

**J. Rosenthal: Physiologisch-Calorimetrische Untersuchungen.** (Vorgetragen in den Sitzungen vom 10. December 1888, 11. Februar und 18. Juni 1889.)

Die genaue Bestimmung der von einem Thier producirten Wärmemengen ist mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass die bisherigen Untersuchungen über thierische Calorimetrie noch sehr mangelhaft sind, so dass viele Forscher ganz auf die unmittelbare Messung verzichtet und an deren Stelle Berechnungen — entweder aus den Ausscheidungen oder aus den Einnahmen des thierischen Stoffwechsels — gesetzt haben.

Solche Berechnungen haben jedoch nur einen sehr bedingten Werth, da nicht bekannt ist, wie weit die Voraussetzungen, welche denselben zu Grunde liegen, wirklich zutreffen. Es wird vielmehr immer von Neuem danach gestrebt werden müssen, Methoden zu finden, welche eine unmittelbare Bestimmung gestatten, um erst mit Hilfe derselben jene vorher angedeuteten Voraussetzungen der Berechnungen auf ihren Werth prüfen zu können.

An Versuchen zur Messung hat es allerdings nicht gefehlt, die physiologische Calorimetrie ist vielmehr eben so alt als die wissenschaftliche Calorimetrie selbst. Lavoisier und Laplace benutzten das von ihnen construirte Eis calorimeter, um die Wärmeproduction eines Thieres zu bestimmen. Ungefähr gleichzeitig machte Crawford einen wenn auch nur rohen Versuch mit einem Wassercalorimeter. Später wurden mit demselben Apparat Versuche von Dulong, von Desprez, in neuerer Zeit von Senator u. A. angestellt.

Was die calorimetrischen Versuche an Thieren hauptsächlich beeinträchtigt, ist der Umstand, dass es sich bei ihnen um

eine dauernde Wärmeproduction handelt, während die in den physikalischen Laboratorien üblichen calorimetrischen Methoden wesentlich für begrenzte Wärmemengen eingerichtet sind. Die Fehlerquellen steigen, namentlich bei Anwendung des Wassercalorimeters, deshalb auf einen so hohen Werth, dass der wissenschaftlichen Verarbeitung der Messungsergebnisse sehr enge Grenzen gezogen werden.

Bei meinen Versuchen habe ich von der Anwendung des Wassercalorimeters ganz abgesehen und habe mich bemüht, eine zuerst von Scharling, später von Vogel, dann von Hirn und zuletzt auch von d'Arsonval versuchte Methode so auszubilden, dass sie hinreichend genaue Resultate zu liefern vermag. Scharling's Methode beruht auf der Anwendung des Newton'schen Abkühlungsthermometers. Wird ein Thier in einem Kasten eingeschlossen, welcher sich in einem gleichmässig temperirten Zimmer befindet, so steigt in Folge der Wärmeproduction des Thieres die Temperatur innerhalb des Kastens, bis die Wärmeverluste an seiner Oberfläche gleich sind der vom Thier producirt Wärme. Aus dem Unterschied der Temperaturen innerhalb und ausserhalb des Kastens kann man dann die Wärmeproduction berechnen.

Die Form, welche dem Apparat schliesslich von mir gegeben wurde, ist folgende: Er besteht aus zwei vollkommen gleichen Theilen; jeder derselben ist zusammengesetzt aus drei langen Cylindern mit gemeinschaftlicher Axe, welche ineinanderstecken. Der innerste Cylinder ist zur Aufnahme des Thiers bestimmt, der äussere hat nur den Zweck, kleine, nicht zu vermeidende Temperaturschwankungen der Zimmerluft von dem Binnenraum abzuhalten und die dadurch bedingten Störungen zu beseitigen. Das Wesentliche ist der von dem innern und mittleren Cylinder eingeschlossene Luftraum. Derselbe bildet ein grosses Luftthermometer, dessen Temperatur manometrisch gemessen und aus deren Ueberschuss über die Umgebungstemperatur die Wärmeproduction berechnet wird.

Da Schwankungen der Umgebungstemperatur doch niemals ganz zu vermeiden sind, so sind die beiden Lufträume des Doppelapparats so mit einander verbunden, dass sie ein Differentialthermometer darstellen. Schwankungen der Umgebungstemperatur können, da sie auf die beiden, ganz gleichartigen Apparate gleichmässig einwirken, keine Einwirkung auf das zwischen beiden Apparaten eingeschaltete Manometer aus-

üben. Sobald aber durch die Wärmeproduction des in einem der Apparate befindlichen Thieres die Temperatur steigt, entsteht ein Ausschlag des Manometers, aus dessen Grösse der Ueberschuss der Temperatur jenes Luftraumes über die Umgebungstemperatur berechnet werden kann.

Die Wärmeverluste, welche der durch das Thier erwärmte Apparat an die Umgebung erleidet, müssen nach dem Newtonschen Abkühlungsgesetz jenem Temperaturüberschuss proportional sein. Wartet man ab, bis das Manometer einen festen Stand eingenommen hat, so müssen die Wärmeverluste der Wärmeaufnahme vom Thier und (wenn das Thier seine Eigenwärme nicht geändert hat) auch der Wärmeproduction des Thiers gleich sein.

Dieser letztere Umstand ist von einschneidender Bedeutung für die Brauchbarkeit der Methode. Bei Anwendung des Eis- oder Wasser-Calorimeters ändert sich die Eigenwärme des Thiers häufig sehr erheblich. Die dadurch bewirkten Messungsfehler sind um so grösser, als die Versuche immer nur kurze Zeit dauern können.

Bei unserm Apparat aber befindet sich das Thier unter durchaus normalen Bedingungen. Es kann viele Stunden, ja Tage lang in dem Apparat verweilen, ohne dass seine Eigenwärme andre als die normal-physiologischen geringen Schwankungen erfährt. Dieselben können gemessen und bei der schliesslichen Berechnung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Es bleibt mir noch übrig, die Art und Weise der Berechnung aus den beobachteten Manometerausschlägen auseinander zu setzen. Bei unserm Apparat ändert sich, wenn die Temperatur der abgesperrten Luftmasse steigt, nicht ihr Volum, sondern nur ihr Druck. Dieser Druck ist aber bekanntlich (bei constantem Volum) der absoluten Temperatur proportional.<sup>1)</sup> Nennen wir daher die Anfangstemperatur  $T_a$ , die Endtemperatur  $T_e$ , den Anfangsdruck  $b_a$ , den Enddruck  $b_e$ , so ist:

$$T_a : T_e = b_a : b_e \quad (1)$$

worans folgt:

$$T_e - T_a : T_a = b_e - b_a : b_a \quad (2)$$

und

$$T_e - T_a = b_e - b_a \cdot \frac{T_a}{b_a} \quad (3)$$

1) Da der Nullpunkt der absoluten Temperaturscala  $272,6^{\circ}$  unter dem Nullpunkte der Celsiusscala liegt, so braucht man nur  $272,6$  zu

Dem Werthe ( $T_o - T_a$ ) d. h. dem Ueberschuss der Endtemperatur, welche der Apparat erreicht, über der Anfangstemperatur, muss, wie wir gesehen haben, die Wärmeproduction des Thieres proportional sein. Nennen wir die Wärmeproduction  $n$ , so ist also:

$$n = e \cdot (T_o - T_a) \quad (4)$$

Der Werth ( $b_o - b_a$ ), welcher in Gleichung (3) vorkommt, ist aber nichts andres als die Druckzunahme, welche wir am Manometer unmittelbar abgelesen haben. Nennen wir diesen Manometerausschlag  $m$ , so erhalten wir:

$$n = e \cdot m \cdot \frac{T_a}{b_a} \quad (5)$$

d. h. die Wärmeproduction ist proportional dem Manometerausschlag und der (absoluten) Anfangstemperatur und umgekehrt proportional dem Anfangsdruck der im Calorimeterraum enthaltenen Luft.

Die in Gleichung (5) vorkommenden Werthe  $m$ ,  $T_a$ ,  $b_a$ , lassen sich leicht messen. Der constante Faktor  $e$  dagegen muss durch Vorversuche bestimmt werden. Dabei ist noch folgendes zu bemerken: Damit der Apparat eine für alle Fälle ausreichende Empfindlichkeit erhalte, thut man gut, das Manometer nicht mit Quecksilber, sondern mit einer Flüssigkeit von geringerem specifischen Gewicht zu füllen. Ich habe dazu Petroleum gewählt, welches ich, um die Ablesung zu erleichtern, mit Azobenzol intensiv roth färbte. Um die Werthe von  $m$  und die von  $b_a$  (welcher letztere am Barometer abgelesen wird) auf dieselbe Masseinheit zu bringen, müsste man also  $m$  dividiren durch eine Zahl, welche das Verhältniss der specifischen Gewichte des Petroleums und des Quecksilbers ausdrückt. Da diese Zahl aber constant ist, so kann man sie mit der andern Constante  $e$  zusammenfassen und den Werth beider zusammen ein für alle mal bestimmen.

Zu diesem Zweck habe ich in dem Apparat kleine Flämmchen von reinem Wasserstoffgas brennen lassen, die Menge des verbrannten Gases genau gemessen und daraus die producirte Wärme berechnet. Setzt man den so erhaltenen Werth für  $n$  in die Gleichung (5) ein, so findet man den Werth der Constanten.

---

der am Celsius-Thermometer abgelesenen Temperatur zuzuzählen, um die absolute Temperatur zu erhalten.

Ich habe den im Vorhergehenden kurz beschriebenen Apparat in zwei verschiedenen Grössen ausführen lassen. Bei der einen sind die Maasse so gewählt, dass der Arm eines Menschen bequem darin Platz hat; dieser Apparat kann aber auch für kleine Thiere, Kaninchen u. dergl. benutzt werden. Der andre, grössere Apparat dient zur Untersuchung grösserer Thiere; Hunde mittlerer Grösse haben in ihm bequem Platz. Beide Apparate sind mit Vorrichtungen zur Ventilation, zur Bestimmung der Athmungsproducte, mit Ablaufvorrichtungen für den Harn u. s. w. versehen. Mit diesen Apparaten habe ich bisher eine grosse Anzahl von Versuchen theils selbst ausgeführt, theils von andern ausführen lassen. Ueber eine grosse Zahl andrer Versuche, welche noch nicht abgeschlossen sind, werde ich später berichten. Was ich bis jetzt festgestellt habe, will ich im Folgenden kurz zusammenfassen.

1. Die Wärmeproduction eines gesunden Thieres ist durchaus nicht constant; sie kann innerhalb sehr weiter Grenzen schwanken, während die Eigenwärme nur ganz geringe Schwankungen zeigt. Hunde, welche man längere Zeit mit gleichmässiger und ausreichender Nahrung füttert, zeigen trotzdem Schwankungen, welche aber, wenn auch die andern Bedingungen (namentlich die Umgebungswärme, wovon noch die Rede sein wird) einigermaßen constant erhalten werden, geringer sind und um einen gewissen mittleren Werth herum um etwa 15% nach oben und nach unten sich bewegen. Kleinere Thiere, Kaninchen z. B., deren Eigenwärme doch viel grösseren Schwankungen unterliegt als die der Hunde, zeigen trotzdem viel geringere Schwankungen der Wärmeproduction.

2. Dass kleinere Thiere relativ zu ihrem Körpergewicht mehr Wärme produciren als grosse, ist bekannt. Eine genaue Beziehung zwischen Körpergrösse und Wärmeproduction kann nicht angegeben werden, da sie eben, wie im § 1 hervorgehoben wurde, bei einem und demselben Thiere schon sehr schwankt. Nichtsdestoweniger scheint, wenn man gleiche physiologische Bedingungen herstellt, die Wärmeproduction nahezu proportional der Oberfläche des Thieres zu sein. Bei Thieren, deren Körperformen wenigstens annähernd geometrisch ähnlich sind, kann man statt der Körperoberfläche den Werth  $\sqrt[3]{g^2}$  setzen, worin  $g$  das Körpergewicht bedeutet. Eine Vergleichung der von mir gefundenen Werthe unter einander und mit den zuver-

lässigsten Messungen meiner Vorgänger hat einigermaßen übereinstimmende Ergebnisse geliefert.

3. Hunde, denen man regelmässig alle 24 Stunden ihre Mahlzeit reicht, zeigen regelmässige Schwankungen der Wärme-production in der 24 stündigen Periode in der Weise, dass in der 6. — 9. Stunde nach der Mahlzeit ein Maximum, in der 20. — 24. Stunde ein Minimum eintritt. In Procenten der in der ersten Fütterungsstunde producirten Wärme ausgedrückt kann das Maximum bis zu 140 steigen, das Minimum auf etwa 90 fallen.

4. Kaninchen, welche nicht so regelmässig ihr Futter nehmen wie Hunde, zeigen unregelmässige Schwankungen. Als jedoch ein Kaninchen mit reichlicher, nahrhafter Kost gefüttert wurde, konnte es dahin gebracht werden, dieses Futter auf einmal zu verzehren. Ein solches Thier verhielt sich nun ganz ähnlich wie der Hund. Es zeigte in der 24 stündigen Fütterungsperiode ein Maximum und ein Minimum. Ersteres trat etwas früher ein, etwa in der 4. — 7. Stunde, letzteres gleich wie beim Hunde in der 20. — 24. Stunde.

5. Kaninchen, welche auf gewöhnliche Art gefüttert wurden, zeigen, wenn man ihnen die Nahrung entzieht, ein schnelles Absinken der Wärme-production, welche nach 24 Stunden nur etwa 50, nach 48 Stunden etwa 40<sup>0</sup>/<sub>0</sub> der bei Nahrungsaufnahme gefundenen beträgt. Auch bei reichlich und mit sehr nahrhaftem Futter bedachten Kaninchen sinkt, wenngleich in etwas geringerem Grade, die Wärme-production ziemlich schnell, sobald man ihnen die Nahrung entzieht.

6. Ganz anders verhalten sich gut genährte Hunde. Lässt man diese hungern, so ändert sich die Wärme-production in den ersten 3 — 4 Tagen gar nicht, sinkt am 5. und 6. Tage nur wenig, und erst vom 7. Tage an wird die Abnahme grösser. Dabei nimmt natürlich das Körpergewicht sehr bedeutend ab. Reicht man dann, nach 8 — 10 tägigem Hunger, wieder Nahrung, so steigt zunächst das Körpergewicht, aber nicht die Wärme-production; erst einige Tage nachher beginnt auch diese zu steigen, um dann allmählich auf die ursprüngliche Höhe zu gelangen und auf ihr zu bleiben. Vermindert man die Nahrung eines reichlich ernährten Hundes plötzlich auf etwa die Hälfte, so kann sogar vorübergehend die Wärme-production etwas höher ausfallen, als sie während der reichlichen Nahrungsaufnahme war.

7. Wie schon aus dem Gesagten hervorgeht, besteht keine feste Beziehung zwischen Nahrungsaufnahme und Wärmeproduction. Berechnet man aus der zugeführten Nahrung unter Zugrundelegung der physiologischen Verbrennungswärmen der Nahrungsstoffe, wieviel Wärme das Thier produciren könnte, und vergleicht damit die wirklich producirte Wärme, so ergibt sich folgendes: Bei reichlicher Nahrungszufuhr bleibt die producirte Wärme hinter der berechneten erheblich zurück, bei ungenügender Nahrung übersteigt die gemessene Wärmeproduction die berechnete. Zwischen beiden liegt eine mittlere Nahrung, welche gerade ausreicht, das Thier auf seinem Gewicht zu erhalten. Wenn man ein Thier mit dieser ausreichenden Nahrung längere Zeit füttert, so schwankt seine Wärmeproduction um einen Mittelwerth herum, welcher der aus den Verbrennungswärmen berechneten ziemlich nahe kommt.

8. Ebenso wenig wie zwischen Nahrung und Wärmeproduction, besteht eine feste Beziehung zwischen  $\text{CO}_2$ -ausgabe und Wärmeproduction. Berechnet man den sogenannten Wärmefactor der  $\text{CO}_2$  d. h. die Anzahl von Calorien, welche auf 1 g ausgeschiedner  $\text{CO}_2$  kommen, so erhält man keine constanten Werthe. Die Schwankungen des  $\text{CO}_2$ -factors sind am geringsten bei ausreichender Nahrung, und wenn man aus längeren Versuchsreihen (von etwa 14 Tagen) die Mittelwerthe berechnet, dann stimmen diese nahezu mit demjenigen, was die Berechnung aus der Zusammensetzung der Nahrung ergibt. Bei einer Ernährung mit je 2 Theilen Eiweiss und 1 Theil Fett ergibt die Rechnung den Wärmefactor der  $\text{CO}_2 = 2,803$ . Das Mittel aus einer längeren Versuchsreihe ergab den Werth 2,872. Die Abweichung des berechneten vom gefundenen Werth ist also nur 2,5%, was bei Versuchen dieser Art als eine hinreichende Uebereinstimmung angesehen werden muss.

9. Eine solche Uebereinstimmung ist aber, wie gesagt, nur in den Mittelzahlen längerer Versuchsreihen vorhanden, während in den einzelnen Versuchen einer solchen Reihe immer noch grosse Schwankungen (bis zu 33%) vorkommen. Ordnet man aber die Versuche einer Reihe nach steigenden Wärmeproductionen, so zeigt sich eine Gesetzmässigkeit in den Schwankungen. Der Wärmefactor der  $\text{CO}_2$  nimmt nämlich mit steigender Wärmeproduction gleichfalls zu. Um dies zu erklären, nehme ich an, dass zwar bei länger dauernder gleichmässiger und ausreichender Ernährung die zugeführte Nahrung vollkommen

verbrennt und ihre volle Verbrennungswärme ebenso wie die aus der Verbrennung entstandene  $\text{CO}_2$  vollständig zum Vorschein kommen, dass aber von einem Tage zum andern kleine Schwankungen in dem Verhältniss der verbrennenden Stoffe eintreten. Wird etwas mehr Fett verbrannt, als dem Nahrungsgemisch entspricht, so muss (da Fett relativ zu der aus ihm entstehenden  $\text{CO}_2$  mehr Wärme liefert) der Wärmefactor der ausgeschiedenen  $\text{CO}_2$  steigen; umgekehrt muss er fallen, wenn die verhältnissmässige Menge des verbrannten Fetts abnimmt. Der thierische Organismus würde also, trotz gleichbleibender Nahrung bald etwas mehr, bald etwas weniger von dem aufgenommenen bezw. von dem in seinen Geweben vorrätigen Fett verbrennen, je nachdem er mehr oder weniger Wärme zu produciren veranlasst ist.

10. Ausser dem Einfluss der Nahrung habe ich bisher vorzugsweise dem Einfluss der Umgebungswärme auf die Wärmeproduction meine Aufmerksamkeit zugewendet. Ich habe solche Versuche an Hunden und Kaninchen selbst angestellt und auch (an Kaninchen) von Herrn Dr. Dürrbeck anstellen lassen. Die Arbeit des Letzteren habe ich der Gesellschaft am 29. Juli d. J. vorgelegt (vgl. diese Berichte S. 17). Das Ergebniss aller dieser Versuche ist folgendes: Die Umgebungstemperatur hat einen Einfluss auf die Wärmeproduction in der Art, dass einer mittleren Temperatur ein Minimum der Wärmeproduction entspricht und dass diese sowohl bei niederen als bei höheren Temperaturen grösser wird. Diejenige Temperatur, bei welcher das Minimum eintritt, ist aber nicht etwa eine constante, sondern sie hängt sozusagen von einer Art von Gewöhnung oder Anpassung des Thieres ab, indem sie sich nach unten verschiebt, wenn das Thier lange in der Kälte, nach oben, wenn das Thier lange in der Wärme gehalten wird. Es verdient hervorgehoben zu werden, dass nach Untersuchungen des Herrn C. v. Voit die  $\text{CO}_2$ -abgabe des Menschen gleichfalls bei einer Mitteltemperatur ein Minimum zeigt und sowohl bei niedrerer wie bei höherer Temperatur grösser ausfällt.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1889-1891

Band/Volume: [21](#)

Autor(en)/Author(s): Rosenthal Josef

Artikel/Article: [Physiologisch-Calorimetrische Untersuchungen. 64-71](#)