wurden.

Die Nahrungszufuhr erfolgte nur einmal im Tage, nachdem das Körpergewicht genommen war, unmittelbar vor dem Betreten des Calorimeters; es ist nicht gleich, ob das Futter kalt oder warm

1) In einigen Fällen, weil belanglos, nach früheren Versuchen berechnet.

2) Die Zersetzung erfolgt mit rauchender. u. concentr. Schwefelsäure unter Zusatz von metallischem Quecksilber; letzteres wird nach der Verbrennung mit Schwefelnatrium abgeschieden.

3) Betreffs des C-Gehaltes von Harn und Koth siehe: Zeitschr. f. Biol. Bd. 19 S. 313 ff.

4) Calorimetr. Methode S. 26.

gereicht wird. Zumeist hatte Fleisch, Wasser etc. Zimmertemperatur oder war künstlich noch weiter erwärmt worden.

Die Wärme des Versuchsraumes konnte durch die Erwärmungs- und Abkühlungsvorrichtungen auf beliebiger bis auf $0,1^{\circ}\text{C}$. gleichbleibender Temperatur erhalten werden.

Die Ventilationsgrösse blieb auf eine gewisse Grösse annähernd gleich eingestellt und schwankt in allen Versuchen zwischen 20 und 30 cbm per 24 Stunden.

Die Bestimmung der von dem Thiere abgegebenen Wärme verlief bei meinen Versuchen in folgender Weise:

Der den Thierraum umgebende Luftraum führt nach einem kleinen Spirometer. In dem Wassermantel, welcher Thierraum und Luftmantel umgibt, ist der aus mehreren Kupfercylindern bestehende Correctionsapparat eingesenkt und gleichfalls mit einem kleinen Spirometer verbunden.

Das mit dem Luftraum des Thierraumes in Verbindung stehende Spirometer wird bewegt:

1. durch den Wechsel der Temperatur des ganzen Apparates (dieser pflegt = 0 zu sein),
2. durch die Luftdruckschwankungen,
3. durch die Wärmeabgabe des Thieres.

Der Correctionsapparat geräth in Thätigkeit:

1. durch den Wechsel der Temperatur des ganzen Apparates,
2. durch die Luftdruckschwankungen.

Die Schwankungen des Spirometers werden auf rotirende Cylinder aufgeschrieben; nach dem Versuch werden die von der Schreibfeder umrissenen Flächen planimetrisch ausgemessen, die Correctionsflächen von den Angaben des Mantelraumspirometers abgezogen, und nun als Ausdruck der producirten Wärme ein Flächenwerth erhalten.

Die Ausmessung der Curven erfolgt sowohl ausgehend vom Anfange des Versuchs „Erwärmungswerth“, als auch ausgehend vom Schlusse des Versuches „Abkühlungswerth“. Die beiden werden zum Mittel vereinigt.

Abgesehen von dem an das Calorimeter selbst übertragenen Wärmeantheil, wird ein Theil der Wärme mit der Ventilationsluft

verloren, und zwar durch Erwärmung derselben und in dem durch sie austretenden Wasserdampf.

Die Temperatur der in das Calorimeter eintretenden Luft schwankt nicht, da sie genau auf die Temperatur des völlig gleichwarmen Wassermantels angewärmt wird; die Temperatur der ein- wie austretenden Luft wird aber durch auf $0,02^{\circ}$ C. empfindliche Thermometer gemessen. Die Differenzen sind in den einzelnen Stunden recht unbedeutend. Spät Abends und zeitig Morgens wird die Temperatur erhoben und so das Nachtmittel gefunden.

Endlich muss der ausgeathmete Wasserdampf als flüssiges Wasser berechnet, d. h. die latente Wärme desselben der auf den anderen Wegen gefundenen hinzugezählt werden.

Diese Wasserdampfberechnung begegnet insofern einer gewissen Unsicherheit, als man für niedrige Lufttemperaturen, wie 10 — 25 oder 30° , wie sie zum Calorimeterversuch Anwendung finden, die wahre Verdampfungswärme des Wassers nicht kennt.

Ich habe mir die von Regnault erhobenen Werthe graphisch dargestellt und entnehme daraus, dass es am richtigsten sein dürfte, 1 g Wasser mit rund $0,6$ Cal. in Anrechnung zu bringen. In diesem Werthe ist die Correction für die Abkühlung des Wasserdampfes auf die Temperatur des Einstromes schon mit inbegriffen.

Die Bestimmung des Wasserdampfes kann nicht unterlassen werden¹⁾, weil die mit dem Wasserdampf abgegebene Wärme in keinem bestimmten Verhältniss zur Gesamtwärmeproduction oder zu der an das Calorimeter und die Ventilationsluft abgegebenen Wärme steht. Die an das Calorimeter übertragene Wärmemenge steht, wie ich zuerst gefunden habe, bei wechselnder Feuchtigkeit im umgekehrten Verhältniss zum Wärmeverlust durch Wasserdampfabgabe.

Die älteren Verfahren von Dulong und Depretz, die Ventilation gewaltsam einzuschränken und mit Wasserdampf gesättigte Luft einzuleiten und so den Wasserdampf im Calorimeter zu condensiren, sind absolut unzulässig. Die Thiere ertragen diesen abnormen Zustand wohl kürzere Zeit, aber nicht auf die Dauer.

1) S. die vorläufige Mittheilung in der Berl. klin. Wochenschrift. a. a. O.

Eine Quelle für die Wärmeausgabe kann in der Einführung kühler Nahrung gesehen werden; denn die Theile der Nahrung müssen, ehe sie den Körper verlassen, auf die Blutwärme gebracht werden.

Diese Art von Wärmeverlust ist bei den Thieren, speciell den Hunden, ganz unerheblich, solange diese eine sehr concentrirte Kost geniessen; sie fällt aber bei reiner Fleischkost, die meist noch Wasseraufnahme benöthigt, in's Gewicht, und sie stellt einige Procent des Gesamtwärmeverlustes dar.

Die Berechnung dieser Grösse ist aus verschiedenen Gründen nicht ganz genau; ich habe deshalb es vorgezogen, den Thieren gewärmtes Futter zu geben.

Des Experimentes wegen wechselte ich in einer Versuchsreihe mit kalter (5—11°) und warmer (35°) Nahrung ab.

Nach der Stoffzersetzung beurtheilt, sinkt durch kalte Kost die Wärmeproduction:

Cal. bei kalter Zufuhr	Cal. bei warmer Zufuhr
372,3	374,3.

Die Abkühlung des Körpers ist also erheblich. In recht hübscher Weise zeigte uns der calorimetrische Versuch die Wirkung kalter und warmer Kost. Bei kalter Kost war deutlich anfänglich eine geringere Wärmeabgabe vorhanden, wie normal, d. h. bei vorgewärmtem Futter.

Da wir aber erst die Werthe nach der ersten Stunde in Betracht ziehen, nachdem das Calorimeter ins Wärmegleichgewicht gekommen ist, so ist die Wirkung kalter und warmer Zufuhr bei dem calorimetrischen Versuch ganz und gar ausgeglichen und hat demnach von der Berechnung ausgeschlossen werden können.

Die Gesamtwärmeproduction erhält man also, wenn man die an das Calorimeter übertragene Wärme, ferner den Verlust mit der Ventilation und die latente Wärme des Wasserdampfes summirt.

Dies sind die einzigen in Frage kommenden Verluste an Energie, solange das Thier im Calorimeter sich befindet.

Ich füge nochmals hinzu, dass an äusserer Arbeit von Seiten des Thieres absolut nichts geleistet wurde;

es lag jeden Tag ruhig ausgestreckt auf dem Boden, gelegentlich setzte es sich aufrecht. Starke Erschütterungen des Apparates haben wir nie wahrgenommen.

Eine Fehlerquelle könnte noch darin gesucht werden, dass die Versuchsthiere ihre Normaltemperatur nicht immer festhalten.

Besonders bei kurzdauernden Versuchen muss man mit dieser Fehlerquelle unbedingt rechnen; einfache Messungen der Körpertemperatur geben keine volle Garantie für die Intactheit des Wärmervorrathes des Körpers. Die Unsicherheiten, welche sich daraus aber ableiten, lassen sich fast vollkommen eliminiren, wenn man volle Tagesversuche anstellt und wenn man die Vorsicht gebraucht, zu bestimmten Tageszeiten die Versuche zu beginnen und zu enden.

Auffallende Temperaturschwankungen habe ich bei Hunden nie eintreten sehen; es wurde mehrfach bei den Thieren die Mastdarmtemperatur gemessen. Wir haben nie eine Beobachtung gemacht, welche uns veranlasst hätte, den Schwankungen der Eigenwärme näher nachzugehen. Wenn also im Folgenden von diesen Dingen nicht weiter die Rede sein wird, so geschieht dies, weil dieselben keine weitere Bedeutung für unsere Fragen besitzen. Nachdem alle Vorfragen ausreichend besprochen sind, gehe ich an die nähere Mittheilung der Versuchsergebnisse. Ich hatte dieselben bereits im August 1889 fast ganz abgeschlossen und über die Resultate später in einer vorläufigen Publication berichtet¹⁾, auf welche hinsichtlich einiger Details und Nebenumstände hingewiesen sein mag. Bei der Ausführung der Versuche hat mich mein früherer Assistent Dr. E. Cramer in dankenswerther Weise unterstützt.

Mein Versuchsplan ging nach dem oben Mitgetheilten also dahin, unter genau bekannten Bedingungen der Stoffzersetzung, die man einzig und allein aus der Stickstoff- und Kohlenstoffausscheidung entnehmen kann, um genauestens die von einem Thiere erzeugte Wärme zu messen.

Was die mannigfachen Untersuchungen, welche von Physiologen über die Kohlensäureausscheidung und Wärmebildung angestellt wurden, beweisen und darthun sollen, ist mir unerfindlich.

1) Die Quelle der thierischen Wärme. Berl. klin. Wochenschr. 1891.

Wenn denn doch einmal erwiesen ist, dass die Kohlensäureausscheidung einen ganz verschiedenen calorischen Werth je nach der Art der sich zerlegenden Stoffe besitzt, so sollte man füglich von derartigen Experimenten, die nur den Anschein einiger Exactheit an sich tragen, absehen, solange man nicht im Stande ist, von der Stoffzersetzung selbst etwas genaueres auszusagen.

Die Zersetzungsvorgänge, welche ich näher verfolgt habe, beziehen sich auf den Hunger, auf Fettzufuhr, Fett- und Fleischzufuhr und reine Fleischzufuhr.

Das Schwergewicht aller von mir ausgeführten Untersuchungen ist darin zu suchen, dass zur nämlichen Zeit alle biologischen Factoren erhoben wurden: die Stoffzersetzung und die Wärmebildung und Wasserverdampfung; und nicht zum Geringsten in dem Umstande, dass nicht Theilstücke des thierischen Stoffumsatzes, sondern alle für die Erkenntniss der Stoffzersetzung nothwendigen Werthe festgestellt wurden.

V. Die Experimente.

1. Der Hungerzustand.

Den Hungerzustand pflegt man als den einfachst gelagerten Zustand der Stoffwechselfvorgänge zu betrachten. Diejenigen Stoffe, welche der Zerstörung unterliegen, sind das Eiweiss der Organe und das Fett der Fettzellen; wenn wir einen normalen Organismus vor uns haben, wird in ganz überwiegendem Maasse Fett zersetzt. Bis zu 90 % der frei werdenden Calorien können dem Fette dabei entstammen.

Folgt der Hunger einer längeren Fütterungsperiode, so findet sich im Körper neben Fett noch ein Reservestoff abgelagert, der besonders in der ersten Hungerzeit zerfällt: das Glykogen.

So einfach die Verhältnisse nach den Grundsubstanzen gelagert sind, welche zur Verbrennung kommen, so schwierig ist es, die Stoffzersetzung, welche diese drei Körper genau angeben würde festzustellen.

Wohl kann man mit aller Bestimmtheit sagen, wie viel N ausgeschieden wird, und auch wie viel Eiweiss zerlegt wird. Ich habe

darzuthun versucht, wie die Natur dieses Eiweissgemenges beschaffen sein dürfte, und welcher Verbrennungswerth für dasselbe anzunehmen sei.

Unmöglich aber ist auf Grund des Respirationsversuches zu entscheiden, wie viel von dem auf die N-freien Stoffe treffenden C auf Fett oder Kohlehydrat zu rechnen wäre. Theoretisch möglich zu lösen wäre die Aufgabe, wenn man die Menge des verzehrten Sauerstoffes wüsste. Da für 1 C berechnet bei Fetten und Kohlenhydraten verschiedene Quantitäten Sauerstoffs aufgezehrt werden, würden sich Differenzen zeigen müssen. Praktisch erweist sich der Versuch nicht exact ausführbar, weil die Sauerstoffbestimmung mit gewissen Fehlern behaftet ist, und die in Frage kommenden Differenzen nur kleine sein können.

Es wird uns aber der calorimetrische Versuch einen vollkommenen Entscheid der Frage, welche wir eben angedeutet haben, bringen können.

Zu meinen vergleichenden Messungen der Stoffzersetzung und Wärmebildung benützte ich zwei Hunde, von welchen der eine, kleinere, fünf Tage, der andere, grössere, zwei Tage hungerte. Weit vorgeschrittene Hungerzeiten zu vergleichen, lag nicht in meinem Wunsche; die calorimetrisch interessanten Vorgänge spielen sich wesentlich zu Anfang der Hungerzeit ab.

An dem der Hungerperiode vorhergehenden Tage wurden den Thieren Knochen gegeben; im Grunde genommen, dürfte man auch diesen „Knochentag“ als Hungerzeit rechnen, da ich den Thieren zumeist so wenig der zur Kothabgrenzung bestimmten Substanz zu reichen pflege, dass die dargebotenen organischen Substanzen keine nennenswerthe Zufuhr darstellen.

a) Die Stoffzersetzung.

Der Hund wog zu Beginn des 2. Tages 4610 g, zu Beginn des 5. Tages 4350 g. Vom ersten Tage ab fällt die N-Ausscheidung im Harn (siehe d. Tabelle S. 119), wie das die Regel ist, und was auf das circulirende Eiweiss in Rechnung gestellt wird. In den nächstfolgenden Tagen hielt sich die Eiweisszersetzung sehr constant. Der Fettkohlenstoff zeigt am 1. Tage, als noch reichliches Eiweiss zur

Verbrennung vorhanden war, einen kleineren Werth als am 2. Tage, sinkt aber vom 3. Tage weiter ab. Die Gesamtwärmeproduction lässt den im Hungerzustande üblichen allmählichen Abfall erkennen.

Der grosse Hund wog vor dem Versuch 12,0 kg, am Schlusse des 2. Hungertages 11,25 kg. Die Eiweisszersetzung hält sich am 1. und 2. Tage gleich. Es muss also wenig Eiweiss von der vorhergehenden Nahrung (vor dem „Knochentag“) vorhanden gewesen sein. Der Abfall des Fettkohlenstoffes zeigte sich schon am 2. Tage, die berechnete Gesamtwärmeproduction nimmt nicht ganz unerheblich ab.

Datum	Zufuhr	Gesamt-N-Ausscheidung	Fett-Kohlenstoff	Wärme aus Eiweiss	Wärme aus Fett	Summe d. Cal. pro 24 St.
16. Oct. 1889	Hunger	3,06	16,38	77,0	201,5	278,5
17. " "	"	1,12	20,37	28,0	250,9	278,9
18. " "	"	1,00	18,89	25,0	232,5	257,5
19. " "	"	0,86	17,60	21,5	216,4	237,9
20. " "	"	1,08	17,60	27,0	216,4	243,5
9. Feb. 1890	"	3,50	38,31	87,5	471,1	558,6
10. " "	"	3,51	36,17	87,7	444,6	532,6

Bei der Feststellung der Hungerzersetzung durch Rechnung könnte man an zwei Fehlerquellen denken.

Es könnte die Berechnung des zersetzten Eiweisses ungenau sein, wenn etwa das Mehr an N, das den späteren Tagen gegenüber sich zeigt, zum Theil auf eine Mehrausgabe von N-haltigen Zersetzungsproducten bezogen werden müsste. Dieser Einwand scheint durch die bekannten Leimfütterungsversuche Voit's widerlegt.

Weiters liesse sich annehmen, dass in den ersten Hungertagen nicht allein Fett, sondern auch Glykogen zerlegt wird; dann sind wir also nicht berechtigt, den nach Abzug des Eiweisses verbleibenden C-Antheil als Fettkohlenstoff anzusprechen.

Da nun die Verbrennungswärme des C im Kohlehydrat 9,5 Cal, im Fett aber 12,3 Cal. beträgt¹⁾, so kann dies bei dem Umstande,

1) Calor. Unters. S. 363.

dass der Fettkohlenstoff beim Hungernden die Hauptquelle der Wärme darstellt, eine nicht unerhebliche Fehlerquelle darstellen. Vermindert wird ihr Einfluss dadurch, dass man den Reihen im allgemeinen einen Hungertag vorausgehen lässt, und dass man erst die folgenden Hungertage zu Stoffwechseluntersuchungen heranzieht.

Die nachfolgenden Wärmemessungen werden einen Entscheid bringen, ob irgend in nennenswerthem Grade derartige Fehlerquellen bestanden haben und ob Zersetzung und Wärmeproduction sich vollständig decken.

b) Calorimetrische Messung.

Die calorimetrische Messung zeigt bezüglich der direct ans Calorimeter übertragenen Wärme keine allzu grosse Regelmässigkeit. Dies rührt von dem Umstande her, dass ich bei dieser Reihe abwechselnd feuchte und trockene Luft in's Calorimeter strömen liess. In umgekehrtem Sinne, wie die Angaben des Calorimeters, schwanken die ausgeschiedenen Wasserdampfmengen.

Die Gesamtwärmemenge fiel während der Hungerperiode allmählich, wie dies auch die berechnete Wärmemenge ergeben hatte.

Bei dem grossen Hunde ist vom 1. zum 2. Hungertage der Abfall wahrzunehmen.

Vergleicht man die berechnete Gesamtwärmeproduction der Zersetzung und bei calorimetrischer Messung nachfolgender Tabelle so ergibt sich:

Datum	Zufuhr	Wärme an das Cal.	Venti- lations- verlust	Wasser- ver- dunstung	Summe der Cal. pro 24 Stunden
16 Oct. 1889	Hunger	213,2	17,6	45,9	276,8
17. " "	"	235,2	17,4	22,1	274,7
18. " "	"	189,1	15,8	55,2	260,1
19. " "	"	216,7	12,8	6,9	236,4
20. " "	"	213,6	9,6	33,9	257,1
9. Febr. 1890	"	394,4	32,1	109,8	536,3
10. " "	"	388,9	32,7	98,6	520,3

Gewicht des kleinen Hundes: 4,6 kg, des grossen: 11,7 kg.

Datum	Wärmewerth der Zer- setzung pro 24 Stunden	Wärmeproduction, calori- metrisch bestimmt
16. Oct. 1889	278,50	276,78
17. " "	278,90	274,73
18. " "	257,50	260,13
19. " "	237,90	236,42
20. " "	243,50	257,07
9. Febr. 1890	558,60	536,30
10. " "	532,60	520,27

In der ersten Hungerreihe am kleinen Hunde sind die Differenzen zwischen Rechnung und calorimetrischer Messung sehr unerheblich und betragen durchschnittlich nur wenige Calorieen. Die grösste Differenz fand sich am 5. Tage mit 13,5 Calorieen.

Die procentuale Abweichung beträgt nur 5,5 %.

Die beiden Bestimmungsmethoden können im Allgemeinen als gleich angesehen werden.

Die Summe der 5 Tage zeigt:

Berechnung nach dem Stoffverbrauch 1296,3 Cal.,
calorimetrische Messung 1305,2 "

d. i. ein Ueberschuss von + 0,69 % auf Seite der letzteren.

Bei dem grossen Hunde war die Berechnung der Wärme grösser als die direct gefundene; am ersten Tage um 4,1 %, am zweiten um 2,3 %.

Die Summe der berechneten Wärme war 1091,2 Cal.,
die calorimetrische Messung 1056,6 "

d. i. — 3,15 %.

Wenn nicht andere Ursachen der Grund gewesen sind, so spräche dieses Resultat für eine gewisse Verbrennung von C aus Kohlehydrat neben Fett.

Aus dem 1. Tage liesse sich berechnen, dass

$$\begin{array}{rcl}
 31,1 \times 1,3 & = & 40,4 \text{ g Fett} & = & 372,7 \text{ Cal. und} \\
 7,2 \times 2,25 & = & 16,4 \text{ " Glykogen} & = & \underline{76,0} \text{ " verbrannt sind} \\
 & & & & 448,7 \text{ "} \\
 & & & + & \underline{87,5} \text{ Eiweiss-Cal.} \\
 & & & & 536,2 \text{ Cal.} = \text{der calori-} \\
 & & & & \text{metrischen Messung.}
 \end{array}$$

Am nächsten Tage würde diese Menge bereits auf etwa die Hälfte abgesunken sein.

Aus den vorliegenden Versuchen würde sich also eine genäherte Vorstellung über die Quantität des zur Verbrennung gelangenden Glykogens ableiten lassen; wohl möglich, dass unter gewissen Verhältnissen Ablagerung und Verbrennung desselben noch bedeutender werden können.

Die absoluten Fehler, welche für die Wärmeberechnung dadurch entstehen können, sind keine sehr erheblichen, weil ja nicht die Gesamtmenge von Glykogen als neu verbrannt hinzuzurechnen ist, sondern das entsprechende C-Aequivalent bei der Fettzersetzung in Abzug kommt; am 2. Tage wurden um 2,3 % mehr Wärme berechnet, als thatsächlich nach Aussen hin abgegeben wurden.

2. Nahrungszufuhr nach Hunger.

Die Nahrungszufuhr nach Hunger mit rapidem Uebergang zu reichlicher Fütterung verdient eine gewisse Beachtung. Ich habe daher im Anschluss an die 5 tägige Hungerreihe dem kleinen Hunde 390 g Fleisch gereicht, die er mit Begierde verzehrte.

Unter Beifügung der Werthe für den 5. Hungertag zeigt uns die Stoffzersetzung ein rapides Ansteigen der berechneten Wärme-production, desgleichen auch das Ansteigen der Wärmebestimmung mit dem Calorimeter.

Datum	Zufuhr	Gesamt-N-Ausscheidung	Fett-Kohlenstoff	Wärme aus Eiweiss	Wärme aus Fett	Summe der Cal. pro 24 St.
20. Oct. 1889	Hunger	1,08	17,60	27,0	216,4	243,5
21. " "	390 g Fleisch	8,53	8,79	221,6	108,2	329,9

Datum	Zufuhr	Wärme an das Calor.	Ventilationsverlust	Wasserverdunstung	Summe der Cal. pro 24 St.
20. Oct. 1889	Hunger	213,6	9,6	33,9	257,1
21. " "	390 g Fleisch	272,7	10,9	50,3	333,9

Die für den Fleischtag berechnete und die direct bestimmte Gesamtwärmeproduction ergeben gleiche Grössen.

Da 390 g Fleisch 13,3 g N liefern sollen, aber nur 8,53 g in den Ausscheidungen kamen, ist zunächst ein erheblicher Theil Eiweiss aufgespeichert geblieben.

Obschon das Eiweiss allein ausgereicht haben würde, alle Bedürfnisse des Thieres zu decken, wurde doch noch Fett vom Körper abgegeben.

Die Steigerung der Wärmeproduction am Fleischfütterungstage drückte sich für die einzelnen Arten der an das Calorimeter übertragenen Wärme recht verschieden aus.

Die an das Calorimeter übertragene Wärme war um 27,7%, die mit der Ventilation verlorene Wärme um 12,5% und die mit dem Wasserdampf verlorene um 48,1% gestiegen; ein bemerkenswerthes Beispiel für das Regulationsmittel, welches der Organismus anwandte, um die überschüssige, durch abundante Kost erzeugte Wärme los zu werden.

3. Fettzufuhr.

In ihrem stofflichen Verlaufe sind Versuche mit Fettzufuhr im Allgemeinen wenig different von reinen Hungerversuchen; das Nahrungsfett tritt in gleichen Gewichtsmengen für das im Hunger zerstörte Körperfett ein. Unter gewissen Bedingungen variirt in etwas die Eiweisszersetzung.

An dem kleinen Hunde wurde eine 5tägige Reihe ausgeführt.

a) Die Stoffzersetzung.

Gewicht des Hundes	3. April	4980
" " "	4. "	4870
" " "	5. "	4800
" " "	6. "	4830
" " "	7. "	4800.

Er nimmt zwischen 20—150 ccm Wasser täglich und 40 g Speck auf. Die Stickstoffausscheidung des Thieres nahm von Tag zu Tag etwas zu, was in der Regel nicht eintreten pflegt. Die Fettzersetzung verhielt sich ausserordentlich gleich. Die berechnete

Gesamtwärmeproduction war bis auf den 3. Versuch fast vollkommen übereinstimmend. Die Fettfütterung war überreichlich und ein ständiger Ansatz von Fett vorhanden.

Datum	Zufuhr	Gesamt-N-Ausscheidung	Fett-Kohlenstoff	Wärme aus Eiweiss	Wärme aus Fett	Summe der Cal. pro 24 St.
3. April 1890	40 g (Fett)	0,90	22,6	22,5	278,4	300,9
4. " "	"	1,12	21,6	27,6	266,6	293,2
5. " "	"	1,24	24,2	31,0	282,0	313,0
6. " "	"	1,78	20,7	44,5	255,1	300,7
7. " "	"	1,59	21,4	39,7	263,4	302,1

Bei dieser Reihe wurde das Thier unmittelbar vor dem Eintritt in's Calorimeter gewogen, nachdem es das Futter aufgenommen hatte, und unmittelbar, nachdem es den Apparat verliess, bezw. nach erfolgter Katheterisirung.¹⁾

Summirt man zu dem Endgewicht das Gewicht der ausgeathmeten Kohlensäure und des Wasserdampfes und zieht davon das Anfangsgewicht ab, so verbleibt das Gewicht des aufgenommenen Sauerstoffs.

Das Thier wurde auf einer gut gehenden Decimalwage gewogen.²⁾ Aus der Menge des zersetzten Eiweisses und Fettes lässt sich die zur Verbrennung nothwendige Sauerstoffmenge berechnen. Man erhält:

Berechnete Menge ³⁾ von Sauerstoff	Gefundene Sauerstoffmenge
75,0	65,7
74,5	79,9
82,9	79,9
77,6	90,5
78,0	81,6
<u>Summa 388,0</u>	<u>397,6.</u>

Die Differenzen beruhen auf unvermeidlichen Fehlern, das Mittel ergibt im Ganzen um 2,4% mehr Sauerstoff als nach der Rechnung.

1) Das Harngewicht wird dem Körpergewicht zugezählt.

2) 0,5 g Belastung geben einen bemerkbaren Ausschlag = 5 g.

3) Hierzu ist die Zusammensetzung des Muskelfleisches zu Grunde gelegt.

b) Calorimetrische Messung.

Der calorimetrische Versuch verlief mit demselben gleichheitlichen Resultate wie die Stoffzersetzung, nur am 3. Tage, möglicherweise durch Unruhe des Thieres veranlasst, kam etwas mehr Wärme. An diesem Tage waren am Schlusse des Versuches 0,5 g Koth im Calorimeter, und der Hund entleerte sofort nach dem Verlassen des Apparats Koth. Er war also offenbar die letzte Zeit vor Schluss des Versuches etwas aufgeregter und hatte Stuhl drang.

Die berechnete und die direct bestimmte Wärme stimmten an allen Tagen bis auf wenige Calorien überein. Die grösste Differenz zeigte der 5. Versuchstag mit wenig mehr als 3%.

Die Gesamtsumme der berechneten und der bestimmten Wärme verhält sich wie 1510,1 : 1495,3; ist demnach identisch.

Datum	Zufuhr	Wärme an das Calor.	Ventilationsverlust	Wasserverdunstung	Summe der Calor. pro 24 Stunden
3. April 1890	40 g Fett	235,8	11,06	55,8	302,7
4. " "	"	227,4	11,8	51,5	290,7
5. " "	"	241,4	10,6	59,2	311,2
6. " "	"	236,2	8,2	55,2	299,6
7. " "	"	235,8	5,9	50,2	291,9

Gewicht: 4,980 kg. Zufuhr: 40 g Fett.

Datum	Wärmewerth der Zersetzung pro 24 Stunden	Wärmeproduction, calorimetrisch bestimmt
3. April 1890 . . .	300,96	302,66
4. " " . . .	298,24	290,70
5. " " . . .	313,02	310,47
6. " " . . .	300,72	299,60
7. " " . . .	302,13	291,89

4. Versuch mit Fleisch und Fett.

30. Juli bis 10. August 1889.

Der kleine Hund, welcher zu einer grossen Zahl von Versuchen benützt wurde, diente auch zu dieser Reihe. Das Thier erhielt täglich 80 g frisches Fleisch und 30 g Speck, was zusammen

einem Verbrennungswerth von rund 368 Cal. ausmacht und für den damaligen Zustand des Thieres abundant zu nennen war.¹⁾)

Das Gewicht des Thieres betrug vor der Aufnahme des Futters

30. Juli 1889	4980 g
1. August „	5000 „
2. „ „	4880 „
3. „ „	4870 „
4. „ „	4850 „
5. „ „	4870 „
6. „ „	4880 „
7. „ „	4870 „
8. „ „	4800 „
9. „ „	4780 „
10. „ „	4810 „

a) Die Stoffzersetzung.

Ueber die Stoffzersetzung gibt die beifolgende Tabelle vollkommen ausreichenden Aufschluss.

Die Stickstoffausscheidung hob sich nach den ersten Tagen, um sodann nahezu eine gleiche Grösse zu behalten. Wenn die allgemein giltigen N-Zahlen auch für das verwendete Marburger Fleisch Giltigkeit haben, so wäre das Thier mit 2,72 N-Ausscheidung im Gleichgewicht gewesen. Diese Grösse erreicht die N-Ausscheidung im Harn und Koth fast genau. Die Fettkohlenstoffmenge fiel von den beiden ersten Tagen ab in etwas, um später sich wieder zu heben und dem Gleichgewichte sich zu nähern.

Legt man als Kohlenstoffgehalt von fetthaltigem Muskelfleisch das 3,68fache des Stickstoffs zu Grunde, und für das Fett = 76,5% C, so wären rund 32,9 g C entsprechend dem Kohlenstoffgleichgewicht gewesen.

1) Das Fleisch enthielt am 30. Juli 1889 26,6 % Trockensubstanz
 3. Aug. „ 23,4 % „
 7. „ „ 24,2 % „
 im Mittel 24,7 %,

was den an anderen Orten gemachten Erfahrungen entspricht.

Datum	Zufuhr	Gesamt-N-Ausscheidung in 24 St.	Fett-Kohlenstoff in 24 St.	Wärme aus Eiweiss	Wärme aus Fett	Summe der Cal. in 24 St.
30. Juli 1889	50 g Fleisch.	2,12	22,20	53,0	273,2	326,2
31. " "	30 g Fett	2,32	21,82	60,3	268,5	328,8
1. Aug. "	"	2,65	19,01	68,9	234,1	303,4
2. " "	"	2,64	19,80	68,6	244,3	312,9
3. " "	"	2,63	18,77	68,3	228,6	296,9
4. " "	"	2,64	19,21	68,6	236,3	304,9
5. " "	"	2,61	18,63	67,8	229,3	297,1
6. " "	"	2,62	18,54	68,2	228,0	296,2
7. " "	"	2,63	23,77	68,3	292,4	360,7
8. " "	"	2,57	25,93	66,9	319,3	386,2
9. " "	"	2,51	24,28	65,2	298,6	363,8
10. " "	"	2,79	27,91	65,0	343,3	408,3

Die Gesamt-C-Ausscheidung des Thieres (Harn, Koth, Respiration) war:

30. Juli	32,1	5. August	27,2
31. "	29,4	6. "	27,1
1. August	27,7	7. "	32,4
2. "	28,5	8. "	34,2
3. "	27,2	9. "	32,5
4. "	27,8	10. "	36,1

Vom 6. August ab stellte sich das Thier vollkommen ein; an den vorhergehenden Tagen brachte es eine gewisse Menge von Fett an dem Organismus zur Ablagerung. Die Reihe bringt also für den Gesichtspunkt des Stoffverbrauchs verschiedene Zustände zum Ausdruck.

Die Gesamtwärmeproduction schwankt bis zum 6. August nur um wenige %, von da ab setzt sich das Thier unter vermehrter Wärmeproduction rasch auch in das Spannkraftgleichgewicht mit der Kost.

b) Die calorimetrische Messung.

Die calorimetrische Messung, deren Detailangaben die folgende Tabelle bringt, schwankt in ähnlicher Weise, wie wir es für die Stoffzersetzung gesehen haben; doch dürfte wohl zu bemerken sein, dass das schliessliche Ansteigen der Wärmeproduction und

Datum	Zufuhr	Wärme an das Calorim.	Venti- lations- verlust	Wasser- ver- dunstung	Summe der Cal. pro 24 St.
30. Juli 1889 .	80 g Fleisch.	247,7	15,4	63,0	326,8
31. " " .	30 g Fett	247,7	15,4	62,6	325,2
1. Aug. " .	"	236,2	15,4	54,9	306,5
2. " " .	"	235,4	17,0	60,6	312,9
3. " " .	"	219,8	16,0	61,1	296,9
4. " " .	"	234,2	15,0	52,7	301,9
5. " " .	"	222,8	15,7	53,6	292,1
6. " " .	"	218,4	15,7	64,0	298,2
7. " " .	"	242,1	16,3	101,2	359,6
8. " " .	"	246,7	16,3	115,9	378,9
9. " " .	"	240,9	15,8	100,7	357,4
10. " " .	"	266,7	14,7	121,2	402,6

das Erreichen des „Spannkraftgleichgewichtes“ nicht durch Abgabe von Wärme an's Calorimeter und die Ventilationsluft erfolgte, sondern im Wesentlichen durch vermehrte Wasserdampfabgabe. Der Wärmewerth dieser schwankte bei gleichmässiger Fütterung um nicht weniger als 52,7 bis 121,2 Cal., d. h. um über das Doppelte. Man wird daraus auch wieder die wichtige Rolle der Wasserverdampfung erkennen und sich überzeugen, dass ohne die Bestimmung dieses Factors eine calorimetrische Messung nur geringen Werth besitzt.

Gewicht: 5,09 kg. Zufuhr: 80 g Fleisch, 30 g Fett.

Datum	Wärmewerth der Zer- setzung in 24 Stunden	Wärmeproduction calori- metrisch bestimmt
30. Juli 1889 . . .	326,2	326,1
31. " " . . .	328,8	325,2
1. Aug. " . . .	303,4	306,5
2. " " . . .	312,9	312,9
3. " " . . .	396,9	296,88
4. " " . . .	304,9	301,88
5. " " . . .	297,1	292,10
6. " " . . .	396,2	298,20
7. " " . . .	360,7	359,60
8. " " . . .	386,2	378,98
9. " " . . .	363,8	357,43
10. " " . . .	408,3	402,62

Die Wärmeproduction geht bis zum 8. Tage sehr regelmässig weiter und steigt dann nahezu plötzlich an.

Die Vergleichung von Wärmeberechnung und Wärmemessung bleibt Tag für Tag fast ganz identisch, d. h. sie schwankt, wie wir es bis jetzt gesehen, um wenige Calorieen. Man kann unmöglich eine bessere Uebereinstimmung erwarten; diese Reihe war die erste, welche ich ausgeführt habe.

Bei gleicher Fütterung wurde etwa nach einer Woche der Versuch wiederholt. Das Gewicht des Hundes war am:

19. August	4810	23. August	4830
20. „	4710	24. „	4830
21. „	4810	25. „	—
22. „	4830	26. „	4830.

Ausser Fleisch¹⁾ und Speck nahm der Hund 85 bis 200 ccm Wasser auf.

a) Die Stoffzersetzung.

Der Hund stellte sich sehr rasch auf ein Stickstoffgleichgewicht ein, welches aber etwas höher war wie jenes im vorhergehenden Versuche. Die Fettzersetzung des 1. Tages war hoch, an den übrigen Tagen fast nicht schwankend; die grössere Fettzersetzung war wohl auf Unruhe des Thieres zurückzuführen.

Datum	Zufuhr	Gesamt-N-Ausscheidung für 24 St.	Fett-Kohlenstoff	Wärme aus Eiweiss	Wärme aus Fett	Summe der Cal. pro 24 St.
19. Aug. 1889	80 g Flsch.	2,86	22,0	74,3	271,5	345,8
20. „ „	30 g Fett	3,01	18,9	78,3	238,4	311,6
21. „ „	„	2,95	19,4	76,7	239,5	306,3
22. „ „	„	3,07	17,5	79,7	216,2	295,9
23. „ „	„	2,98	19,0	77,5	234,3	311,8
24. „ „	„	3,01	18,4	78,4	226,9	305,3
25. „ „	„	2,98	18,3	77,4	225,3	302,7
26. „ „	„	2,80	19,5	72,6	240,6	313,0

1) Die Trockensubstanz vom 19. August war 26,57 %
 23. „ „ 23,72 %.

Die Gesamt - C - Ausscheidung betrug an den einzelnen Tagen in g:

31,43	28,80
28,83	28,32
20,13	28,07
27,60	28,68.

Da der C-Werth der Aufnahme etwa 32,2 g C entspricht, so hat das Thier während der ganzen Zeit Fett am Körper abgelagert.

Eine völlige Einstellung, wie in dem vorhergehenden 12tägigen Versuch, zeigte sich nicht; sie ist in letzterem Falle übrigens erst nach Ablauf von 8 Tagen zu beobachten gewesen.

Die berechnete Gesamtwärmeproduction war vom 1. Tag abgesehen wieder von typischer Gleichmässigkeit.

b) Die calorimetrische Messung.

Die calorimetrische Messung lehnt sich in ihrem Ergebnisse enge an den Stoffwechselversuch an. Ein Maximum der Wärmebildung lässt der 1. Tag der Reihe erkennen. Er ist im Wesentlichen durch vermehrte Wasserdampfausscheidung entstanden, wenschon die an das Calorimeter und an die Ventilationsluft abgegebene Wärme gleichfalls etwas erhöht erscheint.

Im Uebrigen wechselt die Wärmebildung fast nicht. Die berechnete Gesamtwärmeproduction und die direct gemessene differiren so wenig, dass wir uns auf die Mittheilung der Zahlen beschränken können, und jede weitere Besprechung unnöthig ist.

Datum	Zufuhr	Wärme an das Calorim.	Ventilationsverlust	Wasserverdunstung	Summe der Cal. pro 24 St.
19. August 1889	80 g Fleisch.	238,7	16,0	91,2	345,9
20. " "	80 g Fett	224,2	15,4	69,5	306,1
21. " "	"	219,0	14,8	68,4	302,2
22. " "	"	220,2	15,5	56,3	292,0
23. " "	"	235,6	14,5	65,2	315,3
24. " "	"	229,4	14,0	61,7	305,1
25. " "	"	232,4	13,5	57,1	303,0
26. " "	"	239,0	14,5	64,8	318,3

Gewicht: 4,810 kg. Zufuhr: 80 g Fleisch, 30 g Fett.

Datum	Wärmewerth der Zer- setzung in 24 Stunden	Wärmeproduction, calori- metrisch bestimmt
19. August 1889 . . .	345,8	345,90
20. " " . . .	311,6	306,10
21. " " . . .	306,3	302,20
22. " " . . .	295,9	292,04
23. " " . . .	311,8	315,32
24. " " . . .	305,3	305,08
25. " " . . .	302,7	303,02
26. " " . . .	313,0	318,30

5. Eiweisszufuhr.

Bei dem hungernden oder dem mit Fett gefütterten Thiere be-
theiligt sich das Eiweiss nur in einem geringen Procentverhältniss
an der Wärmeproduction. Es war also eine wichtige Aufgabe, durch
Darreichung von Eiweiss den Verbrauch des letzteren anzuregen;
nur dann konnte der wichtigen Frage näher getreten werden, ob
wir bisher die Verbrennungswärme des Eiweisses auf Grund meiner
Untersuchungen richtig berechnet haben oder nicht. Da ich schon
oben diese Streitfragen eingehend zu behandeln Gelegenheit hatte,
sei darauf kurz verwiesen.

Als eiweissartiges Material benützte ich Fleisch, das sorgfältig
von gröberem Fett und Bindegewebe gereinigt worden war; es ist
dies übrigens für diese Versuche von ganz nebensächlicher Bedeutung.

a) Der Stoffverbrauch.

Der erste Versuch wurde an dem kleineren Hunde angestellt.
Nach vorhergehender Knochenfütterung erhielt er 350 g Fleisch
täglich, vom 2. Tage ab mit je 100 ccm Wasser. Das Futter wie
Wasser wurde abwechselnd warm (35°) und kalt gereicht (5—11°),
um den Einfluss dieses Factors zu verfolgen.

Das Gewicht war:

18. November	4860
20. " "	5070
23. " "	5300

Der Hund setzte sich vom ersten Tag ab annähernd in ein gewisses Eiweissgleichgewicht, hatte es aber am letzten Versuchstag noch keineswegs vollkommen erreicht, so dass neben Fleisch noch Fett zersetzt wurde.

Die Gesamtwärmeproduction berechnet verlief recht gleichmässig. An den mit * bezeichneten Tagen wurde das Futter kalt gegeben. Irgend ein beträchtlicher Einfluss ist, wie schon erwähnt, nicht zu erweisen. Die Eiweisszersetzung lieferte etwa $\frac{2}{3}$ der Gesamtwärmeproduction.

Datum	Zufuhr	Gesamt-N-Ausscheidung	Fett-Kohlenstoff	Wärme aus Eiweiss	Wärme aus Fett	Summe der Cal. in 24 St.
18. Nov. 1889	350 g Fl.	10,10	9,7	262,0	122,1	384,1
19. " "	"	9,58	9,5	249,1	117,6	366,6*
20. " "	"	10,10	9,0	262,9	111,1	374,0
21. " "	"	10,20	8,6	265,5	106,0	371,5*
22. " "	"	10,26	8,8	266,2	107,8	374,5
23. " "	"	10,38	8,8	269,9	109,1	378,9*

b) Der calorimetrische Versuch.

Die calorimetrische Messung lässt während der 6 Versuchstage vollkommene Gleichheit der Wärmebildung wahrnehmen, die Schwankungen bewegen sich innerhalb weniger Calorieen.

Vergleicht man Wärmeberechnung und Wärmemessung, so bewegen sich die Differenzen innerhalb derselben Grenzen, wie wir sie bereits zu wiederholten Malen haben auftreten sehen, und auch hier sind wir wie der zur Annahme berechtigt, dass Wärmeberechnung und Wärmemessung sich decken.

Das Gesamtergebnis der directen Wärmemessung differirt nur um 1,2% von der Berechnung; eine derartige Uebereinstimmung wäre unmöglich, wenn die von mir aufgestellten Verbrennungswärmen des Eiweisses unrichtige, d. h. zu niedrige wären. Die Versuche bestätigen mit Evidenz den meinerseits zuerst vertretenen Werth des physiologischen Nutzeffectes der Eiweissstoffe.

Datum	Zufuhr	Wärme an das Calorim.	Ventilationsverlust	Wasserverdunstung	Summe der Calor. pro 24 St.
18. Nov. 1889	350 g Fleisch.	286,6	20,5	66,4	373,5
19. " "	"	300,4	22,5	57,3	380,2
20. " "	"	290,9	22,3	67,3	380,5
21. " "	"	294,8	22,3	62,9	380,0
22. " "	"	281,6	19,4	70,4	371,4
23. " "	"	299,0	18,3	73,9	391,2

Körpergewicht: 4,860 kg. Zufuhr: 350 g Fleisch.

Datum	Wärmewerth der Zersetzung in 24 Stunden	Wärmeproduction, calorimetrisch bestimmt
18. Sept. 1889 . . .	384,14	373,54
19. " " . . .	366,64	380,23
20. " " . . .	374,01	380,51
21. " " . . .	371,45	379,96
22. " " . . .	374,59	371,44
23. " " . . .	378,95	391,19

Wegen der Wichtigkeit des Ergebnisses stellte ich später noch eine Reihe an dem grösseren Hunde an.

Das Thier wog

am 11. April 11,35 kg

" 17. " 11,60 "

Er nahm am 1. Tage 580 g Fleisch auf mit 300 ccm Wasser, später weniger Wasser.

Das Thier stellte sich sehr rasch ins Stickstoffgleichgewicht.

a) Stoffzersetzung.

Neben Eiweiss wurde noch Fett zersetzt. Die Gesamtwärmebildung zeigt eine fortschreitende Zunahme, wengleich dieselbe nicht erheblich genannt werden kann.

Datum	Zufuhr	Gesammt-N-Ausscheidung	Fett-Kohlenstoff	Wärme aus Eiweiss	Wärme aus Fett	Summe der Cal. pro 24 St.
11. April 1890	580 g Fl.	18,75	14,6	487,1	179,4	666,5
12. " "	"	17,39	18,2	451,9	225,1	677,0
13. " "	"	19,43	13,7	504,7	169,3	674,0
14. " "	"	18,35	17,5	475,6	215,4	691,1
15. " "	"	18,57	17,5	482,5	215,4	698,0
16. " "	"	18,50	16,8	480,6	206,7	687,2
17. " "	"	18,31	17,1	475,6	210,8	686,5

b) Der calorimetrische Versuch.

Die an das Calorimeter abgegebene Wärme differirt nur unerheblich, der latente Wärmeverlust durch Wasserverdampfung nimmt während der Versuchsperiode zu. Die Gesamtwärmebildung hielt sich innerhalb gewisser Grenzen nahezu gleich.

Datum	Zufuhr	Wärme an das Calorim.	Ventilationsverlust	Wasserverdunstung	Summe der Calorim. pro 24 St.
12. April 1890	580 g Fleisch.	469,4	44,8	165,1	679,4
13. " "	"	483,0	56,4	148,6	687,9
14. " "	"	455,3	32,9	178,0	666,1
15. " "	"	485,1	34,4	179,1	698,7
16. " "	"	447,9	34,7	199,3	681,8
17. " "	"	465,9	34,1	174,2	674,2
18. " "	"	456,9	35,1	187,3	679,4

Gewicht des Thieres: 11,750 kg. Zufuhr: 580 g Fleisch.

Datum	Wärmewerth der Zersetzung für 24 Stunden	Wärmeproduction, calorimetrisch bestimmt
12. April 1890	666,5	679,39
13. " "	677,0	687,95
14. " "	674,0	666,12
15. " "	691,1	698,67
16. " "	698,0	683,18
17. " "	687,3	674,68
18. " "	686,5	679,38

Ein Vergleich der Wärmemessung und -rechnung lässt zwar gewisse Incongruenzen erkennen; die grösste Abweichung am 17. April zeigt 674,7 der Bestimmung zu 687,3 der Rechnung, d. i. eine Differenz von + 1,7%; doch ist keine bestimmte Regel für die Differenzen zu erkennen. Das mittlere Resultat der Rechnung weicht nicht von der directen Bestimmung ab.

VI. Ergebnisse.

Die Versuche erlauben unter den mannigfaltigsten Umständen einen Vergleich zwischen Stoffzersetzung und Wärmebildung.

Eine Ausdehnung der Versuche auf viele Thiere hätte weder einen besonderen Werth gehabt, noch lässt sich eine solche Ausdehnung deswegen durchführen, weil man ja grosse Schwierigkeiten hat, überhaupt brauchbare Versuchsthiere zu erhalten.

Dass die gesetzmässigen Beziehungen zwischen Stoffzersetzung und Wärmebildung nicht wohl bei einer Thierart bestehen können, bei anderen Warmblütern aber fehlen sollten, scheint uns eine absolut unverständliche Annahme.

In Nachfolgendem dürfte es sich lohnen, noch einen Ueberblick auf die Gesammtergebnisse zu werfen, welche ich in eine Tabelle nach der Ernährungsweise geordnet habe.

Uebersicht des Gesamtergebnisses.

Zufuhr	Zahl der Tage	Summe der berechneten Wärme	Summe der dir. best. Wärme	Procent-Differenz	Procent-Differenz im Mittel
Hunger	5	1296,3	1305,2	+ 0,69	} - 1,42
	2	1091,2	1056,6	- 3,15	
Fett	5	1510,1	1495,3	- 0,97	- 0,97
Fleisch u. Fett	8	2492,4	2488,0	- 0,17	} - 0,42
	12	3985,4	3958,4	- 0,68	
Fleisch	6	2249,8	2276,9	+ 1,20	} + 0,43
	7	4780,8	4769,3	- 0,24	

Bei Hunger zeigt das mittlere Ergebniss bei der directen Wärmebestimmung ein geringes Deficit von 1,4%, bei Fett erreicht es noch nicht 1%, bei Fleisch und Fett noch nicht 1/2% und nur bei

Fleisch bleibt ein geringes Plus von weniger als $\frac{1}{2}$ % für die calorimetrische Methode. Im Gesamtdurchschnitt aller Versuche von 45 Tagen sind nach der calorimetr. Methode nur 0,47% weniger an Wärme gefunden als nach der Berechnung der Verbrennungswärme der zersetzten Körper- und Nahrungsstoffe.

Wo immer wir in den vorhergehenden Versuchen den Stoffverbrauch und die aus ihm berechnete Wärmeproduction mit der calorimetrischen Messung verglichen haben, hat sich die unumstössliche Thatsache ergeben, dass beide Grössen in den Einzelversuchen sich bis auf wenige Calorien decken.

Wie ich schon früher darauf aufmerksam zu machen in der Lage war, dass die Stoffzersetzung keineswegs etwas so Willkürliches ist, als Viele, welche die Versuchsbedingungen nicht genügend beherrschen, meinen, so haben diese Untersuchungen auf's Neue gezeigt, dass die calorimetrische Messung der thierischen Wärmeproduction nicht neue Gesetze liefert, vielmehr die alten, allerdings mit gehörigem Nachdruck, bestätigt.

Nicht ein einziges, einzelnes, aus allen Versuchsergebnissen beliebig herausgegriffenes Resultat kann uns darüber in Zweifel lassen, dass die einzige ausschliessliche Wärmequelle des Warmblüters in der Auslösung der Kräfte aus dem Energievorrathe der Nahrungsstoffe zu suchen ist.

Was der Nahrungsstoff an Energievorrath zur Zersetzung in den Körper hineinbringt, das schickt der Körper in genau gemessenen Quantitäten nach aussen; es gibt in diesem Haushalt kein Manco und keinen Ueberschuss.

Einfach und glatt verläuft die Rechnung, und doch liegt in dem Wechsel der aus den Nahrungsstoffen austretenden Energie, zu jener Energieform, die wir als Wärme messen, das was man Leben nennt. Jede Wärmeeinheit, die wir in unseren Apparaten finden, hat ihren Dienst im Lebensprocesse gethan. Doch ist Leben ja nicht Wärme; der Wärme kommt nur insoferne noch Bedeutung zu, als sie, die Temperaturerhöhung der Zellen bedingend, besonders bei dem Warmblüter ein wichtiger Factor der Lebensintensität werden

kann, ohne dieser selbst ein zur Erhaltung derselben angemessenes Aequivalent zu sein.

Das thierische Leben ist also ein Verbrennungsprocess, und die Lehre von der Erhaltung der Kraft, welche Meyer und v. Helmholtz begründet haben, kann auch den in meinen Versuchen erbrachten Beweis des Durchgangs der Energievorräthe durch den Thierkörper in unveränderter Quantität den vielen anderen Beobachtungen auf rein physikalischem Gebiete anreihen.

Die Lehre von der Erhaltung der Kraft bedarf zwar dieses Beweises ihrer Geltung auch auf biologischem Gebiete nicht. Das Misslingen würde uns nur zu dem Ausspruch des Bedauerns, dass die thierischen Vorgänge noch immer nicht genau genug sich beherrschen lassen, um exacte Resultate zu gewinnen, Veranlassung gegeben haben.

Nunmehr die Experimente glücken, schöpfen wir daraus die frohe Zuversicht, in anderen, schwierigeren Problemen gleichfalls zum Ziele zu gelangen. Wir hoffen durch die Combination des Studiums der Stoffzersetzung und Wärmebildung neue Mittel zu gewinnen, um der Erkenntniss der Lebensprocesse einen Schritt näher zu kommen; denn die eine Methode lässt die andere nicht überflüssig erscheinen. Nach manchen Richtungen hin gewähren die Stoffwechselversuche einen nur oberflächlichen Einblick in den Ablauf der Zersetzungen, wo die thermische Methode einen sofortigen Entscheid bringen muss. Wie die combinirte Methodik verwerthet werden kann, werde ich zu anderer Gelegenheit noch ausführen.

VII. Berechnung eines Bilanzversuches auf Grund der Nahrungsaufnahme.

In allen bisherigen Experimenten habe ich die Menge der im Thierkörper zersetzten Stoffe aus den Ausscheidungen erschlossen; die Berechtigung und Exactheit dieser Methoden steht zwar vollkommen fest, trotzdem möchte ich es nicht unterlassen, noch in anderer, von den Stoffwechselproducten unabhängiger, Weise darzuthun, dass die Nahrungsmittel die einzige Quelle der thierischen Wärme sind.

Ich habe an den kleinen, zu den meisten calorimetrischen Messungen benützten Hund täglich 80 g frisches Fleisch und 30 g Speck verfüttert während 12 Tagen. Das Körpergewicht des Thieres war nach Entleerung des Knochenkothes vom 2.—10. August auf Gramme constant. (Siehe oben.)

In den eingeführten Nahrungsmitteln erhielt das Thier folgende Fleisch- und Fettmengen:

Das Fleisch hatte 24,7 %	Trockensubstanz, also 80 g =	19,76 g
	davon an Fett ¹⁾	0,71 „
	also fettfreies Muskelfleisch	19,05 g
	demnach in 12 Tagen . . .	228,06 „
Der Speck enthielt 92,2 %	Fett ²⁾ , 30 g demnach . . .	27,66 „
	dazu aus dem Fleisch . . .	0,71 „
	also reines Fett	28,37 g
	demnach in 12 Tagen . . .	340,4 „

Die Gesamtmenge des aufgenommenen Eiweisses (bezw. der trockenen Muskelsubstanz) macht aus:

228,06

dazu 340,4 g reines Fett.

Im Harn sind ausgetreten 30,0 g N und 16,8 g trockner Koth aus dem Darne.

Zur Bilanzberechnung kann man auf zweifachem Wege kommen:

1. indem man für das als Nahrungsstoff aufgenommene Fleisch jene Verbrennungswärme einsetzt, die ich als physiologischen Nutzeffect bezeichne, die Verbrennungswärme abzüglich der Verbrennungswärme von Harn und Koth.

Dann findet man:

aufgenommen 228,06 Fleisch \times 4,0 Cal. = 912,24

dazu 340,4 g Fett \times 9,423 „ = 3207,0

In 12 Tagen aufgenommen 4119,2 Cal.

Die Wärmeproduction des Thieres betrug in 12 Tagen 3958 Cal.

Mittels des Calorimeters sind also 96 % der in den Nahrungsmitteln eingeführten Energie als Wärme wieder erhalten worden.

1) Direct bestimmt.

2) Mittelzahl.

Die Ursache, warum ein kleines Deficit bleibt, gibt uns die Betrachtung der auf S. 126 gegebenen Stoffwechselfvorgänge; dortselbst zeigt sich, dass ein „Ansatz“ bei dem Thiere eingetreten war.

2. Der zweite Weg, welcher eingeschlagen werden kann, besteht darin, dass die „Bruttowärme“ des Fleisches in Rechnung gestellt und davon die Verbrennungswärme von Harn und Koth direct abgezogen wird.

Diese Zahlen sind folgende:

Verbrennungswärme des Fleisches	1222	Cal.
„ „ „ Fettes	3207	„
	Summe	4429

Davon gehen ab: 223,5 Cal. für die Verbrennungswärme des Harns,

81,7 „ für den Koth

im Ganzen 305,2 Cal.

Somit verbleibt als Verbrennungswerth der Kost 4124 Cal.

Der Hund hat in 12 Tagen aber abgegeben . . . 3958 „

d. h. es sind bei einem anscheinend mit der Kost im Gleichgewicht befindlichen Thier rund 96% der in den Spannkräften der Nahrung latenten Wärmemenge wieder aufgefunden worden.

Auch auf Grund dieser Ergebnisse würden wir schliessen müssen, dass die Nahrungsmittel die einzige Wärmequelle des Thierkörpers sind.

Diese Methode des Nachweises ist aber mit weit mehr Fehlern behaftet als die von uns sonst angewandte und kann nur in langen Reihen, bei möglichstem Gleichbleiben des Körpergewichtes eines Thieres, zum Ziele führen.

Genau genommen müsste ein auf der Basis der Nahrungszufuhr begründeter Bilanzversuch so lange durchgeführt werden, bis der Ansatz des Thieres im Verhältniss zum Futter verschwindend klein geworden ist.

In den meisten Fällen, wenn die Kost nicht ausreichend genau ausgewählt ist, würden die allergrössten Differenzen zwischen Stoffzersetzung und Nahrungsaufnahme vorhanden sein können, und des-

halb ist jede Versuchsanordnung, welche zur Lösung der uns beschäftigenden Frage auf einen Vergleich der Nahrungszufuhr und Wärmeproduction sich stellen will, principiell mangelhaft.

VIII. Die Messung der Verbrennungswärme der Nahrungsstoffe durch die Verbrennung im Thierkörper selbst.

Wir haben bereits früher unsere Versuche erwähnt, auf Grund deren wir den physiologischen Nutzeffect gewisser Eiweissstoffe festgesetzt haben; wir haben aber auch erwähnt, dass namentlich von *Stohmann* noch immer die Möglichkeit einer solchen Berechnung bezweifelt wird.

Nachdem wir jetzt durch so zahlreiche Versuche bewiesen haben, dass die von einem Thier erzeugte Wärme sich völlig mit jener deckt, die wir mittels der von mir bestimmten Verbrennungswärmen ableiten können, bleibt füglich wieder kein Zweifel, dass darin eine vollkommene Bestätigung meiner früheren Untersuchungen liegt.

Ich will aber nicht unterlassen, noch auf folgenden interessanten Weg zur Controle der Verbrennungswärme der Nahrungsstoffe aufmerksam zu machen.

Man kann den Thierkörper selbst als Calorimeter benützen.

Voraussetzung ist nur:

1. die Kenntniss der Stoffzersetzung; diese ist aber mit aller Exactheit zu geben;
2. die Kenntniss der vom Thier producirten Wärme.

Würde ich ein Thier besitzen, das einmal nur Fett, ein ander Mal nur Eiweiss zerstört, so wäre nichts leichter als eine directe Ableitung der Verbrennungswärme, wie sie durch Trennung complicirter Moleküle und Eintreten von Sauerstoff im Thierkörper erfolgt.

Leider liegen die Verhältnisse nicht so einfach, weil zumeist Mischungen von Stoffen verbrannt werden; aber lösbar ist die Aufgabe, wie wir gleich zeigen werden, auf Grund unserer Versuche recht wohl.

Unter den mitgetheilten Thierversuchen sind zwei Reihen mit Fleisch und Fett und zwei mit reiner Fleischfütterung.

Die Zersetzung der Thiere unterscheidet sich dadurch, dass das eine Mal wenig Fleisch und viel Fett, das andere Mal viel Fleisch und wenig Fett zersetzt wurde.

Bei Fleischfütterung schied mein kleiner Hund täglich im Mittel 10,09 g N in Harn und Koth aus und 9,06 g Fett-C wurden verbrannt. Die Gesamtwärmeproduction war täglich 379,5 Cal.

Bei Fleisch und Fett gab der Hund 2,95 g N ab und verbrannte 19,12 g Fett-C bei 311 Cal. Gesamtwärmeproduction.

Nennt man den calorischen Werth des N x , jenen des Fettkohlenstoffs y , so hat man folgende elementaren Gleichungen:

$$\text{I. } 10,09 x + 9,06 y = 379,5$$

$$\text{II. } 2,95 x + 19,12 y = 311,0$$

woraus $x = 26,7$ Cal.

und $y = 12,15$ „ gefunden wird, während 26,0 und 12,3 die direct durch die Verbrennung von mir gefundenen Werthe sind.

In gleicher Weise hat man mit Zuhilfenahme der Zahlen des 12tägigen Fleisch- und Fettversuches, sowie des Fleischversuches am grossen Hunde:

$$\text{I. } 2,56 x + 21,65 y = 329,9$$

$$\text{II. } 18,47 x + 16,5 y = 681,3.$$

Aus diesen Gleichungen leitet sich für

x , den calorischen Werth des N 26,02 Cal.

und y , „ „ „ des Fettkohlenstoffes 12,17 Cal.

eine nur minimal von der directen Bestimmung abweichende Zahl.

Im Mittel beider Reihen findet sich also

	Verbrennungsbest. im Thierleib (Thiercalorimeter)	Verbrennung im Thompsoncalorimeter
calorischer Werth des N	26,36	26,0
„ „ „ C	12,16	12,3.

Will man die auf 1 g Substanz treffende Verbrennungswärme vergleichen, so ergibt sich Folgendes:

$$1 \text{ g N} = 6,493 \text{ g trockener Muskel} = 26,36 \text{ Cal.}$$

$$1 \text{ g Fett-C} = 1,3 \text{ g Fett} = 12,16 \text{ Cal.,}$$

demnach:	Verbrennungswärme von 1 g Trockensubstanz:	
	verbrannt im Thierkörper	verbrannt im Thompsoncalorimeter
Muskelfleisch (Mittel)	4,059	4,000
zweite Reihe	4,007	4,000
Fett (Mittel)	9,334	9,423
zweite Reihe	9,353	9,423.

Wir sind also in der Lage, durch den directen Thierversuch und durch den Versuch im Grossen die Verbrennungswärme der Nahrungsstoffe am lebenden gesunden Thiere zu bestimmen. Die thierischen Zellen bauen die Nahrungsstoffe in der ihnen eigenen Weise dabei ab.

Und diese Ergebnisse stehen erfreulicher Weise mit dem, was die physikalische Messung früher ergab und wohin uns die Ueberlegung führte, in einer so vollendeten Uebereinstimmung, wie sie in der Analyse biologischer Probleme wohl zu den Seltenheiten gehört.