

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Handbuch der Physiologie des Menschen

in vier Bänden (und einem Ergänzungsbande)

Physiologie der Atmung, des Kreislaufs und des Stoffwechsels

Bohr, Christian

Braunschweig, 1909

Die Wärmeökonomie des Körpers. Von R. Tigerstedt

Die Wärmeökonomie des Körpers

von

R. Tigerstedt.

Zusammenfassende Darstellungen, in denen die ältere Literatur gesammelt ist:

Pembrey, Art. Animal heat in Schäfers Text-Book of Physiology I. Edinburgh and London 1898, p. 785—867.

Richet, Art. Chaleur. Production de chaleur par les êtres vivants. In Dictionnaire de physiologie III, Paris 1898, p. 81—203.

Rosenthal, Art. Die Physiologie der tierischen Wärme in Hermanns Handbuch der Physiologie 4 (2), 287 bis 452. Leipzig 1882.

Diese Arbeiten sind im folgenden stets nur mit dem Namen des Autors zitiert.

Erstes Kapitel.

Die Körpertemperatur des Menschen.

Die Vögel und die Säugetiere unterscheiden sich von allen anderen lebendigen Geschöpfen dadurch, daß sich in ihrem Körper Mechanismen vorfinden, dank denen ihre Temperatur sich trotz ziemlich großer Schwankungen der Außentemperatur im großen und ganzen konstant erhält. Sie werden daher homoiotherme oder, da die Temperatur des umgebenden Mediums in der Regel niedriger als die ihres Körpers ist, warmblütige genannt.

Zur Temperaturmessung hat man sowohl das Thermometer als auch die thermoelektrische und die bolometrische Methode benutzt¹⁾. Wie sie ausgeführt wird, welche Vorsichtsmaßregeln dabei zu berücksichtigen sind und wie die verschiedenen Instrumente gebaut sind, kann hier nicht erörtert werden. Dagegen ist es notwendig, den Ort der Temperaturmessung etwas näher zu besprechen, da die Resultate derselben davon in hohem Grade abhängig sind.

Wenn wir im allgemeinen von der Temperatur des Körpers sprechen, so beziehen wir diese auf den Wärmegrad am wärmsten Orte des Körpers. Da nun der Körper fast immer einem Wärmeverlust durch Leitung, Strahlung und Wasserverdunstung von der Haut und den Respirationswegen ausgesetzt ist, so müssen seine oberflächlicheren Teile eine niedrigere Temperatur als die tieferen haben. Nur bei Versuchen an Tieren ist es indessen möglich, die Temperaturmessung an jedem beliebigen Orte zu machen; beim Menschen sind wir darauf beschränkt, dieselbe an einem ohne weiteres zugänglichen,

¹⁾ Vgl. Benedict und Snell, Arch. f. d. ges. Physiol. 88, 492, 1901. Dasselbst ausführliche Angaben über die einschlägige Literatur.

vor Abkühlung möglichst geschützten Orte auszuführen. Zu diesem Zwecke sind vor allem die Axille, die Mundhöhle unter der Zunge, das Rectum und die Vagina benutzt worden. Auch hat man seit Hales den aus der Harnröhre strömenden Harnstrahl dazu verwendet.

Angesichts der Tatsache, daß die Körpertemperatur des Menschen innerhalb 24 Stunden nicht unbedeutliche Variationen darbietet, können Durchschnittszahlen für die Temperatur an den genannten Orten keine bestimmten Aufschlüsse über die daselbst stattfindenden Temperaturdifferenzen liefern, und nur gleichzeitig gemachte Beobachtungen können hier ausschlaggebend sein. Aus solchen Beobachtungen sind einige in folgender Tabelle zusammengestellt. Die Temperatur der Axille ist hier gleich 1 gesetzt:

Ort der Temperaturmessung			Autor
Axille	Mundhöhle	Rectum	
1,0	1,2	1,4	Redard ¹⁾
1,0	1,24	1,7	Gassot ¹⁾
1,0	1,2	1,52	Forel ¹⁾
1,0	1,13	1,35	Grombie ²⁾
1,0	—	1,38	Parker u. Wollowicz ³⁾
1,0	—	1,23	Oertmann ⁴⁾
—	1,0	1,3	Bouvier ⁵⁾
1,0	—	1,6—1,8	Lorain ²⁾
1,0	—	1,6	Neuhauf ⁶⁾
1,0	—	1,06—1,38	Benedict und Snell ⁷⁾

Wie ersichtlich, ist die Temperatur der Mundhöhle nur wenig höher als die der Axille, weshalb auch Pembrey aus den vergleichenden Temperaturmessungen das Resultat zieht, daß kein erwähnenswerter Unterschied zwischen der Mundhöhle und der Axille stattfindet. Dagegen tritt die Differenz zwischen der Axille und dem Rectum sehr deutlich hervor und kann rund auf etwa 0,4 bis 0,5° C geschätzt werden.

Merkwürdigerweise scheint beim Affen die Temperatur der Axille um etwa 0,5° C höher als die des Rectums zu sein (Davy⁸⁾, Simpson⁹⁾. Nach Ringer und Stuart¹⁰⁾ ist beim Menschen die Temperatur ganz dieselbe in der Axille, der Mundhöhle und dem Rectum; ihre Versuchspersonen lagen im Bette und waren sehr gut bedeckt.

Betreffend die Temperatur des Harns läßt sich aus den Messungen von Oertmann¹¹⁾ und Pembrey¹²⁾ entnehmen, daß sie in vielen Fällen der im Rectum gleichkommt, in anderen Fällen aber etwas niedriger ist; zuweilen kann sie sogar höher sein. Durchschnittlich fand Pembrey die Rectaltemperatur etwa 0,34° C höher als die des Harns.

¹⁾ Richet, *La chaleur animale*, p. 79 und 80. Paris 1889. — ²⁾ Pembrey, p. 825. — ³⁾ Proc. of the Royal Society 18, 368, 1869. — ⁴⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 16, 101, 1878. — ⁵⁾ Ebenda 2, 387, 1869. — ⁶⁾ Arch. f. pathol. Anat. 134, 366, 1893. — ⁷⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 90, 41, 1902. — ⁸⁾ J. Davy, *Researches* 1, 181. London 1839. — ⁹⁾ Journ. of Physiol. 28, proceedings 21, 1902. — ¹⁰⁾ Proc. of the Royal Society 26, 186, 1877. — ¹¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 16, 101, 1878. — ¹²⁾ Journ. of Physiol. 23, 386, 1898; *Guys hospital Reports* 57, 283.

Die Ursache der Verschiedenheit der Temperatur an verschiedenen Körperstellen liegt natürlich darin, daß das Rectum vor Wärmeverlust besser geschützt ist als die Mundhöhle und die Axille¹⁾. Beim Harn ist die augenblicklich erscheinende Verdunstung wohl als Hauptursache seiner geringeren Temperatur zu erachten, ein Umstand, der sich besonders bei geringen Harnmengen fühlbar machen muß. Wie es scheint, dürfte jedoch die Temperaturmessung im Harn, wenn dabei geeignete Vorsichtsmaßregeln beobachtet werden, ebenso zuverlässige Resultate geben wie die Temperaturmessung im Rectum.

Unter den hier erwähnten Orten der Temperaturmessung dürfte die Mundhöhle am wenigsten zuverlässig sein, indem ihre Temperatur in einem höheren Grade als die der Axille, des Rectums und des Harns von zufälligen Einflüssen abhängig ist. So fand Bosanquet²⁾, daß die Mundhöhle nach Aufnahme von Essen wärmer ist als das Rectum, was teils von der Temperatur der genossenen Speisen, teils von den Bewegungen der Kaumuskel und dem Sekretionsvorgang in den Speicheldrüsen bedingt sein dürfte. Andererseits beobachtete Davy³⁾ eine Abnahme der Mundhöhlentemperatur nach starker körperlicher Arbeit; gleichzeitig stieg die Temperatur in der Axille an. Diese Tatsache, die durch eingehende Untersuchungen von Pembrey und Nicol⁴⁾ in vollem Umfange bestätigt wurde — Differenzen um bis zu 2,2° C wurden von ihnen beobachtet —, tritt auch bei reiner Nasenatmung auf und ist aller Wahrscheinlichkeit nach durch das Schwitzen, die Gefäßerweiterung in der Gesichtshaut und die kräftigere Luftströmung durch den Rachen bedingt.

Betreffend die Temperatur anderer Körperteile sei hier nur folgendes erwähnt.

Unter Anwendung eines Quecksilberthermometers bekam Davy⁵⁾ bei einer Außentemperatur von 20° C für die Hauttemperatur folgende Zahlen: Fußsohle 32,2, die Mitte der Tibia 33,06, die Kniebeuge 35,0, über dem *Rectus femoris* 32,78, die Inguinalfalte 35,84, ein Zoll unter dem Nabel 35,0, über dem Herzen 34,4; die Temperatur der Axille betrug hier 36,67.

Kunkel⁶⁾ benutzte die thermoelektrische Methode und fand beim stillsitzenden Menschen an den bekleideten Körperteilen bei einer Zimmertemperatur von 20° C eine Temperatur von 33,8 bis 34,8° C. Auf dicken Muskelagen war die Temperatur etwas höher als über Sehnen und Knochen; die von der Achse (dem Zentrum) des Körpers weiter abstehenden Teile waren im allgemeinen kühler. An den unbedeckten Hautstellen traten bei der genannten Temperatur keine wesentlichen Unterschiede den bedeckten gegenüber hervor; so war die Temperatur der Stirnhaut 34,1 bis 34,4°, die auf dem Jochbogen 34,1°, auf dem Handrücken 32,5 bis 33,2°, während die Temperatur der *Vola manus* etwa dieselbe Höhe wie die der bedeckten Körperteile erreichte. Dagegen betrug die Temperatur des Ohr läppchens nur 28,8° C. Bei einer Außentemperatur von 10 bis 12° C sank die Temperatur des Gesichtes nur um etwa einen Grad und selbst bei — 5° C betrug sie noch 26,7°, während die Bauchhaut 31,6 bis 31,9° C zeigte.

¹⁾ Vgl. Oertmann, Arch. f. d. ges. Physiol. 108, 307, 1905. — ²⁾ Lancet 1895 (1), p. 673. — ³⁾ J. Davy, Researches 1, 199, 1839. — ⁴⁾ Journ. of Physiol. 23, 386, 1898; Guys hospital Reports 57, 283; vgl. auch Lefèvre, Archives de physiol. 1898, p. 11. — ⁵⁾ J. Davy, Researches 1, 150, 1839. — ⁶⁾ Zeitschr. f. Biol. 25, 55, 1889.

Mit diesen Resultaten stimmen die von Stewart¹⁾ nach der gleichen Methode gewonnenen im großen und ganzen gut überein. Bei einer Außentemperatur von 17,6 bis 18,2° C betrug die Temperatur an der Stirn, der rechten Wange, der linken Wange, dem rechten Hypogastrium, sowie an der Stelle des Spitzenstoßes zwischen 32,6 und 35,16° C; dabei war aber die Temperatur der Fußsohle und der Handteller nur etwa 31,0° C.

Nach Rubner²⁾ beträgt die Temperatur der unbedeckten Körperteile durchschnittlich bei 10° C: 29, bei 15°: 29,2, bei 17,5°: 30 und bei 25,6°: 31,7° C. Die bedeckte Haut hatte dabei eine Temperatur von 32 bis 33° C.

Wenn die Haut einer größeren Abkühlung, wie in einem kalten Bade, ausgesetzt wird, so sinkt ihre Temperatur beträchtlich herab; als Beispiel sei auf folgende Versuchsreihe von Lefèvre³⁾ hingewiesen; in derselben Tabelle ist auch die an derselben Versuchsperson gleichzeitig bestimmte Temperatur 2 bzw. 12 mm unterhalb der Hautoberfläche, im subcutanen Gewebe und im *M. biceps*, eingetragen.

Temperatur des Bades Grad C.	Temperatur		
	der Haut	2 mm tiefer	12 mm tiefer
7,0	17,3	23,2	—
15,0	20,9	23,4	36,3
20,6	—	—	35,9
22,5	24,6	26,1	—
25,9	—	—	36,9

Trotz der starken Abkühlung der Haut behielten dennoch die Muskeln ihre normale Temperatur bei.

Wärmer als Rectum sind wenigstens die Organe im oberen Teile der Bauchhöhle. Nach Quincke⁴⁾ überragt beim Menschen die Temperatur im Innern des Magens um durchschnittlich 0,12° C die des Rectums. Beim hungernden Kaninchen beobachtete Ito⁵⁾ im Duodenum eine um 0,7° C höhere Temperatur als im Rectum. Beim Hunde fand Lefèvre⁶⁾ gleichzeitig im Rectum 38,5, in der Leber 39,6° C — also 1,1° C mehr. Dementsprechend war in Versuchen von Cavazzani⁷⁾ an dem gleichen Tiere die Leber stets um 0,14 bis 0,63° C wärmer als das arterielle Blut. Bei verschiedenen Eingriffen stellte sich die Temperatur im Rectum zuweilen höher als die in der Leber dar; indessen war die Lebertemperatur im Anfange des

¹⁾ Studies from the physiol. Laborat. Owens Coll. Manchester 1, 101, 1891; zitiert nach dem Jahresbericht; vgl. auch Masje, Arch. f. pathol. Anat. 107, 48, 1887. — ²⁾ Arch. f. Hyg. 23, 13, 1895; vgl. auch Wurster, Zentralbl. f. Physiol. 2, 4, 1888; Josipowici, Inaug.-Diss. Berlin 1901, S. 13. — ³⁾ Arch. de physiol. 1898, p. 1; vgl. auch Hirsch, Müller und Rolly, Deutsch. Arch. f. klin. Med. 75, 264, 1903. — ⁴⁾ Arch. f. exper. Pathol. 25, 374, 1889. — ⁵⁾ Zeitschr. f. Biol. 38, 88, 1899; vgl. Aronsohn, Arch. f. pathol. Anat. 169, 504, 1902. — ⁶⁾ Arch. de physiol. 1898, p. 258. — ⁷⁾ Zentralbl. f. Physiol. 8, 73, 1894; vgl. auch die früheren Beobachtungen von Claude Bernard, Leçons sur les liquides de l'organisme 1, 141, Paris 1859; Leçons sur la chaleur animale, p. 189. Paris 1876; Jacobson und Leyden, Zentralbl. f. d. med. Wiss. 1870, S. 259.

Versuches, oder wenn die allgemeine Temperatur künstlich wieder zur normalen Höhe gebracht worden war, konstant höher als die Temperatur im Rectum.

Die meisten neueren Untersuchungen ergeben, daß das Blut in der *V. cava inferior* oder im rechten Herzen wärmer ist als das Blut im linken Herzen¹⁾. Die beobachteten Differenzen betragen beim Hunde 0,1 bis 0,6° C, beim Schafe 0,02 bis 0,4° C. Dies kann weder durch die Erwärmung der eingeatmeten Luft, noch durch die Abgabe von Wasserdampf bedingt sein, denn Heidenhain und Körner bekamen ganz dieselben Resultate, auch wenn sie bei künstlicher Atmung eine mit Wasserdampf gesättigte und auf 35 bis 40° C erwärmte Luft benutzten. Sie schlossen daher, daß die betreffende Erscheinung durch die Leber bedingt sei, welche das rechte Herz erwärmen würde; bei künstlicher Abkühlung der Bauchhöhle kehrte sich die Differenz tatsächlich um, und die linke Kammer wurde nun die wärmere. Gegen diese Deutung führt indes Bernard eine Beobachtung von Hering²⁾ an einem Kalbe mit *Ectopia cordis* an; hier war nämlich die rechte Kammer etwa 0,6° C wärmer als die linke, obgleich das Herz vollständig außerhalb des Brustkastens lag und also von der Leber gar nicht beeinflusst werden konnte.

Es scheint daher, daß das venöse Blut in der Tat wärmer ist als das von den Lungen strömende arterielle, was in voller Übereinstimmung damit steht, daß das Blut während seiner Strömung durch die Organe auf Grund der daselbst stattfindenden Wärmebildung erwärmt wird. Es bleibt indes noch zu erklären, wodurch das Blut in den Lungen abgekühlt wird.

Gewisse Teile der Lungen, nämlich die der ganzen konvexen Fläche des Zwerchfelles benachbarten, sowie außerdem die das Herz begrenzenden, sind in der Mehrzahl der Fälle wärmer als das arterielle Blut. In größerer Entfernung vom Zwerchfelle nach oben oder vom Herzen nach außen wird die Temperatur allmählich der des Aortablutes gleich, um in noch größerer Entfernung unter dieselbe zu sinken. Die Differenz geht aber, abgesehen von den oberflächlichsten Schichten der Lungen, nicht leicht über 0,1 bis 0,2° C hinaus (Heidenhain und Körner³⁾).

Als Zahl für die mittlere Tagestemperatur (im Rectum) des gesunden erwachsenen Menschen wird im allgemeinen 37,2 bis 37,5° C angegeben. Es kommen aber individuelle Variationen um mehrere Zehntel Grad vor⁴⁾.

Bei den meisten warmblütigen Tieren ist die Körpertemperatur (im Rectum) wesentlich höher als die des Menschen, wie z. B.: Pferd 37,7 bis 37,9, Rind 38,6 bis 38,9, Schaf 40,0 bis 40,6, Hund 37,9 bis 38,8, Katze 38,7, Schwein 38,7 bis 39,6, Kaninchen 38,7 bis 39,2, Meerschweinchen 37,4 bis 39,2, Affe (*Macacus rhesus*) 37,8 bis 39,7, verschiedene Vögel 41 bis 44° C⁵⁾.

¹⁾ Vgl. G. Liebig, Über die Temperaturunterschiede des venösen und arteriellen Blutes. Gießen 1853; Claude Bernard, Leçons sur la chaleur animale, p. 77. Paris 1876. Heidenhain und Körner, Arch. f. d. ges. Physiol. 4, 558, 1871. Dagegen fanden Colin (Ann. sciences nat. Zool. sér. 4, t. 7, p. 83, 1867), sowie Jacobson und Bernhardt (Zentralbl. f. d. med. Wiss. 1868, S. 643), daß die Temperatur der linken Kammer in der Regel höher war als die in der rechten.

— ²⁾ Arch. f. physiol. Heilkunde 1850, S. 18. — ³⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 4, 563, 1871. — ⁴⁾ Vgl. die Zusammenstellungen bei Pembrey, p. 789, und Richet, p. 91.

— ⁵⁾ Vgl. die Zusammenstellungen bei Pembrey, p. 790, und Richet, p. 86.

Die niedersten Säugetiere, die Monotremata, scheinen eine sehr niedrige und übrigens zwischen weiten Grenzen schwankende Temperatur zu haben. Bei einem Echidna war die Temperatur bei 4° C: 25,5, bei 20°: 28,6, bei 30° C: 30,9 und bei 35° C: 34,8. Ähnliche Variationen zeigten zwei andere Individuen dieser Tierart. Der Ornithorhynchus zeigte dagegen eine fast konstante Temperatur von 31,8 bis 33,6°, wenn die äußere Temperatur von 5 bis 32° C zunahm. Bei den Marsupialia ist die Temperatur höher und zwischen 5 und 30° C etwa ebenso konstant wie bei den höheren Wirbeltieren; Dasyrus: 36,6 bis 38,0, Bettongia: 36,0 bis 36,2, Opossum: 36,1 bis 36,6 (C. J. Martin¹⁾).

Wenn wir von der konstanten Temperatur eines warmblütigen Tieres sprechen, so bedeutet dies im Grunde nur, daß dieselbe, dank den regulatorischen Vorrichtungen, innerhalb gewisser Grenzen von der umgebenden Temperatur unabhängig ist. Konstant, d. h. unter normalen Verhältnissen völlig unverändert, ist sie aber bei weitem nicht, vielmehr schwankt sie im Laufe von 24 Stunden nicht unbeträchtlich, indem sie um 1° C und mehr sich verändert. Wollen wir die durchschnittliche Temperatur des Körpers exakt angeben, so muß diese aus konsequent durchgeführten, genügend zahlreichen Messungen zu den verschiedenen Stunden des Tages und der Nacht hergeleitet werden.

Im Jahre 1843 zeigte Chossat²⁾, daß bei Tieren (Tauben) die Körpertemperatur eine von Tag zu Tag regelmäßig wiederkommende tägliche Schwankung von durchschnittlich 0,74° C darbietet; am Mittag betrug die Temperatur 42,22, um Mitternacht 41,48. Diese Schwankung war nicht von der Temperatur der Außenluft oder von den Jahreszeiten abhängig, stand aber in einem gewissen Zusammenhange mit der Respiration, denn die Atemfrequenz zeigte ganz entsprechende Variationen. Zwei Jahre später berichtete J. Davy³⁾ über gleichlautende Beobachtungen am Menschen. Diese Angaben wurden im Laufe der Zeit immer wieder bestätigt und an der Hand umfangreicher Beobachtungen näher analysiert, so daß ihr Vorhandensein schon längst außer jedem Zweifel steht. Unter den Autoren, die in dieser Richtung gearbeitet haben, ist vor allem Jürgensen⁴⁾, ferner Lichtenfels und Fröhlich⁵⁾, Liebermeister⁶⁾, Ringer und Stuart⁷⁾, Jäger⁸⁾, Richet⁹⁾, Pembrey und Nicol¹⁰⁾, Hörmann¹¹⁾, Benedict und Snell¹²⁾ u. a.¹³⁾ zu erwähnen.

Im großen und ganzen stimmen die von den genannten und anderen Autoren beobachteten täglichen Temperaturschwankungen untereinander gut überein. Daß sie in bezug auf die absolute Zeit des Maximums und Minimums, sowie auf Einzelheiten der Temperaturkurve Verschiedenheiten darbieten, stellt keinen Widerspruch dagegen dar, denn die Lebensweise ver-

¹⁾ Philos. Transact. of the Roy. Society London 195 B, 1, 1902; vgl. auch Semon, Arch. f. d. ges. Physiol. 58, 229, 1894. — ²⁾ Mémoires présent. par divers savants à l'Acad. des sciences Paris 8, 533, 1843. — ³⁾ Philos. Transactions 1845; J. Davy, Researches 1863, p. 14. — ⁴⁾ Jürgensen, Die Körperwärme des gesunden Menschen. Leipzig 1873. — ⁵⁾ Denkschr. d. Akad. d. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl. 3 (2), 113, 1852. — ⁶⁾ Liebermeister, Pathol. u. Therapie des Fiebers, S. 75. Leipzig 1875. — ⁷⁾ Proceedings of the Royal Society 26, 186, 1877. — ⁸⁾ Deutsch. Arch. f. klin. Med. 29, 516, 1881. — ⁹⁾ Richet, La chaleur animale, p. 64, 74. Paris 1889. — ¹⁰⁾ Journ. of Physiol. 23, 386, 1898. — ¹¹⁾ Zeitschr. f. Biol. 36, 319, 1898. — ¹²⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 90, 33, 1902; Amer. Journ. of Physiol. 11, 145, 1904. — ¹³⁾ Vgl. Pembrey, p. 798, und Richet, p. 91.

schiedener Individuen ist doch nicht ganz übereinstimmend, sie gehen zu verschiedener Zeit zu Bette und stehen zu verschiedener Zeit auf, wie sie auch ihr Essen zu verschiedenen Stunden genießen usw.

Als Beispiel der normalen Tagesschwankungen der Körpertemperatur verweise ich auf die Kurven Fig. 31 bis 33. Die von Benedict und Snell entlehnte Kurve Fig. 31 bezieht sich auf einen 20jährigen Studenten, der während der ganzen Beobachtungsdauer im Respirationskalorimeter von Atwater eingeschlossen war. Die Temperatur daselbst betrug konstant 19°C . Die Messungen der Körpertemperatur fanden unter Anwendung der bolometrischen Methode statt, und zwar geschahen die Ablesungen jede dritte oder vierte Minute. In der Kurve, die das Gesamtmittel von vier fast aufeinander folgenden Tagen bei nahezu gleichartiger Lebensweise darstellt, sind Durchschnittszahlen für je 12 Min. angegeben.

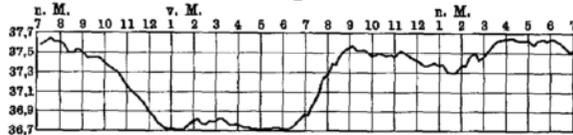
Die Versuchsperson stand um 7 Uhr vormittags auf, frühstückte um $7^{\text{h}} 45'$, nahm um 10^{h} 150 g Wasser zu sich; Mittagessen um $1^{\text{h}} 15'$ nachmittags; um $3^{\text{h}} 30'$ 150 g Wasser; Abendessen um $10^{\text{h}} 45'$. Geht zu Bette um 11 Uhr nachts. Während des Versuches wurde keine eigentliche körperliche Arbeit geleistet.

Fig. 32 stellt die Temperaturschwankungen bei derselben Versuchsperson im nüchternen Zustande dar. Die letzte Mahlzeit wurde acht Stunden vor dem Beginn des Versuches genossen. Wie ersichtlich, ist trotz einzelner Abweichungen der Verlauf der Tagesschwankung ganz derselbe wie in der Fig. 31; der Umfang derselben ($1,18^{\circ}\text{C}$) ist sogar größer als der in Fig. 31 ($0,93^{\circ}\text{C}$).

Die betreffenden Variationen können also nicht durch die Mahlzeiten an und für sich bewirkt werden. Da ferner die Temperatur im Kalorimeter die ganze Zeit konstant war, können sie auch nicht aus Schwankungen der Außentemperatur hergeleitet werden¹⁾.

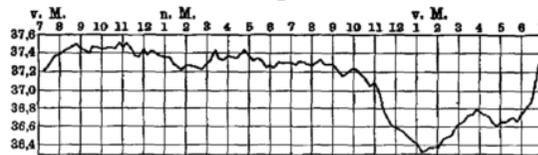
Daß auch grobsinnliche Muskelbewegungen hier nicht maßgebend sind, folgt aus Jürgensens Beobachtungen, welche sämtlich sich auf Individuen beziehen, die die ganze Versuchsdauer im Bette blieben, wenn nicht der Ver-

Fig. 31.



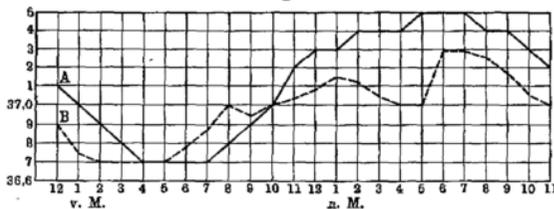
Tagesschwankungen der Körpertemperatur, gewöhnliche Ruhekurve. Nach Benedict und Snell.

Fig. 32.



Tagesschwankungen der Körpertemperatur; Fasten. Nach Benedict und Snell.

Fig. 33.



Tagesschwankungen der Körpertemperatur, Betruhe, nach Jürgensen.

A bei gewöhnlicher Kost; B beim Hunger.

¹⁾ Vgl. auch Hörmann, Zeitschr. f. Biol. 36, 339, 1898.

suchszweck es anders verlangte. Fig. 33 stellt nach Jürgensen ¹⁾ A die Normalkurve eines Menschen bei gewöhnlicher Kost und B die Temperaturkurve bei einem hungernden Menschen dar. Der Umfang der täglichen Schwankung beträgt im ersten Falle 0,8, im zweiten 0,6° C. Er ist, wie auch zu erwarten war, geringer als bei Individuen, die am Tage nicht liegen, auch wenn sie keine eigentliche körperliche Arbeit leisten.

Die betreffenden Schwankungen, welche auch bei Tieren vorkommen ²⁾, zeigen, daß die Regulierung der Körpertemperatur selbst bei den höchsten Warmblütern lange nicht mit derselben Präzision erfolgt, wie man bei ganz einfachen Thermostaten erzielen kann.

Betreffend ihre Ursachen sind sehr verschiedene Ansichten ausgesprochen worden. Da sie auch bei hungernden und bettlägerigen Individuen typisch erschienen, stellte man sich vor, daß sie weder durch die Nahrungsaufnahme, noch durch die Muskeltätigkeit oder die Außentemperatur bedingt seien, und nahm daher an, daß der Verlauf der Tageskurve ursprünglich durch die thermogenen Faktoren (Nahrungsaufnahme, Muskelarbeit) bedingt sei, daß aber hierzu noch die Gewöhnung hinzugekommen war, wodurch eine in nicht näher zu erklärender Weise sich herstellende Periodizität eintritt, welche dann eine gewisse Unabhängigkeit von den ursprünglichen Faktoren erlangt. Liebermeister ³⁾, der diese Anschauung entwickelt hat, denkt noch an die Möglichkeit einer Übertragung der durch Jahrtausende erlangten Gewöhnung auf die Nachkommen.

Einen treffenden Ausdruck der in dieser Richtung gehenden früheren Anschauungen haben wir bei Richet ⁴⁾. Die Tagesschwankungen der Körpertemperatur sind hauptsächlich von der Tätigkeit des Nervensystems abhängig. Das Nervensystem beherrscht die chemischen Vorgänge im Körper; seine Erregung erzeugt also Wärme, seine Untätigkeit verlangsamt die Wärmebildung. Also müssen sich die Perioden von Energie und von Schwäche des Nervensystems durch eine starke oder schwache Wärmebildung kundgeben, und dies unabhängig von allen anderen biologischen oder mesologischen Bedingungen: Klima, Nahrung, Schlaf, Muskeltätigkeit.

Anlässlich unserer Untersuchungen über die Tagesschwankungen der Kohlensäureabgabe bemerkten Sondén und ich ⁵⁾, daß dieselben mit den von Jürgensen ermittelten Schwankungen der Körpertemperatur eine unverkennbare Übereinstimmung darboten. Auf Grund dessen schlossen wir, daß die Ursache dieser Schwankungen wesentlich und wahrscheinlich vor allem von den täglichen Schwankungen in der Intensität des Stoffwechsels bedingt sind.

Dann wies Johansson ⁶⁾ nach, daß Muskelbewegungen unerlässlich sind, um die Körpertemperatur nach einer durch Abkühlung bewirkten Erniedrigung auf den gewöhnlichen Stand zu bringen, und betonte die Bedeutung der Muskelbewegungen für die Tagesschwankungen der Temperatur. Auch zeigte er, wie bei gewöhnlicher Bettruhe unabsichtliche Muskelbewegungen vorkommen, welche die Verbrennung im Körper zuweilen in einem erheblichen Grade steigern. Die Bettruhe stellt also keineswegs einen Zustand dar, wo die Muskelbewegungen ausgeschlossen sind.

¹⁾ A. a. O., S. 33, Tab. 5; S. 34, Tab. 7. — ²⁾ Vgl. hierüber Pembrey, p. 803. —

³⁾ Liebermeister, a. a. O., S. 88. — ⁴⁾ Richet, *La chaleur animale*, p. 69. Paris 1889. — ⁵⁾ Skand. Arch. f. Physiol. 6, 157, 1895. — ⁶⁾ Ebenda 7, 167, 1897.

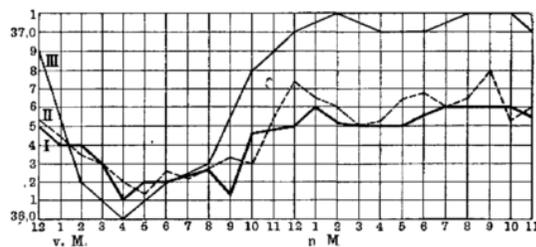
Um diese Frage näher aufzuklären, machte Johansson¹⁾ Versuche, wo er zu den verschiedenen Stunden des Tages, 12 Stunden nach der letzten Mahlzeit, bei vorsätzlicher Muskelruhe die CO₂-Abgabe und die Körpertemperatur bestimmte. Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung seiner Ermittlungen der CO₂-Abgabe, die in Reihe I in zweistündigen, in Reihe II in einstündigen Perioden bestimmt wurde. Zum Vergleich ist die CO₂-Abgabe bei gewöhnlicher Betruhe und in nüchternem Zustande angegeben.

Zeit	CO ₂ -Abgabe pro 2 Stunden		
	Vorsätzliche Muskelruhe		Gewöhnliche Betruhe
	Reihe I g	Reihe II g	
12—2 vormittags	21,3	20,1	23,0
2—4 "	20,5	19,7	22,8
4—6 "	22,1	20,2	21,0
6—8 "	22,4	19,9	24,4
8—10 "	22,9	21,8	27,2
10—12 "	23,2	21,4	27,2
12—2 nachmittags	23,3	21,0	24,8
2—4 "	20,6	21,3	25,9
4—6 "	22,9	21,1	24,2
6—8 "	22,5	20,7	26,2
8—10 "	22,2	20,2	25,4
10—12 "	22,2	20,8	23,6

Das Mittel beträgt in der Reihe I 22,2 g, in der Reihe II 20,72 g. Im ersten Falle nahm die Versuchsperson eine bequeme sitzende Stellung ein, im zweiten lag sie im Bette. Wie ersichtlich, treten hier nur verhältnismäßig geringe Schwankungen auf, und diese weichen hinsichtlich ihres Verlaufes von den bei der gewöhnlichen Betruhe wesentlich ab. Die Schwankungen der CO₂-Abgabe, wie sie bei der gewöhnlichen Lebensweise auftreten, kommen hier gar nicht vor.

In Fig. 34 sind die entsprechenden Stundenmittel für die Körpertemperatur in der Reihe II (I), sowie bei gewöhnlicher Betruhe (II) und bei gewöhnlicher Lebensweise (III) zusammengestellt. Wir sehen, daß das Minimum bei allen drei Kurven etwa zu derselben Zeit, um 4 Uhr vormittags, erscheint; dasselbe ist auch mit dem Zeitpunkte des Maximums, um 7 Uhr nachmittags, der Fall. Die Kurve I ist aber entschieden flacher als die beiden übrigen Kurven, der Umfang der Schwankungen ist hier nur

Fig. 34.



Tagesschwankungen der Körpertemperatur

nach Johansson.
I. Vorsätzliche Muskelruhe; II. gewöhnliche Betruhe; III. gewöhnliche Lebensweise.

¹⁾ Skand. Arch. f. Physiol. 8, 85, 1898

0,5° C, während er bei gewöhnlicher Lebensweise 1,1 beträgt. Es kann daher nicht verneint werden, daß die Muskeltätigkeit in einem sehr wesentlichen Grade sowohl die Tagesschwankungen der Verbrennung als die der Körpertemperatur beeinflußt.

Indessen sind die letzteren in der Kurve I, wenn auch erheblich beschränkt, dennoch nicht vollständig aufgehoben, und es läßt sich daher denken, daß beim nüchternen Menschen noch andere Umstände hier beteiligt sind. Demgegenüber möchte ich jedoch bemerken, daß selbst bei der vorsätzlichen Muskelruhe Schwankungen der Muskeltätigkeit vorkommen (vgl. S. 457), und daß am Tage allerlei Einflüsse sich viel stärker geltend machen als während der Nacht, wo alles still ist. Ich glaube also, daß die Tagesschwankungen der Körpertemperatur, wenn der Einfluß der Nahrung und der umgebenden Temperatur ausgeschlossen sind, fast ausschließlich aus Schwankungen der Muskeltätigkeit herzuleiten sind.

Es ist möglich, daß die Variationen der Körpertemperatur in Johanssons Versuchen zum Teil auch durch entsprechende Schwankungen der umgebenden Temperatur bedingt waren, denn wir finden in der von ihm¹⁾ mitgeteilten graphischen Darstellung seiner Ergebnisse einen nicht zu verkennenden Parallelismus im Verlaufe der beiden Temperaturen²⁾.

Es gelingt zuweilen, einen hungernden Hund den ganzen Tag hindurch ganz ruhig zu halten, wie dies aus den oben (S. 417) angeführten Beobachtungen von Rubner über die stündlichen Variationen der CO₂-Abgabe hervorgeht. Bei drei solchen Tieren hat Raudnitz³⁾ von 9 Uhr vormittags bis 6 Uhr nachmittags Temperaturbestimmungen gemacht und die Schwankungsbreite gleich 0,4, 0,55 und 0,12° C gefunden. Bei einem über 24 Stunden ausgedehnten Versuche von Prausnitz⁴⁾ war die Schwankungsbreite der Temperatur eines hungernden Hundes nur 0,25 (Maximum 38,30, Minimum 38,05° C).

Für die Bedeutung der Muskeltätigkeit für die Tagesschwankungen spricht noch die Tatsache, daß die Größe des Temperaturfalles bei vorsätzlicher Muskelruhe von der Anfangstemperatur in hohem Grade abhängig ist, und daß sich die Körpertemperatur dabei einem bestimmten Minimum nähert, welches bei acht einstündigen Versuchen von Johansson durchschnittlich 36,56° C betrug (Maximum 36,72, Minimum 36,37, mittlere Variation \pm 0,08° C). Dasselbe geht auch aus späteren Versuchen von v. Wendt⁵⁾ hervor. Nach diesen wird beim nüchternen, vorsätzlich ruhenden Menschen das Minimum nach etwa 1½ Stunden erreicht; nach Aufnahme von Nahrung, insbesondere von Eiweiß, ist die Sache mehr verwickelt, indem der Temperaturfall langsamer und unter verschiedenen Schwankungen erfolgt.

Wenn die hier vertretene Auffassung richtig ist, so würde man erwarten können, daß bei umgekehrter Lebensweise, wenn die Arbeit während der Nacht geleistet und der Tag zum Schlafen benutzt wird, auch der Verlauf der Tagesschwankungen sich umkehren sollte, und daß also die Temperatur am Tage herabsinken und während der Nacht ansteigen würde. Die am Menschen angeführten hierher gehörigen Versuche scheinen indessen dieser Voraussetzung keine sichere Stütze zu geben.

¹⁾ Skand. Arch. f. Physiol. 8, 142, 1898. — ²⁾ Vgl. auch Hörmann, Zeitschr. f. Biol. 36, 319, 1898, welcher dieselbe Auffassung wie Johansson vertritt. — ³⁾ Zeitschr. f. Biol. 24, 471, 1888. — ⁴⁾ Ebenda 36, 349, 1898. — ⁵⁾ Finska Läkarsällskapets Handlingar 47 (2), 615, 1905.

Allerdings gibt Krieger¹⁾ an, daß der typische Gang der Tagesschwankungen umkehrbar ist, sobald man am Tage schläft, in der Nacht wacht, ißt, trinkt und arbeitet. Meines Wissens hat er aber seine hierher gehörigen Beobachtungen nie veröffentlicht. Auch Debzynski²⁾ findet, daß nächtliche, anhaltende Muskelarbeit das Verhältnis der täglichen Temperaturschwankungen umkehrt und den höchsten Temperaturstand am Morgen (37,8° C), den niedrigsten abends veranlaßt (35,3° C), sowie daß Nachtwachen ohne Muskelarbeit ebenfalls, jedoch in sehr geringem Grade die Morgentemperatur steigert (morgens 37,7, abends 37,5° C). Ferner erwähnt Carter³⁾, daß ein Ingenieur, der daran gewöhnt war, am Tage zu schlafen und während der Nacht Arbeit zu leisten, eine Morgentemperatur von 37,25 und eine Abendtemperatur von 36,8° C hatte. Endlich teilt Jaeger⁴⁾ Beobachtungen an vier Militärbäckern, welche ihre Arbeit während der Nacht ausführten, mit; ihre Temperatur war, solange sie arbeiteten, hoch und sank während der Ruhezeit, so daß hier gewissermaßen eine Umkehr der Temperatur stattfand. Als aber einer der Bäcker einen Tag ruhend im Bett zubrachte, verhielt sich sofort seine Temperatur wie bei gewöhnlichen Menschen.

U. Mosso⁵⁾ untersuchte an sich selber die Temperaturschwankungen während 4 Tage, während welcher er von 11 Uhr vormittags bis 6 Uhr nachmittags schlief, um 11 Uhr abends frühstückte und um 6 Uhr morgens zu Mittag speiste; fast die ganze Zeit des Wachens beschäftigte er sich mit Lesen oder Schreiben. Hierbei fand tatsächlich von Tag zu Tag eine Verschiebung des Temperaturmaximums statt, indem dasselbe, welches bei normaler Lebensweise um 4 bis 5 Uhr nachmittags eintraf, am vierten Tage der umgekehrten Lebensweise um 9 Uhr vormittags erschien; die Zeit des Minimums verschob sich gleichzeitig von 6 Uhr vormittags auf 11^h 30' nachmittags. Bei der umgekehrten Lebensweise stieg aber die Körpertemperatur ununterbrochen; während sie normal durchschnittlich 36,67° betrug, war sie am vierten Tage der umgekehrten Lebensweise 37,30°; normal war das Maximum 36,90°, am vierten Tage aber 37,80°; an diesem Tage betrug das Minimum 36,80°, also nur 0,1° weniger als das normale Maximum. Das zu ungewöhnlicher Zeit auftretende Maximum stellt daher gewissermaßen eine Superposition auf die normale Temperaturkurve dar; bei Mossos Versuchen wurde also keine wirkliche Umkehr der Temperaturkurve erzielt.

Nach der schon erwähnten Methode machten Benedict und Snell⁶⁾ Versuche an einem jungen Manne, der 10 Nächte lang am Respirationskalorimeter von Atwater beschäftigt war. Die Arbeit dauerte zwischen 6^h 30' nachmittags und 7^h 30' vormittags; diese Zeit umfaßten auch die Temperaturmessungen; das Mittagessen wurde um 1^h 30' vormittags genossen. In den an dieser Person erhaltenen Temperaturkurven läßt sich keine Neigung zu einer stufenweisen Veränderung des allgemeinen Verlaufes der Kurve erkennen. Vielmehr tritt in der ersten Nachthälfte das Fallen, am Morgen das Steigen deutlich hervor. Während der unmittelbar auf die letzte Arbeitsnacht folgenden 12 Ruhestunden wurde die Temperaturmessung noch fortgesetzt. Vergleicht man die gewöhnliche Ruhekurve mit der der letzten 24 Stunden der umgekehrten Lebensweise, so findet man allerdings eine auffallende Verschiedenheit, aber keine Umkehrung des Verlaufes (Fig. 35 a. f. S.).

Selbst bei einem Manne, der 8 Jahre lang seine Arbeit während der Nacht verrichtete und am Tage zwischen 12 bis 5 Uhr nachmittags schlief, stellte sich in der Temperaturkurve, deren ganzer Verlauf übrigens sehr eigentümlich war, am Abend die Neigung zum Fallen und am Morgen zum Steigen dar (Benedict⁷⁾).

Durch diese Erfahrungen würde man betreffend den Einfluß der Muskelleistungen auf die Tagesschwankungen der Körpertemperatur zweifelhaft werden, wenn nicht selbst gegen diese Versuche eine übrigens von den Autoren selber hervorgehobene Bemerkung gemacht werden könnte. Während des Versuches mit

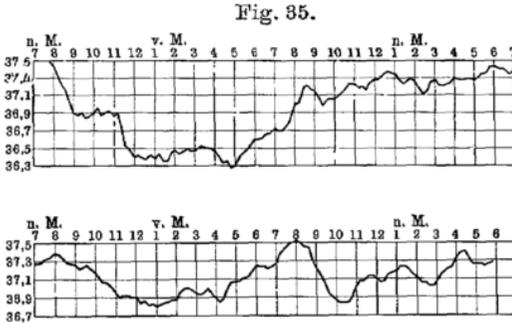
¹⁾ Zeitschr. f. Biol. 5, 479, 1869. — ²⁾ Medycina 1875, No. 8; zit. nach Jahresber. f. d. ges. Medizin 1875 (1), S. 248. — ³⁾ Journ. of nerv. and ment. diseases 17, 785, 1890; zit. nach Pembrey, p. 802. — ⁴⁾ Deutsch. Arch. f. klin. Med. 29, 527, 1881. — ⁵⁾ Arch. ital. de biol. 8, 177, 1887. — ⁶⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 90, 33, 1902. — ⁷⁾ Amer. Journ. of Physiol. 11, 145, 1904.

umgekehrter Lebensweise schlief die Versuchsperson beträchtlich kürzere Zeit, als sie sonst gewöhnt war; infolgedessen liegt auch hier keine vollständige Umkehrung der Lebensweise vor. Übrigens lehrt uns doch die Erfahrung, daß der Mensch, der nun einmal daran gewöhnt ist, am Tage zu arbeiten und während der Nacht zu schlafen, nicht leicht es vermag, am Tage zu schlafen, auch wenn die Nacht mit strenger Arbeit zugebracht ist. Besonders in den Städten fehlt am Tage die Stille, die während der Nacht in einem so hohen Grade zum ruhigen

Schlaf beiträgt; auch das Licht läßt sich nicht in derselben Weise wie während der Nacht ausschließen, wie es auch für viele, vielleicht die meisten Menschen, schwer ist, gut einzuschlafen, wenn die gewöhnliche Zeit zum Schlafengehen schon vorbei ist.

Durch Versuche am Menschen dürfte also die vorliegende Frage noch nicht als entschieden erachtet werden können. Wir besitzen aber Beobachtungen an Tieren, die, wie es scheint, mit großer Deutlichkeit den Einfluß der körperlichen Tätigkeit auf die Tagesschwankungen der Temperatur erweisen.

Beim Affen verhält sich die Körpertemperatur unter normalen



Tagesschwankungen der Körpertemperatur.
Nach Benedict und Snell.

Die obere Kurve: gewöhnliche Ruheskurve; die untere Kurve: am zehnten Tage bei umgekehrter Lebensweise.

Verhältnissen ganz wie beim Menschen, nur mit der Ausnahme, daß die Schwankungsbreite hier etwas größer ist. Galbraith und Simpson¹⁾ stellten nun Versuche in der Weise an, daß die Tiere am Tage im Dunkeln und während der Nacht im Licht gehalten wurden: Hierbei trat eine Umkehr der Temperaturkurve sehr schön hervor. Wenn die Tiere die ganze Versuchszeit im Dunkel gehalten wurden, so verschwand die typische Form, und die Kurve zeigte nur zufällige, unregelmäßige Variationen. Ganz dasselbe war der Fall, wenn die Tiere bei ununterbrochener Beleuchtung gehalten wurden. Bemerkenswert ist auch die Beobachtung der genannten Autoren²⁾, daß die Tagesschwankungen der Körpertemperatur bei den Nachtvögeln den inversen Typus darbieten.

Daß die Körpertemperatur durch eine stärkere Muskelarbeit in die Höhe getrieben wird, steht durch die Arbeiten von Davy³⁾, Jürgensen⁴⁾, Liebermeister⁵⁾, Obernier⁶⁾, Bouvier⁷⁾, Pembrey und Nicol⁸⁾, Woodhead⁹⁾, Benedict und Snell¹⁰⁾ u. a. außer jedem Zweifel. Beispielsweise sei angeführt, daß eine der Versuchspersonen von Jürgensen nach vierstündigem Holzsägen eine Steigerung der Körpertemperatur um $1,10^{\circ}\text{C}$ darbot. Eine Bergbesteigung von $1^{\text{h}} 44'$ Dauer bewirkte bei Liebermeister einen Temperaturanstieg von $1,45^{\circ}\text{C}$. Benedict und Snell ließen ihre Versuchsperson während 8 Stunden eine Arbeit von etwa 222 000 kgm leisten. Die Arbeit war auf vier Perioden von je 2 Stunden verteilt. Ihre Wirkung äußerte sich in einer sehr rapiden Zunahme der Körpertemperatur, die dann, solange die Arbeit dauerte, auf einem fast konstanten Niveau blieb. Pro zweistündige Arbeit betrug die Steigerung bis zu $0,72^{\circ}\text{C}$.

¹⁾ Journ. of Physiol. 30, proceedings 20, 1903. — ²⁾ Ebenda 33, 225, 1905. — ³⁾ Davy, Researches 1863, p. 9, 16, 47. — ⁴⁾ Jürgensen, a. a. O., S. 46. — ⁵⁾ Liebermeister, a. a. O., S. 81. — ⁶⁾ S. Pembrey, p. 807. — ⁷⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 2, 386, 1869. — ⁸⁾ Journ. of Physiol. 23, 386, 1898; Guys hospital Reports 57, 283. — ⁹⁾ Journ. of Physiol. 23, proceedings 15, 1899. — ¹⁰⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 90, 46, 1902.

Auf der anderen Seite sinkt die Körpertemperatur während des Schlafes¹⁾, was wohl vor allem mit der größeren Muskelruhe in Zusammenhang gebracht werden muß, denn die Temperatur sinkt nicht tiefer im Schlafe, als wenn die Versuchsperson zu derselben Zeit des Tages in wachem Zustande ganz still liegt.

Nach Davy²⁾ würde auch die geistige Arbeit die Körpertemperatur erhöhen. Desgleichen gibt Gley³⁾ an, daß seine Temperatur bei stillem Lesen um etwa $0,16^{\circ}\text{C}$ ansteigen konnte. Auch Rumpf⁴⁾ findet, daß durch angestrengte geistige Arbeit die Temperatur etwas erhöht wird. Albutt⁵⁾ konnte aber bei geistiger Arbeit keine Temperatursteigerung beobachten, und es liegt alle Wahrscheinlichkeit in der Folgerung Specks⁶⁾, daß, wenn bei geistiger Arbeit eine Steigerung des Stoffwechsels (und der Temperatur) erscheint, diese auf einer gleichzeitigen Muskeltätigkeit beruht, wie es ja eine allgemeine Erfahrung ist, daß bei stark gespannter Aufmerksamkeit unwillkürliche Muskelbewegungen leicht auftreten.

Über die Einwirkung der Nahrungsaufnahme liegen Beobachtungen von Davy⁷⁾, Lichtenfels und Fröhlich⁸⁾, Jürgensen⁹⁾, Ringer und Stuart¹⁰⁾, Liebermeister¹¹⁾, Pembrey und Nicol¹²⁾, Benedict und Snell¹³⁾ u. a.¹⁴⁾ vor. Aus denselben folgt, daß die Nahrungsaufnahme allerdings eine Temperatursteigerung um etwa $0,1$ bis $0,4^{\circ}\text{C}$ verursachen kann, daß aber der Gang der Körpertemperatur in der 24stündigen Periode von dem Zeitpunkte der Nahrungsaufnahme nicht beherrscht wird. Die durchschnittliche Temperatur pro 24 Stunden zeigt beim Hungern eine Abnahme, die aber nur von geringem Grade ist¹⁵⁾. Nach Benedict und Snell besteht die Hauptwirkung des Fastens in einer Verminderung der Schwankungsbreite der Temperaturkurve. Wurde nach schwerer Arbeit gefastet, so erniedrigte sich die Schwankung bei langen Perioden von nahezu stetiger Temperatur auf etwa $0,6^{\circ}\text{C}$. An den Fastentagen, nach vorhergegangener schwerer Arbeit sank der Durchschnittswert der Körpertemperatur nahezu um 1°C .

Angesichts der durch Muskeltätigkeit stattfindenden chemischen Wärmeregulation (vgl. Stoffwechsel S. 459) ist es nicht leicht, die Einwirkung der Außentemperatur auf die Körpertemperatur rein zum Ausdruck zu bringen. Von vornherein ist es indes selbstredend, daß die Körpertemperatur beim vollständig ruhenden, nüchternen Menschen um so schneller herabsinken muß, je niedriger die Außentemperatur ist.

Durch später zu erörternde Beobachtungen ist es ein für allemal festgestellt, daß die Körpertemperatur bei den frei lebenden warmblütigen Tieren trotz sehr hoher, bzw. sehr niedriger Außentemperatur dennoch im großen und ganzen unverändert bleibt. Innerhalb gewisser, für verschiedene Tier-

¹⁾ Vgl. Jürgensen, a. a. O.; Liebermeister, a. a. O., S. 87, 92; U. Mosso, Arch. ital. de biol. 8, 177, 1887. — ²⁾ Davy, Researches 1863, p. 18 (Phil. Transact. 1845). — ³⁾ Richet, La chaleur animale, p. 98. — ⁴⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 33, 601, 1884. — ⁵⁾ Pembrey, p. 808. — ⁶⁾ Arch. f. exper. Pathol. 15, 143, 1881. — ⁷⁾ J. Davy, Researches 1863, p. 19. — ⁸⁾ Denkschr. d. Akad. d. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl. 3 (2), 113, 1852. — ⁹⁾ Jürgensen, a. a. O., S. 21. — ¹⁰⁾ Proc. of the Royal Society 26, 194, 1877. — ¹¹⁾ Liebermeister, a. a. O., S. 88. — ¹²⁾ Journ. of Physiol. 23, 386, 1898. — ¹³⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 90, 50, 1902. — ¹⁴⁾ Vgl. Pembrey, p. 809. — ¹⁵⁾ S. auch Skand. Arch. f. Physiol. 7, 36, 1896.

arten verschiedener Grenzen übt also die Außentemperatur, wenn die chemische Wärmeregulation nicht absichtlich gestört wird, nur einen verhältnismäßig geringen Einfluß auf die Körpertemperatur aus, und es wird sich hier also nur um Veränderungen ziemlich geringen Umfanges handeln.

Über die dauernde Einwirkung verschieden hoher Temperaturen machte Davy¹⁾ während einer Reise von England nach Ceylon Beobachtungen an vielen gesunden Individuen. Durchschnittlich betrug die in der Mundhöhle gemessene Temperatur bei 15,6° C: 36,9, bei 25,6: 37,2°, bei 26,7: 37,6°²⁾. Reynard und Blossville³⁾ fanden bei 26 bis 30° die Temperatur bei acht Männern gleich 37,58, bei 12 bis 17° aber nur 37,11°. Rattray⁴⁾ hatte am Äquator (28,9° C) in der Mundhöhle eine Temperatur von 37,25, in England (18,3° C) eine von 36,8°. Bei acht Individuen beobachtete Brown-Séguard⁵⁾ eine Temperaturzunahme um 1,3° C, wenn die Außentemperatur von 8 auf 29,5° C anstieg.

Dagegen beobachtete Crombie⁶⁾ in Bengalen nur eine Steigerung um 0,23° C und fügt außerdem hinzu, daß die Differenz der Temperatur im gemäßigten Klima gegenüber bei längerem Aufenthalt noch mehr abnahm. Neuhauss⁷⁾ fand die um 6 Uhr morgens gemessene Rectaltemperatur im gemäßigten Klima, bei einer Außentemperatur von 8 bis 18°, durchschnittlich gleich 36,65, in den Tropen, bei einer Außentemperatur von 22 bis 31°, durchschnittlich 36,9° C.

Endlich geben Boileau, Thornley und Furnell⁸⁾, auf ein sehr umfangreiches Material gestützt, an, daß die Temperatur des gesunden Europäers in der Axille in den Tropen ganz dieselbe ist wie in England. Boileau spricht sogar den Gedanken aus, daß die Temperatur in den Tropen wegen der starken Wasserverdunstung etwas geringer als im gemäßigten Klima sei. Auch Eykman⁹⁾ gibt an, daß die mittlere Temperatur des ruhenden Menschen in den Tropen durchaus nicht höher ist als in der gemäßigten Zone.

Aus diesen Erfahrungen dürfte folgen, daß sich die Einwirkung eines warmen Klimas auf verschiedene Individuen etwas verschieden gestaltet, je nachdem die Fähigkeit derselben, gegen die höhere Außentemperatur zu kämpfen, mehr oder weniger ausgebildet ist. Bietet es einem Individuum große Schwierigkeit, durch Veränderungen der Wärmeabgabe sich von der überschüssig gebildeten Wärme zu befreien, so muß selbstverständlich die Körpertemperatur bei einer Außentemperatur ansteigen, die von einem anderen Individuum ganz wohl ertragen wird.

Die starken Veränderungen der Wärmeabgabe, die durch verschiedene kalte oder warme Bäder bewirkt werden, üben auf die Körpertemperatur eine große Wirkung aus. Ich muß indes wegen Mangel an Raum unterlassen, diese Erscheinungen, welche vor allem aus dem Gesichtspunkte der Hydrotherapie studiert worden sind, hier näher zu besprechen.

Unter Bezugnahme auf die Erfahrungen über die durch verschiedene Variablen bewirkten Veränderungen des Stoffwechsels (vgl. Kap. V und VI der Stoffwechselphysiologie) würden die beim nichtfiebernden, warmblütigen Tiere auftretenden Temperaturschwankungen etwa in folgender Weise aufzufassen sein.

Das Vermögen des Körpers, seine Temperatur zu regulieren, ist verhältnismäßig beschränkt, vor allem weil seine Wärmebildung nicht ausschließlich von dem augenblicklichen Bedarf an Wärme bestimmt ist, sondern auch, und zwar in einem sehr wesentlichen Grade, auf den eigenen Leistungen der

¹⁾ J. Davy, *Researches* 1, 161, 1839. — ²⁾ Vgl. auch derselbe, *Researches* 1863, p. 15, 45, 50 (*Phil. Transact.* 1845, 1850). — ³⁾ Pembrey, p. 812. — ⁴⁾ *Proc. of the Royal Soc.* 18, 526, 1870. — ⁵⁾ *Journ. de la physiol.* 2, 549, 1859. — ⁶⁾ Pembrey, p. 813. — ⁷⁾ *Arch. f. pathol. Anat.* 134, 365, 1893. — ⁸⁾ *Lancet* 1873 (2), 23. Aug.; 1878 (1), 413, 554; (2), 110. — ⁹⁾ *Arch. f. pathol. Anat.* 133, 105, 1893; 140, 125, 1895; vgl. auch Glogner, *Ebenda* 116, 540, 1889.

Organe beruht. Wenn die Wärmebildung ausschließlich von dem Wärmeverlust abhängig wäre, so könnte man sich eine wirklich konstante Temperatur wenigstens denken. Als einen solchen Zustand könnte man möglicherweise die vorsätzliche Muskelruhe beim nüchternen Körper auffassen, und in der Tat nähert sich ja die Körpertemperatur hier allmählich einem ziemlich bestimmten Punkte. Sobald aber eine regere Tätigkeit im Körper entsteht — Verdauung, Muskelleistung — so steigt die Wärmebildung augenblicklich an; die Wärmeabgabe kann dieser vermehrten Wärmebildung nicht sogleich folgen: es muß also die Körpertemperatur zunehmen. Je intensiver die Arbeit ist, um so mehr steigt *ceteris paribus* die Temperatur an, obgleich die gleichzeitig stattfindende verstärkte Wärmeabgabe die Steigerung doch innerhalb mäßiger Grenzen hält. Wenn sich der Tag zu Ende neigt und die Muskelbewegungen usw. allmählich kleineren Umfangs werden, beginnt auch die Körpertemperatur herabzusinken, bis endlich das Minimum im Laufe der Nacht erreicht wird.

Aus seinen Erfahrungen über die Körpertemperatur und deren Variationen abstrahierte Jürgensen ein allgemeines Gesetz, welches nach ihm den ganzen Komplex der Erscheinungen beherrscht. Beim gesunden Menschen ist unter allen Umständen das Bestreben vorherrschend, ein bestimmtes Tagesmittel der Temperatur zu erreichen, welches sich mit geringfügigen Schwankungen um $37,2^{\circ}\text{C}$ bewegt. Um dieses Mittel zu erreichen, finden Kompensationen statt. Diese können sich über kürzere oder längere Zeit erstrecken, und zwar ist die Regel, daß sie sich nicht unmittelbar nach einer Abweichung von der Norm in voller Stärke zeigen; auch wird dabei eine bestimmte absolute Zahl nicht überschritten.

Den Beweis für dieses Gesetz findet Jürgensen wesentlich in der Erscheinung, daß an einem und demselben Individuum die Mittelzahlen für eine genügend lange Periode, trotz sehr variierender äußerer Lebensbedingungen, eine merkwürdige Konstanz darbieten: Wärmeentnahme oder Wärmezufuhr, Hunger oder reichliche Kost, Arbeit oder Ruhe verändern in dieser Beziehung nichts, immer kommt bei einer genügend langen Dauer der Beobachtung (2 bis 9 Tage) dieselbe Mittelzahl heraus.

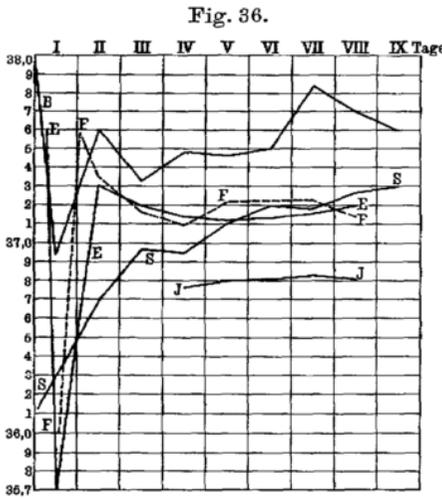
Jürgensen machte keinen Versuch, das Kompensationsgesetz näher zu erklären, und, soviel ich ihn verstehe, scheint er an eine nicht näher zu definierende Tätigkeit des Körpers zu denken. Meinerseits stelle ich mir vor, daß sich die Erscheinung aus dem, was wir schon betreffend der Wärmeökonomie des Körpers kennen, ziemlich befriedigend erklären läßt. Wir wissen, wie eine Abkühlung des Körpers, wenn sie nicht zu weit getrieben wird, eine vermehrte Wärmeproduktion hervorruft, wodurch der Abkühlung Widerstand geleistet wird. Diese vermehrte Wärmebildung ist indessen nicht so genau abgepaßt, daß nicht ein Überschuß an Wärme unter Umständen erzeugt wird, infolgedessen die Temperatur etwas ansteigen muß. Der weiteren Steigerung wird durch die jetzt eintretende Gegenregulation wieder entgegengewirkt. Nach einer starken Muskelarbeit ist, wegen der Ermüdung usw., die Muskelspannung geringer als gewöhnlich beim ruhenden Menschen: die Wärmebildung ist somit geringer und die Körpertemperatur sinkt leichter als sonst auf das Minimum. In derselben Weise können wahrscheinlich sämtliche Kompensationen aus schon bekannten und sicher fest-

gestellten physiologischen Tatsachen eine befriedigende Deutung finden, ohne daß wir zur Annahme eines dunkeln Strebens des Körpers, ein bestimmtes Tagesmittel zu erreichen, gezwungen wären¹⁾.

Die Variationen der Körpertemperatur in verschiedenem Alter sind im großen und ganzen nur wenig erheblich.

Da der Fötus einen gewissen, wenn auch geringen Stoffwechsel hat, muß seine Körpertemperatur etwas höher als die der Mutter sein, was auch durch direkte Beobachtungen erwiesen worden ist. In der Regel beträgt die Differenz indes nur etwa 0,2 bis 0,3° C, obgleich auch viel größere Differenzen beobachtet worden sind²⁾.

Unmittelbar nach der Geburt beträgt die Temperatur durchschnittlich nach Bärensprung³⁾ 37,8, nach Schäfer⁴⁾ 37,6, nach Eröss⁵⁾ 37,6, nach Sommer⁶⁾ 37,7, nach Förster⁷⁾ 37,6, nach Wurster⁸⁾ 37,4 und nach Fehling⁹⁾ 38,1° C.



Die Körpertemperatur während der ersten Lebenstage nach Jundell. Vgl. den Text.

Sofort nach der Geburt erfährt die Temperatur teils durch die Abkühlung im Bade, teils, und zwar hauptsächlich, durch die Veränderungen der Wärmebildung und -abgabe einen Abfall von durchschnittlich etwa 0,6 bis zu 1,9° C, wonach sie wieder anfängt zu steigen. Wie sich die Körpertemperatur dabei verändert, ist aus Fig. 36 ersichtlich, wo die von Bärensprung (B), Förster (F), Eröss (E), Sommer (S) und Jundell¹⁰⁾ (J) ermittelten Werte übersichtlich zusammengestellt sind. Zu bemerken ist, daß Försters Messungen in der Axille, die übrigen im Rectum ausgeführt sind. Aus den Kurven ist ohne

weiteres ersichtlich, daß die Körpertemperatur nach dem starken Abfallen bald wieder die Höhe von durchschnittlich etwa 37° C erreicht.

Angesichts der normalen Tagesschwankungen der Körpertemperatur lassen sich einigermaßen befriedigende Aufschlüsse über die Temperatur in verschiedenem Alter nur durch konsequent durchgeführte Messungen zu verschiedenen Stunden des Tages erhalten. Solche Messungen hat Jundell¹¹⁾

¹⁾ Vgl. Jundell, *Jahrb. f. Kinderheilk.*, N. F., 59, 608, 1904. — ²⁾ S. Preyer, *Die spezielle Physiologie des Embryo*, Leipzig 1885, S. 362. — ³⁾ *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1851, S. 138. — ⁴⁾ Vgl. Preyer, *A. a. O.*, S. 369 f. — ⁵⁾ *Jahrb. f. Kinderheilk.*, N. F., 24, 189, 1886. — ⁶⁾ *Deutsche med. Wochenschrift* 1880, S. 569, 586, 595, 605, zit. nach Jundell. — ⁷⁾ *Journ. f. Kinderkrankh.* 39 (1862), zit. nach Jundell. — ⁸⁾ *Berl. klin. Wochenschr.* 1869, S. 393. — ⁹⁾ *Arch. f. Gynäkologie* 6, 385, 1874; vgl. auch Vierordt, *Physiologie des Kindesalters* in Gerhardt's Handb. d. Kinderkrankh., Tübingen 1881, S. 379. — ¹⁰⁾ *A. a. O.*, S. 523. — ¹¹⁾ *A. a. O.*, S. 614; vgl. Bärensprung, *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1851, S. 153; Ringer und Stuart, *Proceed. of the Royal Society* 26, 194, 1877; Pembrey, p. 804.

an Menschen von 5 Tagen bis 22 Jahren neuerdings veröffentlicht. Seine Resultate sind folgende.

Alter	Mittlere Temperatur
5 bis 8 Tage	36,82
4 bis 5 Wochen	37,13
2 Monate	37,12
6 Monate	37,15
2 bis 5 Jahre	36,92
18 bis 22 Jahre	36,85

Wie ersichtlich, sind die Variationen nur sehr klein, und die maximale Differenz beträgt nur $0,33^{\circ}\text{C}$.

Im hohen Alter würde, nach mehreren Autoren¹⁾, die Körpertemperatur (Rectum) ein klein wenig ansteigen, was aber von anderen, unter der Bemerkung, daß kein Unterschied vorliegt, oder daß die Temperatur sogar niedriger ist, in Abrede gestellt wird. So gibt z. B. Chelmonski, der die Temperatur an 54 Greisen zwischen 71 bis 98 Jahr alt untersuchte, an, daß dieselbe in der Axille am Morgen durchschnittlich $36,3$, am Abend $36,11^{\circ}\text{C}$ betrug; an 15 Greisen desselben Alters war die Rectaltemperatur durchschnittlich am Morgen $36,58$, am Abend $36,65^{\circ}\text{C}$. Auch Charcot findet, daß die Rectaltemperatur bei alten Individuen etwa gleich groß wie bei jüngeren ist, bemerkt aber, daß die Temperatur der Axille um 1°C und mehr niedriger als diese sein kann, sowie daß sie sich durch eine sehr große Beweglichkeit auszeichnet.

Die ausführlichsten Beobachtungen über die normalen Tagesschwankungen bei Menschen in verschiedenem Alter verdanken wir Jundell²⁾. Seine Resultate, denen mehr als 3000 Einzelbeobachtungen zugrunde liegen, sind in Fig. 37 bis 41 (a. f. S.) graphisch dargestellt. Die Kurven stellen Durchschnittszahlen dar, und in denselben sind also alle als zufällig zu betrachtenden Variationen ausgeglichen. Bei Säuglingen während des 5. bis 8. Lebensstages (Fig. 37) begegnen wir nur ganz geringfügigen Variationen, und wir haben hier noch keine Andeutung von dem normalen Verlauf der Tagesschwankungen. Nicht ohne Grund bemerkt Jundell im Anschluß hierzu, daß dieses Resultat eine kräftige Stütze der Auffassung erteilt, nach welcher die normalen Tagesschwankungen vor allem durch die Variationen der Muskeltätigkeit verursacht sind, denn gerade beim neugeborenen Kinde bietet weder die psychische noch die körperliche Tätigkeit den ganzen Tag hindurch irgend welche erhebliche Schwankungen dar.

Schon bei Kindern im Alter von 4 bis 5 Wochen (Fig. 38), bzw. 2 Monaten (Fig. 39) stellen sich die betreffenden Variationen der Körpertemperatur typisch dar; sie werden bei 6monatigen (Fig. 40) und 2- bis 5jährigen Kindern (Fig. 41) noch accentuierter und verhalten sich bei denselben ganz wie bei dem erwachsenen Menschen.

¹⁾ Vgl. Davy, Researches 1863, p. 4; Bärensprung, a. a. O., S. 154; Charcot, Gazette hebdomadaire de médecine et de chirurgie, 1869, p. 324; Pembrey, p. 805; Chelmonski, Deutsch. Arch. f. klin. Med. 61, 206, 1898. — ²⁾ Jahrb. f. Kinderheilk., N. F., 69, 521, 1904; über die von Jundell benutzte Methode vgl. das Original.

Um dieses Verhalten zahlenmäßig ausdrücken zu können, hat Jundell nach dem Vorgange Jürgensens die mittlere Tages- und die mittlere Nachttemperatur berechnet. Da indessen eine derartige Trennung doch ziemlich

Fig. 37.

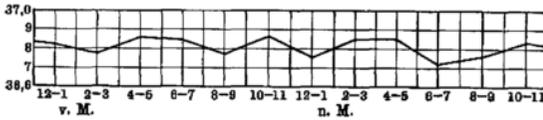


Fig. 38.

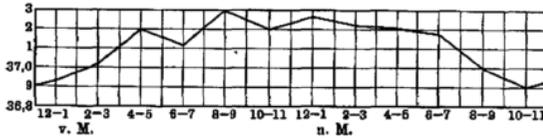


Fig. 39.

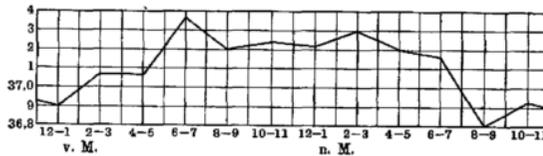


Fig. 40.

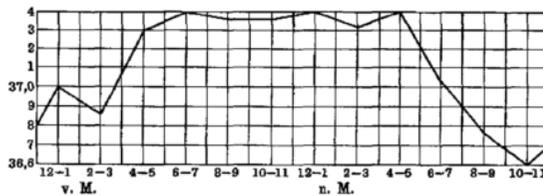
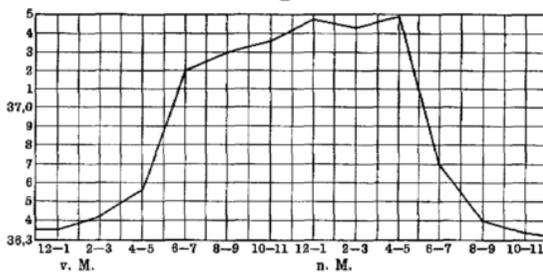


Fig. 41.



Tagesschwankungen der Körpertemperatur bei Kindern von verschiedenem Alter, nach Jundell.

Fig. 37, 5. bis 8. Lebenstag. Fig. 38, 1. Monat. Fig. 39, Ende des 2. und Anfang des 3. Monats. Fig. 40, 6. Monat. Fig. 41, 2. bis 5. Lebensjahr.

wiegend bestimmte Verrichtungen des Großhirns und des Kopfmarkes. Das Tier zeigt bedeutende Neigung zum Einschlafen, die auf bewußte Empfindung zu beziehende Reaktion auf pathische Reize ist schwächer oder bleibt aus, der

willkürlich ist, scheint es mir einfacher, die Schwankungsbreite aus der Differenz zwischen Maximum und Minimum der 24 stündigen Periode herzuleiten. In dieser Weise berechnet, ergeben Jundells Beobachtungen folgendes (s. Tabelle' auf folgender Seite).

Wenn der Körper einer zu starken Abkühlung oder Erwärmung ausgesetzt wird, so vermag er nicht mehr seine Eigentemperatur zu regulieren, und dieselbe sinkt und steigt dann mit der Außentemperatur. Je mehr sich die Körpertemperatur unter solchen Umständen von der normalen entfernt, um so größer werden auch die Störungen der Körperfunktionen.

Über die bei Abkühlung des Kaninchens erscheinenden Veränderungen hat Winternitz¹⁾ folgende Erfahrungen mitgeteilt.

Eine Abkühlung des Tierkörpers auf rund 34 bis 31°C wirkt schädigend auf wärmerregulatorische Zentren des Großhirns, denn die Zitterbewegung tritt selbst auf forcierte Abkühlung nicht mehr regelmäßig ein, und die Fähigkeit des Tierkörpers, unter den bestehenden Verhältnissen bzw. bei mäßiger Erhöhung der Außentemperatur die Eigentemperatur wenigstens vorübergehend zu steigern, schwindet; weiter auf einzelne Teile des Kopfmarkes, denn die Atemfrequenz sinkt sehr beträchtlich ab.

Eine Abkühlung auf 31 bis 29°C beeinflußt weiter vor-

¹⁾ Arch. f. exp. Path. 33, 286, 1894.

	Maximum	Minimum	Schwankungsbreite
5. bis 8. Tag	36,96	36,71	0,25
4. bis 5. Woche	37,29	36,89	0,40
2. bis 3. Monat	37,37	36,81	0,56
6 Monate	37,41	36,60	0,81
2. bis 5. Jahr	37,48	36,36	1,12
18. bis 22. Jahr	37,36	36,25	1,11

Pupillarreflex auf starken Lichtreiz ist kaum mehr vorhanden, die Pupille verbleibt in mittelweiter Ausdehnung; starke Geräusche schrecken das Tier nicht regelmäßig auf.

Bei einer ferneren Abkühlung auf rund 29 bis 26° C wurden unter Zunahme der erwähnten Störungen die übrigen cerebralen Funktionen und auch solche des Rückenmarkes in Mitleidenschaft gezogen. Das Tier läßt sich leicht hypnotisieren, man kann es mit sanfter Hantierung in eine ungewohnte Stellung bringen, worauf es dieselbe eine geraume Weile beibehält. Es zeigt schon Störungen der Koordination usw.

Bei Abkühlung auf 26 bis 22° C nehmen diese Störungen erheblich zu; jetzt ist auch das Vasomotorenzentrum deutlich mitbetroffen. Das Tier liegt soporös auf der Seite, versucht sich manchmal, besonders auf äußere mechanische Reize hin, aufzurichten, wobei jedoch die eine oder die andere Extremität nachgeschleppt wird. Schwächere Hautreize werden weder durch reflektorische Zuckung noch durch Atmungsveränderung beantwortet. Der Blutdruck beginnt zu sinken.

Abkühlung auf 22 bis 19° C bewirkt terminale Lähmung der lebenswichtigen Zentren des Kopfmarkes. Das noch schwerer soporöse Tier führt nur einzelne unvermittelte Bewegungen aus, zeitweilig treten kurzdauernde krampfartige Bewegungen auf. Bei tiefem Einstich erscheinen ausgebreitete Reflexe, jedoch nur schwach und nicht mehr regelmäßig, und auch diese hören allmählich auf. Der Cornealreflex erlischt vollständig, die Atmung hört auf, der Blutdruck sinkt völlig ab, das Herz führt jedoch auch jetzt noch auf kurze Zeit Bewegungen aus¹⁾.

Bei der Abkühlung leiden also zuerst die höchsten nervösen Zentren, und nur bei fortgeschrittener Abkühlung werden auch die für die Erhaltung des Lebens wichtigsten Zentren des Kopfmarkes gelähmt.

Beim Affen (*Macacus rhesus*) hat Simpson²⁾ Wiederbelebungsversuche nach starker Abkühlung gemacht. Bei einer Körpertemperatur von 14° C betrug die Atmungsfrequenz nur 2 pro Minute; Herzschlag nicht mehr palpabel. Dann wurde die Abkühlung ausgesetzt und das Tier in eine Umgebung von 42° C gebracht. Binnen 5 Stunden stieg die Temperatur auf 37,7° C an, und das Tier erholte sich vollständig. Zu bemerken ist, daß schon bei einer Körpertemperatur von 25 bis 23° C eine Art von künstlichem Winterschlaf erschien, bei welchem das Tier blieb und aus welchem es nur durch künstliche Mittel geweckt werden konnte.

Entsprechend den Erfahrungen an Tieren hat man bei Menschen, deren Körpertemperatur wegen starker Wärmeentziehung erheblich gesunken war, vor allem Störungen der höchsten nervösen Zentren beobachtet. Die betreffenden Individuen waren bewußtlos, kamen aber in mehreren Fällen bei zweckmäßiger Behandlung wieder zum Bewußtsein und genasen. Die niedrigsten Körpertemperaturen, bei welchen noch eine Genesung eingetreten ist,

¹⁾ Vgl. auch Knoll, Arch. f. exp. Pathol. 36, 305; daselbst Übersicht der früheren einschlägigen Arbeiten. — ²⁾ Journ. of Physiol. 28, proceedings 37, 1902; vgl. auch ebenda 32, 305, 1905.

sind 22,5⁰ (Janssen¹), 24⁰ (Reincke²) bzw. 24,7⁰ C (Nicolaysen³); jedoch tritt der Tod nicht selten schon bei einer etwas höheren Körpertemperatur ein⁴).

Die Störungen, welche bei Erhöhung der Körpertemperatur erscheinen, sind vor allem im Zusammenhang mit der Fieberlehre studiert worden. Eine Darstellung derselben würde, wenn sie die zu erfüllenden Ansprüche einigermaßen befriedigen sollte, gar zu viel Raum beanspruchen, weshalb ich auf eine solche hier ganz verzichte. Nur betreffend die obere mit dem Leben noch vereinbare Grenze der Körpertemperatur will ich, nach Richet⁵), einige Angaben hier zusammenstellen und bemerke, daß sich diese ausschließlich auf Individuen beziehen, die später genesen: Gehirnsyphilis (?) 43,6⁰ (Paget); Hystero-Epilepsie 43⁰ (Mierzejewski); Typhoidfieber 42⁰ (Alvarenga, Thoma); Scharlach 43,6⁰ (Vicente und Bloch); Pyämie 42,2⁰ (Weber); Erysipelas 42⁰ (Hirz); Malaria 43,3⁰ (Mader); akuter Rheumatismus 43,9⁰ (Clinical Society, London), 43,5⁰ (Ord und Ankle).

Es finden sich in der Literatur noch mehrere Angaben über eine noch höhere Körpertemperatur, 50 bis 60 bis 70⁰ und mehr, trotz welcher die Kranken sogar genesen sind. Diese Angaben sind unzweifelhaft falsch, und in den meisten Fällen auf Betrug der Patienten zurückzuführen. Zeigen ja Versuche an Säugetieren, daß eine Körpertemperatur von etwa 45⁰ C ihnen tödlich ist, sowie daß das Temperaturmaximum bei Vögeln höchstens 51 bis 52⁰ C beträgt⁶). Die obere Grenze dürfte wohl vor allem von der Temperatur abhängen, bei welcher eine beginnende Gerinnung der Eiweißstoffe auftritt.

Nach dem Tode sollte eigentlich die Körpertemperatur sogleich anfangen zu sinken. Dies ist indes nicht der Fall: in der Regel behält der tote Körper eine Zeitlang seine Temperatur unverändert bei, bevor das Sinken erscheint, zuweilen kommt es auch vor, daß die Körpertemperatur nach dem Tode sogar ansteigt. Beide Erscheinungen lehren uns, daß mit dem Tode des Gesamtkörpers, d. h. mit dem letzten Atemzuge, die Verbrennung nicht sogleich aufhört, daß also in den einzelnen Organen noch eine Lebenstätigkeit stattfindet. Da gleichzeitig die Zirkulation und die Schweißabsonderung aufgehört haben, wird die im Inneren des Körpers gebildete Wärme besser als sonst im Körper zurückgehalten werden, was natürlich die Abkühlung des Körpers etwas verschieben muß.

Die nach dem Tode erscheinende Steigerung der Temperatur tritt bei denjenigen Todesarten auf, wo kurz vor dem Tode eine starke Erregung des Nervensystems stattgefunden hat, also bei infektiösen Fieberkrankheiten, bei Verletzungen des Rückenmarks und des Gehirns usw. In der Tabelle auf nebenstehender Seite oben sind einige hierher gehörige Angaben zusammengestellt.

Experimentell haben Huppert⁷) und Richet⁸) diese Erscheinung an Kaninchen verfolgt und dabei in genauer Übereinstimmung mit dem, was man nach den Erfahrungen am Menschen erwarten konnte, gefunden, daß ein Tier, das plötzlich, z. B. durch Zerstörung des Kopfmakes, getötet wird, oder kurz vorher oder während des Todes lebhaft Bewegungen ausgeführt hat, die postmortale Temperatursteigerung aufweist, während die Temperatur eines durch Chloroform getöteten Kaninchens nach dem Tode langsam herabsinkt, wie schon vor dem Tode die Körpertemperatur abnimmt, und zwar kann im letzten Falle das noch lebende

¹) Deutsches Arch. f. klin. Med. 53, 249, 1894. — ²) Ebenda 16, 15, 1875. —

³) Nordiskt Medicinskt Arkiv 7, No. 19, p. 4, 1875. — ⁴) Vgl. auch Peter, Gaz. hebdomadaire de méd. 1872, p. 499. — ⁵) Vgl. Richet, p. 121, wo zahlreiche derartige Angaben zusammengestellt sind. — ⁶) Vgl. Bernard, Leçons sur la chaleur animale. Paris 1876, p. 349; Rosenthal, Zur Kenntnis der Wärmeregulierung bei den warmblütigen Tieren. Erlangen 1872, S. 15. — ⁷) Arch. d. Heilk. 8, 321. —

⁸) Richet, La chaleur animale, p. 139.

Temperatur °C		Zeit nach dem Tode	Krankheit	Ort der Temperatur- messung	Autor
vor dem Tode	nach dem Tode				
—	45,0	3½ St.	Pyämie	Linke Kammer	Davy ¹⁾ , 1828
—	42,2	5½ " "	Plötzlicher Tod	"	Davy ¹⁾ , 1828
—	43,8	1 " "	Blattern	Axille	Simon ²⁾ , 1865
—	44,5	—	"	"	Simon ²⁾ , 1865
41,1	44,5	—	Hitzschlag	"	Levick ³⁾ , 1868
44,8	45,4	57 Min.	Tetanus	"	Wunderlich ³⁾ , 1863
43,8	44,2	45 " "	Tuberkulose Meningitis	"	Wunderlich ³⁾ , 1863
43,2	43,6	15 " "	Erysipelas	"	Eulenburg ⁴⁾ , 1865
41,4	42,3	20 " "	"	"	Eulenburg ⁴⁾ , 1865
36,1	38,3	7½ " "	Gehirnschlag	"	De Haen ²⁾
41,6	43,0	30 " "	Tetanus	"	Lehmann ⁵⁾ , 1868
43,0	44,0	60 " "	Pyämie	Rectum	Quincke u. Brieger ⁶⁾ , 1879
42,0	43,2	60 " "	Pneumonie	"	Quincke u. Brieger ⁶⁾ , 1879
41,1	43,3	15 " "	Rückenmarks- verletzung	Axille	Churchill ⁷⁾

Tier sich schneller abkühlen als der tote Körper nach einem gewaltsamen Tode. Es ist nicht unmöglich, daß hier auch die schnell eintretende Muskelstarre einen gewissen Einfluß ausübt.

Zweites Kapitel.

Die Topographie der Wärmebildung.

In der Physiologie des Stoffwechsels habe ich schon die Wärmebildung im Körper und ihre unter verschiedenen Umständen stattfindenden Variationen besprochen. Es erübrigt, den Anteil der einzelnen Organe dabei etwas eingehender zu besprechen. Hierbei werde ich in erster Linie die Wärmebildung bei vollständiger körperlicher Ruhe und in nüchternem Zustande berücksichtigen. Diese beträgt bei einem Menschen von 70 kg Körpergewicht etwa 1680 Kal.

Über die Wärmebildung bei der Herztätigkeit haben unter anderen Zuntz wie Loewy und v. Schrötter ⁷⁾ Berechnungen gemacht. Die letzteren nehmen an, daß bei körperlicher Ruhe das Minutenvolumen des menschlichen Herzens 3,85 Liter und der mittlere Blutdruck 100 mm Hg betragen, und

¹⁾ Davy, Researches 1839, I, 228. Der erste Autor, der die Temperatursteigerung post mortem nachgewiesen hat, ist Busch (1819, zit. nach Richet, p. 112). — ²⁾ Nach Pembrey, p. 867. — ³⁾ Liebermeister, a. a. O., S. 70. — ⁴⁾ Zentralbl. f. d. med. Wiss. 1865, S. 65. — ⁵⁾ Jahrb. d. ges. Medizin 139, 241, 1868. — ⁶⁾ Deutsch. Arch. f. klin. Med. 24, 284, 1879; vgl. auch Richet, La chaleur animale, Paris 1889, p. 135, und die daselbst zitierte Arbeit von Niederkorn, De la rigidité cadavérique de l'homme. Thèse, Paris 1872. — ⁷⁾ Zeitschr. f. exper. Pathol. I, 108, 1905.

finden dann die Arbeit des ganzen Herzens gleich 7,11 kgm pro Minute, d. h. etwa 10 000 kgm pro 24 Stunden. Wenn die Ausnutzung der Energie bei der Herztätigkeit auf ein Drittel veranschlagt wird, so würde dies etwa 70 Kal. entsprechen.

Die genannten Autoren nehmen ferner an, daß die Atemgröße pro Minute beim ruhenden Menschen 4,5 Liter beträgt, und daß pro Liter aufgenommene Luft 5 ccm Sauerstoff verbraucht werden¹⁾. Dann würde die zur Atmungsarbeit verwendete Sauerstoffmenge pro Minute 22,5 ccm und pro 24 Stunden 32,4 Liter betragen, was etwa 150 Kal. entspricht.

Die Herz- und Atmungsarbeit würde beim ruhenden Menschen insgesamt 220 Kal. ausmachen und also nur etwas mehr als ein Achtel der gesamten Wärmebildung decken können.

Unter den drüsigen Organen können beim Hunger allein die Leber und die Nieren eine erwähnenswerte Bedeutung haben, denn die Leistungen der sonstigen Drüsen sind, wie es aus der geringen Kotbildung beim Hunger hervorgeht, nur ganz unbedeutend, und dasselbe dürfte wohl auch für die Bewegungen des Verdauungsrohres gelten.

Die Leber hat aber nicht ihre alleinige Aufgabe als ein Verdauungsorgan. Auch beim Hunger muß eine rege Tätigkeit und also eine nicht geringe Wärmebildung in ihr stattfinden. Über die Menge der in der Leber gebildeten Wärme wissen wir allerdings nichts, daß aber Wärme dort entsteht, geht durch die Messungen von Claude Bernard²⁾ bestimmt hervor, nach welchen das Pfortaderblut beim Hunde immer um 0,2 bis 0,4° C kälter war als das Blut der Lebervene. Wenn wir bedenken, eine wie große Blutmenge durch die Leber strömt, müssen wir die Bedeutung dieser Drüse für die Wärmebildung im Körper ziemlich hoch veranschlagen. Nehmen wir an, daß die Leber eines erwachsenen Menschen 1,5 kg wiegt, daß sie pro Minute nur 100 Proz. ihres Gewichtes an Blut bekommt, und daß dieses in ihr nur um 0,2° C erwärmt wird, so würde dies bei 0,85 spezifischer Wärme 368 Kal. betragen. Ich brauche kaum zu bemerken, daß auch dieser Zahl kein größerer Wert beigemessen werden kann.

Durch gleichzeitige Messung der Temperatur in der Aorta und im Ureter fand Grijns³⁾, daß der Harn sehr oft wärmer ist als das arterielle Blut; daß dies nicht immer der Fall war, und daß das Blut nicht selten wärmer war als der Harn, spricht nicht gegen die Annahme einer bedeutenden Wärmebildung in der Niere, denn hier kommt wahrscheinlich die unvermeidliche Abkühlung des Harnes während dessen Strömung vom Nierenbecken bis zu dem Orte, wo das Thermometer eingesetzt war, in Betracht. Die Differenz der Temperatur des Harnes und des Blutes konnte bis zu + 0,42° C steigen. Die beiden Nieren eines erwachsenen Menschen wiegen rund etwa 300 g und bekommen pro Minute etwa die gleiche Blutmenge, d. h. pro 24 Stunden 432 Liter⁴⁾. Wenn diese Blutmenge nur um 0,2° C erwärmt wird, beträgt dies 74 Kal. Die Nieren können also in keinem wesentlicheren Grade bei der Wärmebildung beteiligt sein.

¹⁾ Vgl. Zuntz und Hagemann, Der Stoffwechsel des Pferdes, Berlin 1898, S. 370. — ²⁾ Claude Bernard, Leçons sur la chaleur animale, Paris 1876, p. 190. — ³⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1893, S. 78. — ⁴⁾ Vgl. Tigerstedt u. Landergrén, Skand. Arch. f. Physiol. 4, 241, 1892.

Wie Berthelot¹⁾ nachgewiesen hat, ist die Sauerstoffbindung des Hämoglobins mit einer positiven Wärmetönung verbunden, und zwar beträgt diese pro 32 g Sauerstoff 15,14 Kal., was pro 24 Stunden bei einem Stoffwechsel von 1680 Kal. etwa 240 Kal. ausmacht. Andererseits findet aber durch den Übergang der Kohlensäure in Gasform eine Wärmebindung statt, die nach Berthelot²⁾ pro 44 g CO₂ 5,2 Kal. beträgt. Für 24 Stunden würde dies 72 Kal. entsprechen. Also ein Überschuß von 168 Kal. Diese Wärme wird aber bei der Dissoziation des Oxyhämoglobins in den Geweben wieder gebunden und kann also bei der Berechnung der Wärmebildung nicht in Betracht kommen.

Verschiedene Tatsachen, über welche in einem anderen Abschnitte dieses Handbuches zu berichten ist, zeigen, daß die graue Substanz im zentralen Nervensystem einen sehr regen Stoffwechsel hat. Indes beträgt das gesamte zentrale Nervensystem nur etwa 2,4 Proz. des Körpers, und da die graue Substanz nur einen Bruchteil der weißen, wo der Stoffwechsel sehr gering ist, darstellt, so kann die Wärmebildung im Nervensystem für die gesamte Wärmebildung des Körpers nur eine sehr kleine Rolle spielen.

Wir erhalten also:

Herzarbeit	70 Kal.
Atmungsarbeit	150 „
Lebertätigkeit	368 „
Nierentätigkeit	74 „
	<hr/>
	Summe 662 Kal.

Es bleiben beim ruhenden nüchternen Menschen noch etwa 1000 Kal. zu decken, welche nur durch die Tätigkeit der Skelettmuskeln (mit Ausnahme der Atemmuskeln) entstehen können.

Daß die Skelettmuskeln in der Tat als die wichtigste Quelle der Wärmebildung im Körper aufgefaßt werden müssen, geht aus zahlreichen Erfahrungen hervor. Wissen wir ja, daß bei jeder Muskelkontraktion etwa drei Viertel bis zwei Drittel der entwickelten Energie als Wärme erscheint, und daß in vielen Fällen die der mechanischen Leistung entsprechende Energie dem Körper als Wärme zurückerstattet wird.

Es läßt sich kaum denken, daß bei scheinbar ruhendem Muskel kein Stoffumsatz stattfinden würde, denn überall, wo kein latentes Leben vorliegt, ist ja das Leben mit einer Verbrennung, d. h. Wärmebildung unauflöslich verbunden. Die Berechtigung dieser Auffassung ist durch die Versuche von Meade Smith³⁾ an Hunden über allen Zweifel erhoben worden. Nach Abbindung des *N. cruralis* bestimmte er die Temperatur des Aortablutes und die der *Mm. vastus ext.* und *prof.* teils bei offener Zirkulation, teils nachdem die Blutzufuhr zum Hinterkörper durch Verstopfung der absteigenden Brustorta unterhalb des Abganges der linken *A. axillaris* aufgehoben worden war. Im ersten Falle fand er z. B. folgende Zahlen:

¹⁾ Berthelot, *La chaleur animale*, 1, 72, Paris 1899. — ²⁾ Derselbe, Ebenda 2, 50. — ³⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1884, S. 261. Vgl. auch die entsprechenden Beobachtungen am Froschmuskel von Blix, Skand. Arch. f. Physiol. 12, 94, 1901.

Temperatur		Differenz
des Muskels	des Blutes	
38,38° C	37,97° C	+ 0,41° C
38,41	38,18	+ 0,28
38,74	38,21	+ 0,53
38,28	37,90	+ 0,38

Bei während 5 Minuten aufgehobener Zirkulation durch den Unterkörper stellte sich folgendes heraus:

Temperatur				Differenz	
des Muskels		des Blutes		am Beginn	am Ende
am Beginn	am Ende	am Beginn	am Ende		
34,63° C	34,64° C	34,59° C	34,50° C	+ 0,04° C	+ 0,14° C
39,07	39,11	39,18	39,09	- 0,02	+ 0,02
38,21	38,27	38,06	37,95	+ 0,15	+ 0,32
36,19	36,21	36,10	35,80	+ 0,09	+ 0,41
39,88	39,96	39,90	39,78	- 0,02	+ 0,18

Aus den Zahlen der zwei ersten Spalten finden wir, daß der vom Kreislauf ausgeschaltete Muskel während 5 Minuten um 0,01, 0,04, 0,06, 0,02, 0,08, durchschnittlich um 0,04° C erwärmt wurde. Bei einer spezifischen Wärme von 0,85 macht dies pro 1 kg Muskel eine minutliche Wärmebildung von 0,0068 Kal., d. h. pro 24 Stunden 9,8 Kal. Beim blutdurchströmten ruhenden Muskel muß aller Wahrscheinlichkeit nach die Wärmeentwicklung noch größer sein.

An curaresierten hungernden Hunden, bei welchen bei einer Außentemperatur von etwa 25° C die künstliche Atmung unterhalten wurde, fand Frank¹⁾ im Verein mit F. Voit und v. Gebhard, daß die Kohlensäureabgabe ganz derselben Größe oder nur wenig geringer war als bei denselben Tieren, wenn sie völlig ruhig bei einer Außentemperatur von 17,5° C im Käfig lagen. Wenn der Körper vor Wärmeverlust geschützt wird, so setzt also die Lähmung der Muskeln die Verbrennung im Körper nicht herab. Auch dies scheint zu bestätigen, daß die anscheinend ruhenden Muskeln nicht geringe Wärmemengen bilden.

Bei körperlicher Arbeit steigt der Stoffwechsel und die Wärmebildung, wie bekannt, auf das Doppelte und höher an, und diese Zunahme kann nicht aus einer anderen Ursache als gerade der Muskelleistung hergeleitet werden. Wo also der Stoffwechsel beim nüchternen Menschen den Minimalwert von 1 Kal. pro Kilo und Stunde übersteigt, ist der Überschuß ohne weiteres auf die Rechnung der Muskeln zu bringen.

Bei Aufnahme von Nahrung kommen noch die Leistungen der Verdauungsorgane (Muskeln und Drüsen), sowie die direkte, ohne Beteiligung von Muskel-tätigkeit stattfindende Einwirkung der resorbierten Nahrungsstoffe auf den Stoffwechsel in Betracht. Die Tätigkeit der Muskeln des Verdauungsrohres ist ohne Zweifel mit einer Wärmetönung verbunden, über deren Größe wir indes nichts wissen.

¹⁾ Zeitschr. f. Biol. 42, 308, 1901; 43, 117, 1902.

Ludwig und Spieß¹⁾ fanden, daß der Submaxillarisspeichel bis zu 1,5° C wärmer war als das Blut, und schlossen daraus auf eine starke Wärmebildung in der Drüse. Desgleichen beobachtete Bernard²⁾, daß bei Reizung der Chorda die Temperatur der Unterkieferdrüse und des aus dieser strömenden Blutes zunahm. Demgegenüber sind Bayliss und Hill³⁾ zu dem Resultate gekommen, daß es mit unseren gegenwärtigen Mitteln nicht möglich ist, bei der genannten Drüse eine Temperatursteigerung nachzuweisen; das entgegengesetzte Resultat der früheren Autoren sei von verschiedenen Fehlerquellen bedingt. Da indessen die Submaxillarisdrüse, wie aus den Erfahrungen über ihren Gaswechsel hervorgeht, bei der Tätigkeit einen sehr regen Stoffwechsel hat, so wird hier jedenfalls eine gewisse Wärmemenge gebildet werden müssen, obgleich sie bei der während der Tätigkeit stattfindenden starken Blutströmung nicht thermometrisch nachgewiesen werden kann. Auch wenn fortgesetzte Arbeiten die Richtigkeit der Ludwigschen Resultate bestätigen würden, so kann doch weder die Unterkieferdrüse, noch die anderen Speicheldrüsen als Quelle der Wärmebildung eine wesentlichere Rolle spielen, da sämtliche Speicheldrüsen bei einem erwachsenen Menschen nur etwa 100 g wiegen und also weniger als 0,2 Proz. der Weichteile des Körpers betragen.

Drittes Kapitel.

Der Wärmeverlust des Körpers *).

Die Wärmeabgabe des Körpers findet auf folgenden Wegen statt:

1. Ermärmung der genossenen Kost und der eingeatmeten Luft;
2. Abgabe von Kohlensäure und Wasserdampf bei der Atmung;
3. Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung von der Körperoberfläche;
4. Abgabe von Wasserdampf von der Körperoberfläche.

Wesentlich im Anschlusse an Helmholtz⁵⁾ und Rosenthal⁶⁾ stellt folgende Tabelle die Verteilung der Wärmeabgabe auf diesen verschiedenen Wegen bei einem erwachsenen, nicht arbeitenden Manne dar:

A. Ermärmung der genossenen Kost und der eingeatmeten Luft.			
1. Getrunken 1500 g Wasser von 15° C, wird auf 37,5° C erwärmt, also um 22,5°		34 Kal.	
2. Genossen 1500 g Essen von 25° C im Durchschnitt, wird auf 37,5° erwärmt, also um 12,5°; spezifische Wärme der Kost 0,8°		15 "	
3. Eingeatmet 15 000 g (= 11 500 Liter) Luft von 15° C, wird auf 37,5° erwärmt, also um 22,5°; spezifische Wärme 0,237°		80 "	129 Kal.

¹⁾ Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl. 25, 584, 1857; Wien. med. Wochenschr. 1860, Nr. 28 bis 29. — ²⁾ Bernard, Leçons sur la chaleur animale, Paris 1876, p. 179; vgl. auch Morat, Arch. de physiol. 1893, p. 285. — ³⁾ Journ. of Physiol. 16, 350, 1894. — ⁴⁾ Vgl. Rubner, Die Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung, Leipzig und Wien 1902, Kap. XIII und XIV. — ⁵⁾ Helmholtz, Artikel Wärme im Enzyklop. Wörterb. d. med. Wiss. 35, 561, 1846; Wiss. Abhandl. 2, 720. — ⁶⁾ Rosenthal, S. 375.

- B. Abgabe von Wasserdampf und Kohlensäure bei der Atmung.
4. Es wird angenommen, daß die eingeatmete Luft von 15° C zur Hälfte mit Wasserdampf gesättigt ist, und daß die ausgeatmete Luft von 37,5° ganz gesättigt ist. Es werden also von den Respirationswegen etwa 450 g Wasser in Dampfform abgegeben; latente Wärme des Wasserdampfes 0,537 Kal. 242 Kal.
 5. Die Wärmebindung beim Entweichen der Kohlensäure in den Lungen (800 g); pro 1 g 0,118 Kal. 94 „ 336 Kal.
- C. 6. Wärmeabgabe durch Leitung, Strahlung und Wasserverdunstung von der Haut 1935 Kal. 2400 Kal.

Unter Annahme eines Gesamtstoffwechsels von 2700 Kal. berechnet Rubner¹⁾ die Wärmeabgabe folgendermaßen:

1. Erwärmung der genossenen Kost und des Getränkes auf Körpertemperatur 42 Kal.
2. Erwärmung der eingeatmeten Luft von 17,5° auf eine Temperatur von 30° C; Menge 11,6 kg 35 „
3. Abgabe von Wasserdampf durch die Lungen und die Haut; 931 g 558 „
4. Wärmeäquivalent der geleisteten äußeren Arbeit 51 „
5. Wärmeverlust durch Strahlung.
 - a) Die strahlende Fläche der Kleidung 1,880 qm; Temperatur der Luft 17,5, der Kleidung 22,9; Ausstrahlungskoeffizient 4,11 Kal. pro 1 qm und 1 Stunde; pro 24 Stunden 1001 Kal.
 - b) Die behaarte Haut, 0,06 qm; Strahlung wie bei den Kleidern 32 „
 - c) Die unbehaarten und unbedeckten Stellen, 0,12 qm; Temperatur 30° C; Ausstrahlungskoeffizient gleich dem der Kleider; pro 24 Stunden 148 „ 1181 „
6. Wärmeverlust durch Leitung von der Körperoberfläche 833 Kal. 2700 Kal.

An der Hand seiner kalorimetrischen Messungen am Menschen hat Atwater²⁾ folgende Berechnung entworfen:

- I. Ruhender Mensch, Mittel aus 14 Versuchen mit insgesamt 49 Tagen.
 1. Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung 1683 Kal.
 2. Wärmeabgabe durch Harn und Kot 31 „
 3. Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung (Lungen und Haut) 548 „ 2262 Kal.
- II. Arbeitender Mensch, Mittel aus 20 Versuchen mit insgesamt 66 Tagen.
 1. Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung 3340 Kal.
 2. Wärmeabgabe durch Harn und Kot 26 „
 3. Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung (Lungen und Haut) 859 „ 4225 Kal.
 4. Wärmeäquivalent der geleisteten Arbeit 451 Kal. 4676 Kal.

Rubner und Atwater haben die Verteilung des Wasserdampfes auf Lungen und Haut nicht berechnet. Wenn es gestattet wäre, dieselbe nach

¹⁾ Arch. f. Hygiene 27, 69, 1896. — ²⁾ U. S. Depart. of Agriculture. Off. of exper. Stat. Bull. No. 136, p. 143, 1904.

der ersten Berechnungsweise auf 450 g zu schätzen — was jedenfalls keinen zu geringen Wert ergibt — so würde die Abgabe von Wasserdampf von der Haut bei Rubner 481 und bei Atwater (Ruheversuche) 570 g betragen. Dies entspricht 258 bzw. 306 Kal. Die Wärmeabgabe durch die Haut wäre demnach nach Rubner 2272 Kal. und nach Atwater, wenn von dem totalen Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung 80 Kal. für die Erwärmung der eingeatmeten Luft in Abzug gebracht werden, 1909 Kal. Sie beträgt also nach beiden 84, sowie nach der ersten Berechnungsweise 81 Proz. der gesamten Wärmeabgabe. Wie diese auch berechnet wird, immer stellt sich die Haut als das allerwichtigste Organ der Wärmeabgabe dar. Daraus erklärt sich, zum Teil wenigstens, der große Einfluß, den die Haut auf den Umfang des Stoffwechsels ausübt (vgl. Stoffwechsel, S. 469).

Später hat Rubner¹⁾ die durch die Respiration (+ der Kopfhaut) abgegebene Wassermenge bei verschiedenen körperlichen Zuständen direkt bestimmt und dabei, für 24 Stunden berechnet, bei einer Außentemperatur von 17,5 bis 24,0° C und einer relativen Feuchtigkeit von 36 bis 60 Proz. folgendes gefunden:

Ruhe	408 g
Tiefes Atmen	456 g
Lesen	672 g
Singen	816 g.

Die Verteilung der Wärmeabgabe durch die Haut auf Leitung, Strahlung und Wasserverdunstung ist außerordentlich schwankend, je nach der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgrade der umgebenden Luft, sowie nach dem Zustande des Körpers selbst (Hunger oder Nahrungsaufnahme, Ruhe oder Arbeit). Es läßt sich also diese Verteilung nicht durch eine bestimmte Zahl ausdrücken, und die oben nach Rubner mitgeteilte Berechnung bezieht sich daher nur auf einen Spezialfall.

Angesichts der vielen Variablen, die auf die genannte Verteilung einwirken, ist es vorläufig auch nicht möglich, in einigen wenigen Sätzen die bis jetzt darüber vorliegenden Erfahrungen zusammenzufassen, und wir müssen uns damit begnügen lassen, den Einfluß der betreffenden Variablen an für und sich zu untersuchen.

Von vornherein ist es klar, daß der Wärmeverlust durch Leitung unter sonst gleichen Umständen um so größer ausfallen muß, je kälter die umgebende Luft, je größer ihr Wärmeleitungsvermögen und je lebhafter ihre Bewegung ist²⁾.

Was die Luftbewegung leisten kann, zeigt uns die alltägliche Erfahrung: im warmen Sommer kühlt sie uns ab und mildert die Wirkung der warmen Luft. Wenn auch die Wasserverdunstung gleichzeitig begünstigt ist, so hat doch die Leitung an und für sich hierbei einen wesentlichen Anteil. Eine niedrige Außentemperatur wird, selbst bei ziemlich dünner Bekleidung, ganz gut ertragen, wenn die Luft stillsteht; bei bewegter Luft ist dieselbe Temperatur außerordentlich unangenehm, denn die an dem Körper vorbeistreichenden Luftschichten nehmen ihm nun sehr viel Wärme. Und hierbei spielt die Wasserverdunstung nur eine geringe Rolle, da die Abgabe von Wasser durch die Haut bei niedrigen Temperaturen schon sehr gering ist.

¹⁾ Arch. f. Hygiene 33, 151, 1898. — ²⁾ Wie früher, sehe ich auch hier von der Einwirkung von Bädern ganz ab.

Selbst wenn die Luftströmung so schwach ist, daß sie gar nicht empfunden wird, macht sich ihr abkühlender Einfluß, indes nur bei niederen Temperaturen, doch geltend, wie aus folgenden Beobachtungen von Rubner¹⁾ am Hunde ersichtlich ist. Die Luftgeschwindigkeit betrug hier nicht mehr als 0,4 bis 1,3 cm pro Sekunde. Bei 9° C betrug der Stoffwechsel 519 Kal., wenn die stündliche Ventilationsgröße 209 Liter war, 459 Kal. aber bei einer Ventilationsgröße von nur 61 Liter.

Bei einer höheren Temperatur muß die Luftgeschwindigkeit größer sein, um ihre Einwirkung zu entfalten. Bei einer Umgebungstemperatur von 15° betrug in Versuchen von Nebelthau²⁾ die Wärmeabgabe beim Kaninchen pro Kilogramm Körpergewicht und Stunde durchschnittlich 3,51 Kal. bei einer mittleren Ventilationsgröße von 1000 Liter, 2,59 Kal. bei einer Ventilationsgröße von 555 Liter. Bei der stärkeren Ventilation wurden der Ventilationsluft durch Leitung und Strahlung 22,97 Kal. (= 19,6 Proz. der Gesamtabgabe durch Leitung und Strahlung), bei der schwächeren 10,86 Kal. (= 11,4 Proz.) abgegeben³⁾.

Unter Anwendung der bolometrischen Methode untersuchte Masje⁴⁾ den Wärmeverlust durch Strahlung. Nach der Entkleidung nahm die Strahlung der gewöhnlich bedeckten Körperoberfläche fortwährend, wenn auch oft mit einigen Schwankungen, zu, und zwar um so schneller, je niedriger die Außentemperatur war. Da sich die Oberfläche des entblößten Körpers bei niedriger Temperatur der Umgebung abkühlt, so hätte man ja das Gegenteil erwartet. Masje findet die Erklärung der Erscheinung darin, daß die physikalische Beschaffenheit der Hautoberfläche wegen der unter dem Einfluß der Kälte eintretenden Kontraktion des *Arrectores pilorum* usw. verändert wird. Für diese Auffassung spricht auch die Beobachtung, daß bei einer oberflächlichen Entzündung, wo die Hauttemperatur entschieden erhöht war, die Strahlung um $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$ weniger als an normalen, niedriger temperierten Hautstellen betrug.

Körperteile, die gewöhnlich unbedeckt sind, zeigen meistens eine ziemlich konstante Wärmestrahlung zu jeder Tageszeit.

Wird die Abkühlung weiter getrieben, so nimmt die Strahlung ab. Im allgemeinen erfolgt die oben erwähnte Zunahme nur dann, wenn die Hauttemperatur nicht um mehr als 3° C abnimmt.

Bei einer niedrigeren Zimmertemperatur ist die Strahlung in den meisten Fällen größer, doch kommen viele Abweichungen von dieser Regel vor.

Aus seinen Versuchen hat Masje berechnet, wie groß der Wärmeverlust durch Strahlung ist, und findet denselben bei einem ruhenden Manne mit 2 qm Körperoberfläche gleich 1728 Kal.

In geradem Gegensatz zu diesen Ergebnissen findet Stewart⁵⁾, daß eine merkbare Veränderung des Strahlungsvermögens weder durch Erwärmung, noch durch Abkühlung der Haut erzielt werden kann. Für die Größe der Strahlung ist also vor allem die Temperaturdifferenz zwischen der Haut und der Umgebung bestimmend. Die Resultate Masjes seien dadurch bedingt, daß hier auch die Wärmeleitung ihren Einfluß ausgeübt hätte, und daß der reichlich vorhandene Wasserdampf die Wärmestrahlen im Anfang der Versuche reichlich absorbiere.

Die Gesamtstrahlung des bekleideten menschlichen Körpers beträgt nach Stewarts Berechnung 820 Kal. — also weniger als die Hälfte der von Masje

¹⁾ Arch. f. Hygiene 50, 296, 1904. — ²⁾ Zeitschr. f. Biol. 31, 313, 1895. — ³⁾ Vgl. auch Wolpert, Arch. f. Hygiene 33, 206, 1898. — ⁴⁾ Arch. f. path. Anat. 107, 17, 267, 1877. — ⁵⁾ Studies from the physiol. Laboratory of Owens Coll. Manchester 1, 102, 1891; zit. nach Zentralbl. f. Physiol. 1891, S. 275.

berechneten. Der Unterschied hat wohl vor allem seinen Grund darin, daß sich Masjes Resultate auf den nackten Körper beziehen.

Rubner ¹⁾ bezeichnet die Zahl von Stewart als zu niedrig, weil dieser nicht berücksichtigt hat, daß die Oberfläche des bekleideten Körpers größer als die des nackten Körpers ist, und außerdem unterlassen hat, für die unbekleideten Teile eine besondere Rechnung durchzuführen ²⁾.

Über den Einfluß der relativen Feuchtigkeit der Luft auf den Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung hat Rubner ³⁾ festgestellt, daß dieser durch feuchte Luft stets vermehrt wird. Daher fühlt man sich bei niedriger Temperatur (10 bis 15° C) in trockener Luft behaglicher als in feuchter.

Beim Hunde würde für jede Änderung der Luftfeuchtigkeit um 1 Proz. die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung um 0,32 Proz. verändert werden. Da nun die totale Wärmeabgabe für das Temperaturintervall 20 bis 7,6° C = 13,4° um 56 Proz. und für 1° C also um 4,1 Proz. zunimmt, so würde eine Zunahme der Luftfeuchtigkeit um $4,1/0,32 = 12,8$ Proz. dieselbe Wirkung als die Abnahme der Lufttemperatur um 1° C haben ⁴⁾. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß die Zunahme des Wärmeverlustes durch Leitung und Strahlung innerhalb des von Rubner untersuchten Bereiches fast immer durch eine entsprechende Abnahme des Verlustes durch Wasserverdunstung kompensiert wird ⁵⁾.

Zahlreiche Arbeiten aus dem Laboratorium Rubners beschäftigen sich mit der Frage nach dem Einfluß verschiedener Variablen auf die Abgabe von Wasserdampf.

Bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden der Luft steigt und sinkt die gesamte Abgabe von Wasserdampf in umgekehrter Proportion zu der Feuchtigkeit. Sie ist also bei gleichem körperlichen Zustande und gleicher Außentemperatur um so größer, je trockener die Luft ist (Rubner ⁶⁾).

Bei gleichem Feuchtigkeitsgehalt der Luft ist die Abgabe von Wasserdampf beim Menschen und Hunde um so größer, je wärmer die Luft ist [Rubner ⁷⁾, Rubner und Lewaschew ⁸⁾], wie aus folgender Zusammenstellung einiger Beobachtungen am Menschen hervorgeht.

Temperatur °C	Feuchtigkeit Proz.	Wasserdampf g	Feuchtigkeit Proz.	Wasserdampf g
15,0	8	86	89	9
20,4	5	54	82	15
23,0	7	73	84	19
25,4	6	75	81	24
28,9	6	105	—	—

Der Stoffwechsel der Versuchsperson betrug etwa 91 Kal. pro Stunde. Die bei 28,9° C und fast trockener Luft abgegebene Menge von Wasserdampf deckt 63 Kal., also 70 Proz. des gesamten Wärmeverlustes.

¹⁾ Arch. f. Hygiene 27, 77, 1896. — ²⁾ Vgl. auch Waller, Travaux du laboratoire de Fredericq 4, 227, 1892; Journ. of Physiol. 15, proceedings 25, 1894. — ³⁾ Arch. f. Hygiene 11, 268. — ⁴⁾ Ebenda, S. 291. — ⁵⁾ Ebenda, S. 284. — ⁶⁾ Ebenda, 11, 166, 1890. — ⁷⁾ Ebenda, S. 193, 199. — ⁸⁾ Ebenda 29, 1, 1897.

Beim Meerschweinchen tritt das Minimum der Wasserdampfabgabe schon bei 15° C ein; bei 0° wird wesentlich mehr an Wasserdampf ausgeschieden; ebenso steigt die Abgabe an, wenn die Temperatur erhöht wird. In beiden Fällen handelt es sich wohl um die Wirkung einer stärkeren Atmung.

Bei einer Außentemperatur von 29 bis 30° C ist die Wasserdampfabgabe beim Menschen zwischen 13 bis 64 Proz. relativer Feuchtigkeit ungefähr dieselbe (Nuttall¹⁾.

Da durch die Kleidung um den Körper herum eine künstliche Atmosphäre geschaffen wird, deren Temperatur höher ist als die der umgebenden Luft, muß unter sonst gleichen Umständen die Abgabe von Wasserdampf beim bekleideten Körper größer sein als beim nackten. Dementsprechend finden wir z. B. (Rubner), daß ein ungeschorener Hund bei 20° C 27,7 g Wasser pro Kilogramm Körpergewicht und 24 Stunden abschied; nach dem Scheren des Pelzes betrug die Abgabe von Wasserdampf nur 20 g.

Wenn die Luft sehr feucht ist, ist die Wärmeabgabe durch Verdunstung sehr erschwert, und dementsprechend ist bei 80 Proz. Feuchtigkeit schon eine Temperatur von 24° C für den daran nicht gewöhnten Menschen auf die Dauer unerträglich und der Versuch nur bei vollkommener Muskelruhe möglich. Wenn die Luft aber sehr trocken ist, wird eine Temperatur von 24 bis 29° C durchaus gut ertragen (Rubner und Lewaschew).

Daß es sich doch selbst bei hoher Temperatur und großem Feuchtigkeitsgehalt arbeiten läßt, geht aus den Erfahrungen Stapffs²⁾ beim Bau des Gotthardtunnels hervor, wo die Temperatur im Monat März an der Südseite des Tunnels etwa 31° C betrug und die Luft mit Feuchtigkeit übersättigt war. Es traten indessen dabei allerlei Störungen des Befindens auf, die sich doch allmählich zum größeren oder geringeren Teile ausglich.

In bezug auf den Einfluß der Luftbewegung auf die Abgabe von Wasserdampf beim Menschen gibt Wolpert³⁾ an, daß diese bei niedrigen Temperaturen bis etwa 20° aufwärts durchschnittlich um etwa 5 bis 10 Proz. im Vergleich mit der bei ruhender Luft zunimmt. Bei Temperaturen zwischen 25 bis 35° ist sie wesentlich herabgesetzt, zwischen 25 und 30° bis auf die Hälfte und in einzelnen Fällen ein Drittel des Wertes für ruhende Luft. Bei extrem hohen Temperaturen von etwa 36° ab aufwärts beträgt die Wasserdampfabgabe bei bewegter Luft bis auf das Doppelte und mehr des Wertes für ruhende Luft.

Die Nahrungszufuhr bewirkt im allgemeinen eine Zunahme der Verbrennung (vgl. Stoffwechsel, Kap. IV); wenn hierbei eine eventuelle Zunahme des Wärmeverlustes durch Leitung und Strahlung nicht genügt, um den Körper vor Überwärmung zu schützen, so tritt nun eine stärkere Abgabe von Wasserdampf auf, und zwar wird diese beim reichlich gefütterten Tiere in einem weit geringeren Verhalten als bei einem nicht oder nur mäßig gefütterten Tiere durch erhöhte Feuchtigkeit eingeschränkt. Auch hier ist die verstärkte Atmung maßgebend. Wenn aber die Nahrungszufuhr keine bemerkenswerte Steigerung des Stoffwechsels hervorruft, wie z. B. bei einer so niedrigen Temperatur, daß schon der Hungerstoffwechsel desselben Betrages ist wie der Stoffwechsel bei reichlicher Zufuhr von Nahrung, so bleibt die

¹⁾ Arch. f. Hygiene 23, 184, 1895; vgl. auch Rubner, Ebenda 16, 101, 1893. —

²⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1879, Suppl., S. 72. — ³⁾ Arch. f. Hygiene 33, 206, 1898.

betreffende Steigerung der Wasserdampfabgabe aus (Rubner¹). Als Beispiel sei auf folgende Versuchsreihe am Hunde hingewiesen (alle Zahlen sind pro 1 kg berechnet).

	Temperatur 20° C, Wärmeabgabe in Kalorien		Temperatur 30° C, Wärmeabgabe in Kalorien	
	durch Wasser- verdunstung	durch Leitung und Strahlung	durch Wasser- verdunstung	durch Leitung und Strahlung
Hunger . . .	16,0	37,5	26,2	30,0
100 g Fleisch .	15,6	40,3	27,6	28,0
200 g " .	18,3	39,6	33,5	29,9
320 g " .	—	—	47,6	32,7
350 g " .	17,2	56,7	—	—

Da körperliche Arbeit die Wärmebildung im hohen Grade steigert und also den Körper der Gefahr einer Überwärmung leicht aussetzt, so bewirkt dieselbe, selbst bei einer niedrigen Außentemperatur, in der Regel eine wesentliche Vermehrung der Abgabe von Wasserdampf. Wolpert²) hat darüber direkte Bestimmungen gemacht und dabei folgendes gefunden.

	Temperatur	Feuchtigkeit	Abgabe von Wasser- dampf pro Stunde
	°C	Proz.	g
Schlaf	19,0	63	37
Ruhe	17,3	61	21
Kräftige Arbeit	16,7	59	138
Kräftige Arbeit	25,0	47	230
Ruhe	25,0	trocken	85
Ruhe	25,0	feucht	28

In ausführlichen Versuchsreihen untersuchten Zuntz, Schumburg und Nerking³) den Stoffwechsel bei marschierenden Soldaten. Während eines fünf-stündigen Marsches wurden durchschnittlich 170 bis 270 g Wasser (= 114 bis 145 Kal.) von den Respirationsorganen verdampft. Bei einer Wärme-produktion von etwa 2000 Kal. entfiel also auf die Lungenverdampfung nur 6 bis 7 Proz. der gesamten Wärmeabgabe. Die gleichzeitige Erwärmung der eingeatmeten Luft beanspruchte nur 35 Kal. Die gesamte Wasser- verdunstung betrug bei einer Versuchsperson 1026 bis 2845, bei einer anderen 820 bis 2057, davon kamen auf die Haut 820 bis 2622 bzw. 584 bis 1786 g. Der kalorische Wert des verdampften Wassers betrug insgesamt 596 bis 1652, bzw. 477 bis 1195 Kal., während die gleichzeitig produzierte Wärmemenge 1588 bis 2104, bzw. 1498 bis 1936 Kal. entsprach. In extremen Fällen machte also der Wärmeverlust durch Wasserverdampfung bis zu etwa 95 Proz. der gesamten Wärmeabgabe aus.

¹) Arch. f. Hygiene 11, 218, 1890. — ²) Ebenda 26, 60, 1896; vgl. auch Wolpert, Ebenda 39, 298, 1901. — ³) Nerking, Inaug.-Diss. Berlin 1896; Zuntz und Schumburg, Die Physiologie des Marsches, Berlin 1901, S. 309.

Aus den betreffenden Versuchen folgt noch, daß selbst bei einer nahezu mit Wasserdampf gesättigten Luft, bei welcher die Kleider bald durchnäßt sind, dennoch die durch das Marschieren bewirkte Luftströmung und der im Freien nie ganz fehlende Wind genügen, um eine starke Wasserverdampfung durch die Kleider zu bewirken.

Viertes Kapitel.

Der Schutz gegen Wärmeverlust.

Daß die warmblütigen Tiere trotz ihrer verhältnismäßig geringen Wärmebildung dennoch selbst bei sehr niedriger Außentemperatur ihre Eigentemperatur beibehalten können, beruht vor allem darauf, daß der Wärmeverlust bei ihnen durch besondere Anordnungen wesentlich herabgesetzt wird.

Diese Anordnungen sind: 1. das subcutane Fettgewebe; 2. die Haar- oder Federbekleidung.

Die in den Muskeln und übrigen inneren Organen entstandene Wärme kann nur sehr langsam nach der Haut fortgeleitet werden, weil das Fettgewebe einen sehr schlechten Wärmeleiter darstellt¹⁾. Während eine 2 mm dicke Haut bei einer Temperaturdifferenz an ihren beiden Flächen von 18,2° C in einer Minute 0,00248 Kal. durchließ, wurde von derselben Haut und einer 2 mm starken Fettschicht nur 0,00123 Kal. in derselben Zeit durchgelassen; das Leitungsvermögen der Haut sank also um die Hälfte ab. Bei einer Temperaturdifferenz von 12° C hielt die gleiche Fettschicht fast zwei Drittel jener Wärmemenge zurück, welche die 2 mm dicke Haut durchließ, und bei einer Temperaturdifferenz von 9° C beinahe acht Zehntel (Klug²⁾).

Je geringer die Temperaturdifferenz an beiden Seiten der Haut ist, um so größer ist der schützende Einfluß des Fettes. Bei den meisten warmblütigen Tieren ist die Haut von einer mehr oder weniger dicken Haar- und Federbekleidung bedeckt. Die hier in Betracht kommende Differenz bezieht sich also nicht auf die Temperatur der Außenluft, sondern auf die in den tiefsten Schichten der Bekleidung, welche, wie aus folgenden Erfahrungen von Rubner³⁾ am Menschen hervorgeht, von der Hauttemperatur nur verhältnismäßig wenig abweicht.

Außen- temperatur ° C	Temperatur an der Oberfläche der Kleidung	Temperatur zwischen dem Wollhemd und der Haut
10,0	19,3	32,7
15,0	21,0	—
17,5	22,9	—
25,6	27,1	32,6

Die Fettschicht muß also eine sehr große Ersparnis an Wärme bewirken können. Auch besitzen vor allem die in den kalten Klimata und ganz besonders die in den Eismereen lebenden Tiere eine sehr dicke Fettschicht.

¹⁾ Bergmann, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1845, S. 310. — ²⁾ Zeitschr. f. Biol. 10, 73, 1874. — ³⁾ Arch. f. Hygiene 23, 13, 1895.

Die auf der Erde lebenden Tiere können eine solche entbehren, denn sie haben jedenfalls in ihrem Pelz ein Mittel, um den Wärmeverlust zu verringern. Bei den Wassertieren fällt aber dieser Schutz des Pelzes, wenn das Wasser bis zur Hautoberfläche dringen kann, fast vollständig fort, und nun bildet das subcutane Fettgewebe den alleinigen Schutz gegen den Wärmeverlust.

Der *Panniculus adiposus* stellt natürlich keine für Wärme absolut undurchdringliche Schicht dar, und ein Teil der in den Muskeln gebildeten Wärme wird durch sie hindurch der Haut direkt zugeleitet, wie daraus hervorgeht, daß nach Entblößung eines Körperteiles der Temperaturfall der Haut um so beträchtlicher ist, je weniger mächtig die darunter liegende Muskelschicht ist oder wo dieselbe, wie über der Patella und dem Schienbein, ganz fehlt.

Welcher Art die Bekleidung auch sei — Haare, Federn oder die künstliche Kleidung des Menschen — gilt von ihrem Einfluß im großen und ganzen ganz dasselbe, und ich brauche also nicht die verschiedenen Arten derselben hier besonders zu berücksichtigen.

Beim nackten Körper wird die denselben zunächst umgebende Luftschicht von der warmen Haut erwärmt; die warme Luft steigt als spezifisch leichter in die Höhe, und es entsteht selbst bei vollkommen stillstehender Luft eine Luftströmung um den Körper herum, infolge deren ununterbrochen neue Luftmengen mit der Körperoberfläche in Berührung kommen und sie der Wärme berauben. Bei bewegter Luft wird natürlich die Abkühlung noch stärker.

Durch die Bekleidung wird diese Luftströmung wesentlich verringert. Das Kleid ist und darf nicht für Luft völlig undurchgängig sein, denn dadurch würde die darin eingeschlossene Luft durch den von der Haut abgegebenen Wasserdampf bald gesättigt werden und also die regulatorische Einwirkung der Wasserverdunstung wegfallen. Die Bekleidung soll nur die Luftströmung in einem genügend starken Grade verhindern und die Luftbewegung in der Nähe des Körpers wesentlich verlangsamen. Diese verhältnismäßig stillstehende Luft bildet dann um den Körper eine künstlich erwärmte Atmosphäre, die wesentlich wärmer als die Außenluft ist und also die Wärmeabgabe von der Haut wesentlich verringern muß.

Nach den Ermittlungen von Schuster¹⁾ und Rubner²⁾ ist das Wärmeleitungsvermögen der Grundstoffe der Bekleidungsmaterialien an und für sich entschieden größer als das Wärmeleitungsvermögen der Luft, und es kommen also vor allem die in den Poren der Kleidungsstücke, sowie die zwischen den letzteren eingeschlossenen Luftmengen hier in Betracht.

Die in verschiedenen Stoffen auf 1000 Volumteile vorhandenen Luftmengen sind sehr verschieden, wie z. B.:

Wollflanell	923	Glatt gewebtes Leinen	489
Baumwollflanell	888	Leichter Sommerstoff	818
Trikot, Seide	832	Sommerkammgarn	725
„ , Wolle	863	Frühjahrsüberzieher	813
„ , Baumwolle	847	Winterkammgarn	817
„ , Leinen	733	Winterpaletot	888
Glatt gewebte Baumwolle	520		

¹⁾ Arch. f. Hygiene 8, 46, 1888. — ²⁾ Ebenda 24, 265, 346, 1895; 25, 252, 1895.

Von diesen Ermittlungen ausgehend, berechnet Rubner die Luftmenge in den Kleidern eines erwachsenen Mannes (ohne Überzieher) zu etwa 10 Liter.

Hierzu kommt aber noch die zwischen den einzelnen Kleidungsstücken und zwischen dem untersten und der Körperoberfläche eingeschlossene Luft. Dieselbe beträgt etwa 10 bis 20 Liter; die Gesamtmenge der uns umgebenden verhältnismäßig stillstehenden Luft ist also etwa 20 bis 30 Liter.

Über die Dicke der bei der Winterkleidung benutzten Stoffe hat Rubner¹⁾ unter anderem folgendes mitgeteilt:

Rumpf:	Wollhemd, Trikot	2,5 mm	
	Leinenhemd	0,5 mm	
	Weste, gefüttert	5,0 mm	
	Rock, gefüttert	7,0 mm	
	Winterüberzieher	14,0 mm	29 mm
Arm:	Wollhemd	2,5 mm	
	Leinenhemd	0,5 mm	
	Anzieher	2,0 mm	
	Überzieher	6,0 mm	11 mm
Bein:	Wollhose	2,5 mm	
	Beinkleid	1,5 mm	4 mm

Auch die Strahlung von der Haut wird durch das Kleid wesentlich herabgesetzt. Die von der Haut ausstrahlende Wärme wird, wie Pettenkofer²⁾ bemerkt, von der darüberliegenden Kleidung, wozu kein diathermaner Stoff verwendet wird, absorbiert. Die Wärme, welche von der Haut ausstrahlen würde, muß erst durch das Kleid gehen und kann erst von dessen Oberfläche wieder ausstrahlen. Der Durchgang der Wärme durch diese künstliche Haut hängt wesentlich von der Wärmeleitfähigkeit und der Masse des Kleidungsstoffes und von dem Grade der Ausstrahlung von diesem ab. Die strahlende Wärme der Haut verweilt dadurch länger in der Nähe unseres Körpers, und erwärmt dadurch die den Körper unmittelbar umgebende Luft.

Wenn wir das Bedürfnis fühlen, die Wärme noch langsamer aus der unmittelbaren Nähe unserer Körperteile zu entlassen, so decken wir über die Oberfläche unseres Kleides, von welcher die Wärme in den Luftkreis ausstrahlt, abermals einen Stoff, ein zweites Kleid, welches die von der Oberfläche des ersten ausstrahlende Wärme abermals auffängt und durch seine Masse hindurch nach der Oberfläche leitet. Auf diese Art wirkt ein Hemd, ein Rock, worüber wir nach Umständen noch einen Überrock und Mantel usw. ziehen.

Die Wärme bleibt aber nicht in den Kleidern, sie geht nur schneller oder langsamer durch und verweilt kürzere oder längere Zeit in der unsere nerven- und gefäßreiche Haut unmittelbar umgebenden und stets wechselnden Luftschicht. Wir verlieren die Wärme bei Winterkälte aus unseren richtig gewählten Kleidern ohne jede Empfindung von Frost, weil wir den Ort, wo sich die große Differenz zwischen unserer Körperwärme und der kalten Luft ausgleicht, von unserer nervenreichen Haut weg in ein lebloses Stück Zeug verlegt haben, unsere Kleider werden kalt, sie frieren für uns.

¹⁾ Arch. f. Hygiene 9, 51, 1889; 15, 38, 1892. — ²⁾ Zeitschr. f. Biol. 1, 180, 1865.

Auch der von der Haut abgegebene Wasserdampf, wodurch der Sättigungsgrad der Kleiderluft wesentlich erhöht wird, bewirkt wegen seiner geringen Diathermansie eine Abnahme der Strahlung von der Haut.

Trotz dieser, wie es von vornherein erscheint, bindenden Gründe dafür, daß die Wärmeabgabe des Körpers durch die Kleidung sehr erheblich herabgesetzt werden muß, glaubte jedoch Geigel¹⁾ auf Grund kalorimetrischer Bestimmungen des Wärmeverlustes des Armes den Satz aufstellen zu können, daß durch die Bekleidung auf die Länge keine Ersparung an Wärme erzielt werden kann. Die Aufgabe der Kleidung bestehe vielmehr darin, die unangenehme Empfindung der Kälte aufzuheben und die Vasomotoren der Haut zu entlasten. Demgegenüber liegen aber zahlreiche Erfahrungen und Versuche vor, welche die Bedeutung der Kleidung als Wärmersparer über jeden Zweifel erheben.

Bei einem ruhenden, nackten Menschen kann die normale Temperatur nicht beibehalten werden, wenn die Außentemperatur geringer ist als etwa 27 bis 28° C (Senator²⁾).

Ein vollständig intaktes Meerschweinchen gab bei einer Körpertemperatur von 38,3° C durch Leitung und Strahlung 3,37 Kal. pro Stunde ab; nach dem Scheren sank die Körpertemperatur auf 37,7° C, die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung stieg aber auf 4,47 Kal. pro Stunde an (Rumpel³⁾).

Bei einem geschorenen Tiere ist die Wärmeproduktion bei 30° C Außentemperatur gleich groß wie bei dem ungeschorenen Tiere bei 20° C (Rubner⁴⁾).

Bei Versuchen am Arme des Menschen fanden C. Rosenthal⁵⁾ und Rumpel⁶⁾, daß die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung vom bekleideten Arme größer war als die vom unbekleideten, wie z. B. nach einigen Versuchen von Rumpel:

Temperatur	Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung		
	Kalorien pro Stunde, nackt	Kalorien pro Stunde, bekleidet	Proz. Differenz
6,7	14,3	10,7	25
10,6	12,8	8,6	33
15,8	11,1	7,7	30
20,8	7,8	5,6	28
29,6	4,9	4,2	14

Erst bei einer ziemlich hohen Außentemperatur sinkt die Wärmeabgabe des nackten Armes etwa auf die des bekleideten herab.

Der Wärmeverlust des nackten Fußes durch Kontakt mit dem Boden verringerte sich durch einen wollenen Strumpf um etwa 49 Proz.; wenn der Schuh noch dazukam, sank die Wärmeabgabe auf 10 Proz. (Nothwang⁷⁾).

Um den Einfluß der Kleidung auf die Wärmeabgabe richtig zu würdigen, müssen wir auch die Wasserverdunstung berücksichtigen. Wie wir schon gesehen haben, ist diese bei höherer Außentemperatur größer als bei niedrigerer. Da die Temperatur an der Hautoberfläche beim bekleideten Körper höher ist als beim nackten, so muß im ersten Falle die Abgabe von

¹⁾ Arch. f. Hygiene 2, 318, 1884. — ²⁾ Zeitschr. f. klin. Med. 24, 186, 1894. —

³⁾ Arch. f. Hygiene 9, 55, 1889; vgl. auch Richet, Archives de physiol. 1885 (2), S. 281. — ⁴⁾ Arch. f. Hygiene 20, 366, 1894. — ⁵⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1888, S. 1. — ⁶⁾ Arch. f. Hygiene 9, 76, 1889. — ⁷⁾ Ebenda 15, 314, 1892.

Wasserdampf größer sein. Der von den Kleidern erzielten Beschränkung des Wärmeverlustes durch Leitung und Strahlung wird also wegen der vermehrten Wasserverdunstung etwas entgegengewirkt.

Man könnte sich vorstellen, daß hierdurch eine vollständige Kompensation stattfinden würde. Dies ist jedoch keineswegs der Fall, im Gegenteil zeigen die Versuche Rumpels¹⁾, daß trotz der vermehrten Verdunstung die gesamte Wärmeabgabe durch die Kleidung entschieden vermindert wird.

Bei kalorimetrischen Versuchen am Unterarm und an der Hand (die letztere unbedeckt) stellte es sich heraus, daß bei einer Außentemperatur von 15 bis 20° C und sehr trockener Luft der Wärmeverlust durch Wasserverdunstung etwa 20 Proz. des gesamten Wärmeverlustes betrug. Absolut machte diese beim nackten Arme 3,59 g, beim bekleideten 4,39 g — also ein Zuwachs von 22,3 Proz. — aus.

Dieser Zuwachs war indes nicht ausschließlich durch die vermehrte Wasserabgabe von der Haut bedingt, denn auch die Kleidung gab Wasser von sich zu der durch Chlorealeium getrockneten Luft im Kalorimeter ab. Wir werden jedoch annehmen, daß der ganze Zuwachs an Wasser von der Haut stamme, und finden dann folgendes:

Der ganze Wärmeverlust der nackten Haut	100
davon durch Leitung und Strahlung	80
und durch Wasserverdunstung	20
	100
Durch die Kleidung wird der Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung um	
30 Proz. vermindert, also auf	56
Dagegen die durch Wasserverdunstung um 22 Proz. erhöht, also auf	24
	80

Die Ersparnis durch die Kleidung beträgt demnach bei gewöhnlicher Zimmertemperatur etwa 20 Proz. und ist bei niedrigerer Temperatur natürlich noch viel größer²⁾.

Wie der Mensch während der kälteren Jahreszeit durch dickere Kleider, bzw. erwärmte Wohnungen den Wärmeverlust möglichst zu beschränken

Nr.	Tierart	Körpertemperatur	Außentemperatur	Differenz
1	Polarfuchs	38,3	— 35,6	73,9
2	Palarfuchs	41,1	— 35,6	76,7
3	Polarfuchs	39,4	— 32,8	72,2
4	Wolf	40,5	— 32,8	73,3
5	Weißer Hase	38,3	— 29,4	67,7
6	Schneehuhn	42,4	— 19,7	62,1
7	Schneehuhn	43,3	— 38,8	82,1
8	Schneehuhn	43,3	— 35,8	79,1

¹⁾ Arch. f. Hyg. 9, 83, 1889. — ²⁾ Über die physikalischen Eigenschaften der Kleidung vgl. Linroth, Zeitschr. f. Biol. 17, 184, 1881; Rubner, Arch. f. Hygiene 15, 29, 1892; 16, 105, 353, 1893; 17, 1, 1893; 23, 1, 1895; 24, 265, 346, 1895; 25, 1, 29, 70, 252, 287, 294, 1895; 27, 49, 51, 78, 102, 249, 1896; 29, 269, 1897; 31, 142, 1897; 32, 1, 1898; Müller, Ebenda 2, 1, 1884; Schuster, Ebenda 8, 1, 1888; Rumpel, Ebenda 9, 51, 1889; Cramer, Ebenda 10, 231, 1890; Reichenbach, Ebenda 13, 113, 1891; Hartmann, Ebenda 14, 380, 1892; Nothwang, Ebenda 15, 314, 1892; Schierbeck, Ebenda 16, 203; Wolpert, Ebenda 27, 291, 1896; 48, 107, 1904; Lewaschew, Ebenda 31, 259, 1897; Spitta, Ebenda 32, 285, 1898; Laschtschenko, Ebenda 33, 193, 1898.

sucht, so suchen die warmblütigen Tiere durch dickere Haar- oder Federbekleidung dem Einfluß der stärkeren Kälte entgegenzuwirken. Was sie dabei tatsächlich leisten können, geht am deutlichsten aus vorstehenden von Parry und Lyon¹⁾ (Nr. 1 bis 5), sowie von Back²⁾ (Nr. 6 bis 8) mitgeteilten Erfahrungen an Polartieren hervor (siehe Tabelle auf nebenstehender Seite unten).

Diese Widerstandsfähigkeit gegen eine sehr niedrige Außentemperatur ist um so mehr bemerkenswert, als hier nicht, wie beim Menschen, eine künstliche Kleidung, sondern eine von der Natur selber hergestellte vorliegt.

Fünftes Kapitel.

Die Regulierung der Körpertemperatur.

Um ihre Temperatur konstant zu erhalten, verändern die warmblütigen Tiere teils den Stoffwechsel (chemische Wärmeregulation, Rubner), teils die Bedingungen für die Wärmeabgabe (physikalische Wärmeregulation).

Die chemische Wärmeregulation ist schon bei der Darstellung des Stoffwechsels (S. 459) besprochen; daselbst haben wir erörtert, wie sich die Wärmebildung bei verschiedener Außentemperatur verändert, wie die Zufuhr von Nahrung die Wärmebildung beeinflusst usw. Es stellte sich heraus, daß der Stoffwechsel bei abnehmender Außentemperatur ansteigt, sowie daß Zufuhr von Nahrung, und zwar insbesondere von Eiweiß den Stoffwechsel anregt. Auch die Nahrungsaufnahme kann also bei der Wärmeregulation nicht unwesentliche Dienste leisten.

Die hierher gehörigen Erfahrungen haben außerdem ergeben, daß von einer gewissen oberen Grenze an, die bei verschiedenen Tierarten etwas verschieden sein dürfte, eine Erhöhung der Außentemperatur nicht nur keine Abnahme, sondern im Gegenteil eine Zunahme des Stoffwechsels und der Wärmebildung hervorruft. Unter diesen Umständen kann also von einer chemischen Wärmeregulation im Sinne Rubners keine Rede sein.

Bei einzelnen Individuen findet man allerdings, daß die durch die Kohlensäureabgabe gemessene Wärmebildung bei einer Außentemperatur von mehr als 27° C abnimmt, und man kann also hier von einer chemischen Wärmeregulation sprechen [Wolpert³⁾, Rubner⁴⁾]. Dies dürfte aber kaum als Regel aufgestellt werden können, da die soeben genannten Autoren auch Beispiele davon mitteilen, daß bei einer hohen Außentemperatur die Kohlensäureabgabe stark ansteigt. Als Belege seien folgende Reihen hier mitgeteilt (siehe Tabelle auf folgender Seite).

Aber auch unabhängig von diesen Erfahrungen läßt es sich unschwer nachweisen, daß bei einer etwas höheren Außentemperatur die chemische Wärmeregulation versagen muß. Bei gewöhnlicher Zimmertemperatur beträgt der Stoffwechsel eines nüchternen Menschen bei vorsätzlicher Muskelruhe rund 1700 Kal.; dieser genügt, um die Körpertemperatur auf ihrem normalen Stande zu erhalten. Wenn nun der Körper in eine wärmere Umgebung versetzt wird, so kann dennoch sein Stoffwechsel in keinem erheblicheren

¹⁾ Ann. de chimie et de phys. Sér. 2, 28, 223, 1825. — ²⁾ Compt. rend. de l'Acad. des sciences Paris 2, 621, 1836. — ³⁾ Arch. f. Hygiene 33, 206, 1898; 36, 203, 294, 1899; 39, 293, 1901. — ⁴⁾ Rubner, 38, 120, 1900.

I		II	
Außen- temperatur	CO ₂ pro Stunde g	Außen- temperatur	CO ₂ pro Stunde g
2	29,8	9,8 ¹⁾	42,5
10—15	25,1	13,6 ²⁾	37,6
15—20	24,1	14,0	41,5
20—25	25,0	14,8	37,7
25—30	25,3	16,6	36,1
30—35	23,7	17,4	33,2
35—40	21,2	18,1	26,9
		21,9	28,4
		25,2	32,7
		30,5 ³⁾	37,3
		37,4 ³⁾	51,8

Grade abnehmen, da die Arbeit des Herzens und der Atmungsmuskeln ganz wie früher stattfindet und auch die mit dem Leben unauflöslich verbundenen Stoffwechselfvorgänge der übrigen Organe nie vollständig aufhören können. Es ist dem Körper also nicht möglich, seine Wärmebildung unterhalb eines gewissen Minimums zu reduzieren, auch wenn wir voraussetzen, daß seine Temperatur nicht ansteigt und also die daraus folgende Steigerung des Stoffwechsels (vgl. S. 461) nicht erscheint, sowie noch berücksichtigen, daß bei sehr hoher Körpertemperatur, wo die Funktionen der nervösen Zentren schon in hohem Grade gelitten haben, eine ausgeprägte Schläffheit bei den Muskeln hervortritt ⁴⁾. Zur Erhaltung der konstanten Körpertemperatur ist also die physikalische Wärmeregulation hier unbedingt notwendig.

Wenn dem so ist, so gilt dies in einem noch viel höherem Grade, sobald dem Körper eine Muskelleistung aufgezwungen wird. Dank der dabei stattfindenden vermehrten Wärmebildung würde der Körper in unmittelbarer Gefahr der Überwärmung schweben, wenn dieser nicht durch die physikalische Wärmeregulation entgegengewirkt würde.

Es liegt also im Grunde nichts Überraschendes in der von H. E. Ranke ⁵⁾ hervorgehobenen, beim ersten Anblick so merkwürdigen Erscheinung, daß eine hohe Außentemperatur bei längerer Einwirkung zu einer starken Beeinträchtigung der instinktiven Nahrungsaufnahme und damit zur Unterernährung führt.

§ 1. Die Regulierung des Wärmeverlustes.

Diese erfolgt teils durch Veränderung der Blutzufuhr zu der Haut, teils durch Veränderungen der Abgabe von Wasserdampf, teils durch Veränderungen der Bekleidung. Hierzu kommen noch Veränderungen der Körper-

¹⁾ Winterkleidung. — ²⁾ Sommerkleidung bis 25,2° einschließlich. — ³⁾ Nackt. — ⁴⁾ Vgl. Rosenthal, Zur Kenntnis der Wärmeregulation bei den warmblütigen Tieren, Programm, Erlangen 1872, S. 16. — ⁵⁾ H. E. Ranke, Über die Einwirkung des Tropenklimas auf die Ernährung des Menschen, Berlin 1900; Zeitschr. f. Biol. 40, 288, 1900; Münch. medicin. Wochenschr. 1905, Nr. 2.

haltung, indem die warmblütigen Tiere bei niedriger Außentemperatur sich so viel wie möglich zusammenrollen, um derart eine möglichst kleine Körperoberfläche der Abkühlung auszusetzen, und umgekehrt bei hoher Außentemperatur durch Ausstrecken des Körpers danach streben, die Körperoberfläche möglichst zu entfalten. Da die Wirkung der beiden letzteren Momente offen zutage liegt, brauche ich dieselben hier nicht näher zu erörtern.

Der Stoffwechsel der Haut ist nur geringen Umfanges, und die Wärme der Haut entstammt daher zum allergrößten Teile teils der von den Muskeln ihr direkt zugeleiteten Wärme, teils und vor allem dem in ihren Gefäßen strömenden Blute. Je größer diese Blutmenge ist, um so wärmer wird die Haut. Unter sonst gleichen Umständen wird also die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung mit der Größe der Blutzufuhr zu- und abnehmen.

Während seiner Strömung durch die Haut wird das Blut selber abgekühlt, und auch die von ihm abgegebene Wärmemenge muß zu der Größe der Blutzufuhr in gerader Proportion stehen. Kurz jede Erweiterung der Hautgefäße bewirkt, *ceteris paribus*, eine vermehrte, jede Verengung eine verminderte Wärmeabgabe.

Die wechselnde Blutfülle der Hautgefäße stellt also einen wärmeregulierenden Mechanismus dar, der besonders bei niedrigerer Außentemperatur eine wesentliche Bedeutung haben muß ¹⁾.

Wie Nasaroff ²⁾ zuerst nachwies und Durig und Lode ³⁾ später bestätigen konnten, zeigen erwachsene, gut genährte Hunde bei wiederholten kalten Bädern gesetzmäßig eine Anpassung an den Wärmeverlust, so daß dieselben die Fähigkeit erlangen, an ihrer Eigentemperatur mit großer Zähigkeit festzuhalten, wie z. B. in folgender Versuchsreihe an einem Hunde von 10,3 kg Körpergewicht, bei welchem die normale CO₂-Abgabe für 10 Minuten durchschnittlich 2,74 g betrug. Die Dauer des Bades war in allen Versuchen 10 Minuten.

Tag	Temperatur des Tieres		Differenz	Temperatur des Wassers	CO ₂ -Abgabe g	Bemerkungen
	Vor dem Bade	Nach dem Bade				
1	38,8	37,3	1,5	14,3	6,87	Anfangs ruhig, dann 1 Min. Abwehrbewegungen, dann wieder ruhig
2	38,8	35,4	3,4	12,2	9,06	Anfangs ruhig, dann heftige Abwehrbewegungen
3	38,7	37,1	1,6	10,7	—	—
4	38,6	38,1	0,5	—	9,36	Ruhig
5	38,7	38,1	0,6	10,2	9,73	"
6	38,6	38,3	0,3	10,5	8,32	"
7	38,7	38,3	0,4	10,5	8,56	"
8	38,6	38,2	0,4	11,0	8,63	Zeitweise Abwehr, sonst ruhig

Wie zu erwarten, ruft das Bad eine bedeutende Steigerung der Wärmebildung (der CO₂-Abgabe) hervor. Diese Steigerung läßt sich bei Durigs

¹⁾ Über die Innervation der Hautgefäße und die im Dienste der Wärmeregulierung stattfindenden Veränderungen derselben vgl. F. B. Hofmann, dies Handbuch 1, 327. — ²⁾ Arch. f. path. Anat. 90, 487, 1882. — ³⁾ Arch. f. Hygiene 39, 46.

und Lodes Versuchen in keinerlei Beziehung zu der Erscheinung der Gewöhnung bringen. Vielmehr muß diese nur von einer Anpassung des Wärmeverlustes hergeleitet werden. Da hier die Abgabe von Wasserdampf wenigstens keine größere Rolle spielen dürfte, muß die Erscheinung von einer zweckmäßigeren Wirkungsweise der Gefäßmuskulatur abhängig sein. Über den hierbei stattfindenden Mechanismus vgl. Durig und Lode.

Da die Wärmebildung im Körper bei noch so hoher Außentemperatur nicht aufhört, wird es dem Körper von einer gewissen Grenze an nicht mehr möglich, sich durch Leitung und Strahlung von der in ihm gebildeten Wärme zu befreien, und er wäre also der Gefahr einer immer mehr zunehmenden Steigerung seiner Temperatur ausgesetzt, wenn nicht nun die Verdunstung von Wasser ihn abkühlen würde.

Bis die Bedeutung der Verdunstung in dieser Hinsicht klargelegt wurde, stellte man sich allgemein vor, daß ein mit Lungen atmendes Tier nicht in einer Umgebung, die höher temperiert war als sein eigener Körper, leben könne (Boerhave). Indes beobachtete Benjamin Franklin im Sommer 1750, daß seine Temperatur konstant blieb, obgleich die Außentemperatur im Schatten 37,8°C betrug, und wies auf die Verdampfung des Schweißes als Ursache der Abkühlung des Körpers hin. Während der folgenden Zeit häuften sich Beobachtungen aus den Tropen über das Konstantbleiben der Körpertemperatur trotz wesentlich höherer Außentemperatur, und eingehende Versuche von Tillet, Blagden, Fordyce, Solander, Banks, Dobson, Changeux, Crawford, Delaroché, Berger u. a. stellten außer jeden Zweifel, daß der Körper unter geeigneten Umständen selbst sehr hohe Außentemperaturen vertragen kann, ohne daß seine Temperatur dadurch in nennenswertem Grade anzusteigen braucht¹⁾.

Es ist selbstverständlich, daß sich der abkühlende Einfluß der Wasserverdunstung nur dann geltend machen kann, wenn die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt ist; hierbei ist auch die Bekleidung von großer Bedeutung. Wegen des Hindernisses, welche diese der freien Bewegung der Luft bereitet, kann die in der Kleidung befindliche Luft bald mit Wasserdampf gesättigt und also die fortdauernde Verdunstung von der Körperoberfläche aufgehoben werden. Große Hitze wird also um so besser vertragen, je dünner die Bekleidung und je trockener die Luft ist.

Nicht allein wenn die Luft an und für sich zu warm ist, hat der Körper das Bedürfnis, sich von der übermäßig gebildeten Wärme zu befreien; auch bei verhältnismäßig niedriger Temperatur kann die Gefahr einer Überhitzung eintreten, nämlich bei starker körperlicher Arbeit. Unter solchen Umständen tritt eine reichliche Schweißsekretion selbst bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes des Wassers hervor.

Wenn gleichzeitig eine starke körperliche Arbeit und eine hohe Außentemperatur zusammenwirken, sowie besonders wenn die Außenluft feucht ist und noch eine warme Bekleidung hinzukommt, wird die Gefahr einer Überhitzung drohend; in der Tat stellt sich nun sehr leicht eine nicht selten zum Tode führende Temperatursteigerung (Hitzeschlag) ein. Das Vermögen des Körpers, seine Temperatur zu regulieren, ist also auch nach oben ziemlich be-

¹⁾ Vgl. die eingehende Darstellung bei Rosenthal, S. 335.

schränkt, obgleich in dieser Hinsicht keine allgemeine Regeln aufgestellt werden können.

Beim Menschen wird die in regulatorischer Hinsicht stattfindende Abkühlung des Körpers fast ausschließlich durch den Schweiß¹⁾ bewirkt; die Wasserverdampfung aus den Respirationsorganen spielt in dieser Beziehung bei ihm nur eine verhältnismäßig untergeordnete Rolle.

Mehrere warmblütige Tiere schwitzen aber nur wenig oder gar nicht. Bei ihnen tritt statt dessen als regulatorischer Mechanismus eine sehr beschleunigte Atmung auf, dank welcher große Mengen Wasser von den Respirationsorganen verdunsten und also den Körper abkühlen.

Ackermann²⁾ zeigte, daß, wenn die Temperatur eines Hundes durch Behinderung seiner Wärmeabgabe gesteigert wird, die Atemfrequenz bedeutend zunimmt, sowie daß hier keine Dyspnoe vorliegt, denn nach einer raschen Abkühlung des Tieres tritt die normale Atemfrequenz ebenso rasch (in wenigen Minuten) wieder ein, und es war selbst bei der kräftigsten künstlichen Atmung nicht möglich, bei einem solchen Tiere Apnoe zu bewirken.

Zu gleicher Zeit mit der Beschleunigung nimmt die Atmungsgröße zu, die Atmung ist aber oberflächlicher als sonst (Mertschinsky³⁾).

Daß diese Form der Atmung, welche von Richet als Wärme-Polypnoe, von Gad als Tachypnoe bezeichnet wird, mit der wegen mangelhafter Ventilation der Lungen auftretenden respiratorischen Dyspnoe nichts gemeinsam hat, folgt ferner daraus, daß alles, was den respiratorischen Gasaustausch oder die Ventilation der Lungen verhindert, sowie auch die Anreicherung des Blutes mit Kohlensäure dem Auftreten der Polypnoe vorbeugt (Richet⁴⁾).

Wenn die Polypnoe wegen besonderer Eingriffe (Curarevergiftung, Zubinden des Maules, Röhrendyspnoe, tiefe Chloralnarkose) nicht erscheinen kann, so steigt die Körpertemperatur an, während sie unter genau denselben Umständen an ihrem früheren Stande bleibt, wenn die Polypnoe nicht verhindert wird (Richet).

Die Polypnoe kommt auch dann zum Vorschein, wenn nur das in den Carotiden strömende Blut erwärmt wird, während der übrige Körper keiner höheren Außentemperatur ausgesetzt ist (Goldstein⁵⁾). Diese Erscheinung im Verein mit der von Athanasiu und Carvalho⁶⁾ beobachteten, daß die Erwärmung des Körpers keine Polypnoe mehr hervorruft, wenn gleichzeitig der Kopf und der Hals des Tieres abgekühlt werden, zeigen uns, daß eine durch das erwärmte Blut ausgelöste Reizung im Kopfmark als nächste Ursache der Polypnoe aufzufassen ist⁷⁾.

Über die Polypnoe gibt Kahn⁸⁾ in der letzten Zeit noch an, daß bei Erwärmung des Carotisblutes das Maximum der Verflachung der Atmung stets früher erreicht wird als das der Beschleunigung; daß sich die Atmungsreflexe während derselben wesentlich anders gestalten wie bei der normalen Atmung, sowie daß die doppelte Vagusdurchschneidung die Polypnoe aufhebt und, wenn sie vor der Erwärmung stattgefunden hat, die Stärke der Polypnoe verringert.

Als begleitende Erscheinungen treten ferner, und zwar auch ohne daß der Körper (Rectum) selber wärmer wird, Erweiterung der Hautgefäße mit gleichzeitiger Kontraktion des Splanchnicusgebietes, Schweißsekretion bei Tieren, welche schwitzen, und verminderte Harnsekretion auf.

¹⁾ Über die Schweißsekretion siehe die Darstellung von Metzner in diesem Handbuche. — ²⁾ Deutsch. Arch. f. klin. Med. 2, 359, 1867. — ³⁾ Verhandl. der physik.-med. Ges. zu Würzburg, N. F., 16 (1881). — ⁴⁾ Arch. de physiol. 1888, p. 193, 282. — ⁵⁾ Arbeiten aus dem physiol. Laboratorium zu Würzburg 1, 77, 1872; vgl. auch Mertschinsky, a. a. O. — ⁶⁾ Archives de physiologie 1898, p. 95. — ⁷⁾ Über die Polypnoe siehe ferner Riegel, Arch. f. path. Anat. 61, 396, 1874; Arch. f. d. ges. Physiol. 5, 629, 1872; Sihler, Journ. of Physiol. 2, 191, 1880; Senator, Arch. f. (Anat. u.) Physiol., Suppl., 1883, S. 206; Arnheim, Ebenda 1894, S. 46; Rubner und Cramer, Arch. f. Hygiene 20, 345, 1894. — ⁸⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1904, Suppl., S. 81.

§ 2. Die Zentren der Wärmeregulierung.

Unsere direkten Erfahrungen, betreffend diejenigen Teile des zentralen Nervensystems, welche die verschiedenen Organe des Körpers zu gesetzmäßigem Zusammenwirken bei der Regulierung der Körpertemperatur koordinieren, sind bis jetzt nur sehr gering. Nicht daß man es unterlassen hätte, die Einwirkung des Nervensystems auf die Wärmeökonomie zu untersuchen, vielmehr liegen in dieser Hinsicht nicht wenige Arbeiten vor. Die durch dieselben erzielten Resultate sind aber bei weitem nicht genügend, um uns eine befriedigende Vorstellung von dem nervösen Mechanismus der Wärmeregulierung zu gestatten.

Da wir wissen, eine wie große Rolle die Muskeln bei der Regulierung der Wärme spielen, ist es von vornherein einleuchtend, daß die Körpertemperatur nach hoher Durchschneidung des Rückenmarkes, wegen der dabei eintretenden Lähmung der meisten Skelettmuskeln, bei nicht zu hoher Außentemperatur herabsinken muß, insbesondere da gleichzeitig auch die Hautgefäße erweitert werden. Beispiele davon haben wir bei Tscheschichin¹⁾, Bernard²⁾, Naunyn und Quincke³⁾, Rosenthal⁴⁾, Riegel⁵⁾, Pflüger⁶⁾, Pembrey⁷⁾ u. a.⁸⁾.

Wenn die Temperatur der Umgebung hoch ist, so kann die Körpertemperatur nach hoher Rückenmarksdurchschneidung ansteigen (Naunyn und Quincke, Riegel, Schroff⁹⁾ u. a.), was wahrscheinlich zum Teil auf dem Wegfallen der Polypnoe beruht, bei länger dauernden Versuchen wohl auch in dem Eintreten eines Wundfiebers seine Ursache hat (Rosenthal).

Die Erfahrungen über die Folgen der hohen Durchtrennung des Rückenmarkes beim Menschen stimmen mit denjenigen an Tieren vollständig überein: zuweilen begegnet man einem Anstieg, zuweilen einer Abnahme der Körpertemperatur. Die Abnahme ist wohl auch hier auf das Ausfallen der Muskeltätigkeit und die Erweiterung der Hautgefäße zu beziehen. Wenn ein Anstieg erscheint, dürfte derselbe vor allem davon herrühren, daß der Patient vor Wärmeverlust stark geschützt gewesen ist und daß die gelähmten Körperteile bald ihr Schwitzvermögen verlieren. Außerdem ist die Atmung jetzt diaphragmatisch, also von ziemlich geringem Umfange, weshalb die durch die Respiration bewirkte Abkühlung wesentlich vermindert wird¹⁰⁾.

Die Erscheinungen nach Rückenmarksdurchtrennung dürften also aus allgemeinen physiologischen Erfahrungen erklärt werden können, ohne daß man Veranlassung hätte, irgend welche speziell für die Wärmeregulierung eingerichtete Bahnen oder Zentren im Rückenmark anzunehmen.

Betreffend die bei verschiedenen Verletzungen oder Reizungen einzelner Hirnteile erzielten Resultate ist zu bemerken, daß hierbei gleichzeitig mit einer Temperatursteigerung nicht selten auch Zwangsbewegungen bzw. Zwangstellungen aufgetreten sind. In solchen Fällen kann die Steigerung der Körpertemperatur einfach die Folge der abnormen Muskeltätigkeit darstellen und lehrt uns nichts in bezug auf die eventuelle Beteiligung des betreffenden Hirnteiles bei der Regulierung der Körperwärme. Dasselbe ist der Fall, wenn

¹⁾ Arch. f. Anat. u. Physiol. 1866, S. 151. — ²⁾ Bernard, Chaleur animale, Paris 1876, p. 161. — ³⁾ Arch. f. Anat. u. Physiol. 1869, S. 174, 521. — ⁴⁾ Rosenthal, Zur Kenntnis der Wärmeregulierung, Erlangen 1872, S. 16. — ⁵⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 5, 629, 1872. — ⁶⁾ Ebenda 18, 321, 1878. — ⁷⁾ Journ. of Physiol. 17, proceedings 3, 1895. — ⁸⁾ Vgl. Pembrey, p. 859. — ⁹⁾ Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl. 73 (3), 141, 1876. — ¹⁰⁾ Pembrey, p. 860; Journ. of Physiol. 21, proceedings 13, 1897.

der Eingriff Störungen der Gefäßinnervation hervorruft, denn dann können eventuelle Veränderungen der Körpertemperatur lediglich von diesen bedingt sein.

Wenn wir uns nicht damit genügen lassen, jede Erwärmung oder Abkühlung des Körpers bei Muskelkrämpfen bzw. Muskellähmung oder infolge von einer Gefäßverengung bzw. Erweiterung als Ausdruck einer Einwirkung auf ein Wärmezentrum aufzufassen, in welchem Falle die Zahl solcher Zentren erdrückend groß werden würde, so müssen wir zugeben, daß die zurzeit vorliegenden Untersuchungen zum großen Teil nichts anderes als motorische oder vasomotorische Wirkungen nachweisen und also für die Frage nach dem Wärmezentrum keine direkte Bedeutung haben können.

Nach Tscheschichin¹⁾ würde die Durchschneidung des Gehirns (Kaninchen) an der Grenze zwischen Pons und Kopfmark unter Beschleunigung der Atmung und des Herzschlages und Steigerung der Reflexe eine starke Temperaturerhöhung bewirken; diese sei dadurch verursacht, daß durch den Schnitt ein im Gehirn befindliches wärmeregulatorisches (hemmendes) Zentrum abgetrennt werden würde. Bei der gleichen Operation sah indessen Lewitzki²⁾ die Temperatur in der Mehrzahl der Fälle vom Augenblicke der Operation an bis zum Tode immer sinken. Nur in zwei Fällen sah er eine kleine Steigerung der Temperatur: hier hatten sich aber besonders starke Krämpfe entwickelt, welche allein für sich die Temperaturzunahme erklären können. Etwa dasselbe fanden Bruck und Günter³⁾, indem unter vielen Versuchen nur in zweien eine Temperatursteigerung eintrat. Sawadowski⁴⁾ gibt an, daß die Temperatur nur dann ansteigt, wenn nach der Operation eine sehr heftige, von Krämpfen begleitete Atmung eintritt, was übrigens nur nach unvollständiger Durchtrennung der Fall ist; bei glatt verlaufender Operation sinkt die Temperatur konstant herab.

Unter elf Versuchen, bei welchen die Gegend des hinteren Randes der Brücke und des vorderen Randes des Kopfmarkes durch einen einfachen Nadelstich verletzt wurde, beobachteten Bruck und Günter fünfmal eine Temperatursteigerung, dagegen war die Verletzung des vorderen Randes der Brücke nicht mehr wirksam. Da der letzterwähnte Eingriff jedenfalls sicherer als die vollständige Durchschneidung an der gleichen Stelle wirkte, konnte die von Tscheschichin entwickelte Deutung nicht berechtigt sein.

Nach Schreiber⁵⁾ ruft die Stichverletzung an der Grenze zwischen Kopfmark und Pons bedingungslos und konstant eine Steigerung der Körpertemperatur hervor. Jedoch will er aus diesen Erfahrungen keine bestimmten theoretischen Schlußfolgerungen ziehen.

Wenn die Tiere durch Einpackung vor Wärmeverlust geschützt waren, so bekam Schreiber nach Stichverletzungen der Brücke in allen Teilen, der *Pedunculi cerebri*, des Kleinhirns und des Großhirns Steigerung der Körpertemperatur.

Durch diese Beobachtungen können wir möglicherweise schließen, daß eine Verletzung an der oberen Grenze des Kopfmarkes in vielen Fällen einen Temperaturanstieg im Körper verursacht. Ich kann aber nicht finden, daß diese Erscheinung, auch wenn sie ganz konstant auftritt, irgend welchen Beweis darstellt, daß sich am betreffenden Orte ein spezifisches Zentrum der Wärmebildung vorfindet, bzw. daß durch die Operation ein höher liegendes, regulatorisches Zentrum ausgeschaltet wäre, denn es ist sehr gut möglich,

¹⁾ Arch. f. Anat. u. Physiol. 1866, S. 151. Vgl. auch Wood, Smithson. Contrib. to Knowl. 1880. — ²⁾ Arch. f. path. Anat. 47, 357, 1869. — ³⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 3, 580, 1870. — ⁴⁾ Zentralbl. f. d. med. Wiss. 1888, S. 161, 178. — ⁵⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 8, 576, 1874.

daß diese Verletzung, die wahrscheinlich als ein Reiz wirkt, nur motorische Bahnen oder Zentren erregt hat, ohne daß das Vorhandensein von Muskelbewegungen oder erhöhtem Muskeltonus in allen Versuchsprotokollen ausdrücklich bemerkt worden ist.

Bei Zerstörung gewisser Abschnitte der Oberfläche des Vorderhirns beim Hunde, etwa der motorischen Region entsprechend, beobachteten Eulenburg und Landois ¹⁾ eine beträchtliche Steigerung der Temperatur in den kontralateralen Extremitäten. Lokalisierte elektrische Reizung der gleichen Stellen bewirkte eine meist geringe und vorübergehende Abkühlung in den kontralateralen Extremitäten. Entsprechende Beobachtungen sind auch am Menschen bei Läsionen der Großhirnrinde gemacht worden ²⁾. Auch in diesen Erfahrungen scheint kein bindender Beweis für die Existenz eines Wärmereizentrums zu liegen, denn dieselben dürften wohl mit der Erregung bzw. Lähmung der Vasomotoren und Skelettmuskeln in Zusammenhang gebracht werden können.

Nach einem Stich in das Vorderhirn — der Ort wurde nicht genau lokalisiert — fand Richet ³⁾, daß (beim Kaninchen) die Körpertemperatur wesentlich zunahm, und daß dabei eine Zunahme der kalorimetrisch gemessenen Wärmeabgabe um durchschnittlich 24 Proz. eintrat. Gleichzeitig beobachtete Ott ⁴⁾, daß die Durchschneidung der beiden *Corpora striata* eine beträchtliche Temperatursteigerung zuwege brachte. Kurz nachher teilten Aronsohn und Sachs ⁵⁾ entsprechende Erfahrungen mit. Einstiche in das Vorderhirn übten auf die Körpertemperatur keinen Einfluß aus. Wurde dagegen der mediale Rand des *Corpus striatum* vom Stiche getroffen und die Nadel bis zur *Basis cranii* geführt, so stieg die Körpertemperatur schon wenige Stunden nach der Operation bis zu einer enormen Höhe und hielt sich auf dieser mehrere Tage lang. Die gleiche Temperatursteigerung zeigte sich auch dann, wenn die Nadel den Schädelgrund nicht erreichte; nur erfolgte die Temperatursteigerung langsamer, so daß das Maximum erst nach 24 bis 73 Stunden erreicht wurde, während sie beim tiefen Einstich schon nach 2 bis 7 Stunden die höchste Höhe erstiegen hatte. Dabei nahm die Sauerstoffaufnahme bis zu 16 Proz., die Kohlensäureabgabe bis zu 21 Proz., sowie die Stickstoffabgabe im Harn um mindestens 25 Proz. zu.

Fortgesetzte Untersuchungen von Girard ⁶⁾, Baginsky und Lehmann ⁷⁾, Sawadowski ⁸⁾, White ⁹⁾, Gottlieb ¹⁰⁾, Wittkowsky ¹¹⁾, Ito ¹²⁾, Hirsch, Müller und Rolly ¹³⁾ u. a. bestätigten die Angaben der letzt-erwähnten Autoren betreffend den Ort des wirksamen Eingriffes, wenn sie

¹⁾ Arch. f. path. Anat. 68, 245, 1876; vgl. auch die damit übereinstimmenden Beobachtungen von Hitzig (Zentralbl. f. d. med. Wiss. 1876, S. 323) und die widerstreitenden von Kuessner (Ebenda 1877, S. 821). — ²⁾ Vgl. White, British med. Journ. 1894 (2), S. 1093; 1897 (1), S. 1655; Zeitschr. f. klin. Med. 50, 253, 1903. — ³⁾ Compt. rend. de l'Acad. des sciences Paris, 98, 826, 1884; Arch. de physiol. 1885 (2), 463; Arch. f. d. ges. Physiol. 37, 624, 1885. — ⁴⁾ Journ. of nervous and ment. diseases 11 (1884); zit. nach Aronsohn und Sachs (siehe unten). — ⁵⁾ Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1885, S. 166; Arch. f. d. ges. Physiol. 37, 232, 1885. — ⁶⁾ Arch. de physiol. 1886 (2), 281. — ⁷⁾ Arch. f. path. Anat. 106, 270, 1886. — ⁸⁾ A. a. O. — ⁹⁾ Journ. of Physiol. 11, 1, 1890; 12, 233, 1891. — ¹⁰⁾ Arch. f. exp. Path. 26, 419, 1889; 28, 167, 1891. — ¹¹⁾ Ebenda 28, 283, 1891. — ¹²⁾ Zeitschr. f. Biol. 38, 63, 1899. — ¹³⁾ Deutsches Arch. f. klin. Med. 75, 287, 1903.

auch in bezug auf die dabei auftretenden Erscheinungen nicht in allen Einzelheiten übereinstimmten.

Erfahrungen aus der menschlichen Pathologie scheinen dafür zu sprechen, daß auch beim Menschen eine Hyperthermie durch Läsion des *Corpus striatum* eintritt¹⁾.

Der Einstich in das Gehirn kann in zweierlei Weise einwirken, entweder durch Reizung oder durch Zerstörung der betreffenden Stelle. Da nach elektrischer Reizung am genannten Orte dieselbe Temperatursteigerung eintritt, darf man wohl schließen, daß auch der Einstich als ein Reiz wirkt.

Die oben angeführten Beobachtungen ergeben, daß hier eine Zunahme der Wärmebildung vorliegt. Während der ersten Stunden scheint indes, nach Gottlieb, eine Wärmeretention die wesentliche Ursache der Temperaturerhöhung zu sein, da die Erhitzung des Körpers oft um ungefähr diejenige Wärmemenge erfolgt, welche im Vergleich zur Norm zurückgehalten wird. Erst im weiteren Verlaufe kommt noch eine Überproduktion hinzu.

Es sind von verschiedenen Autoren noch andere Gehirnstellen angegeben worden, bei deren irritativer Verletzung eine Zunahme der Körpertemperatur auftritt. So würde nach Ott²⁾ (Kaninchen) und Tangl³⁾ (Pferd) der Sehhügel ein solches Wärmezentrum enthalten, welches nach Ott nach dem *Tuber cinereum* verlegt wäre; dagegen ist White zu dem Resultat gekommen, daß die Temperatursteigerung bei Verletzung des Sehhügels nur bei gleichzeitiger Verletzung des *Corpus striatum* erscheint⁴⁾. Im *Tuber cinereum* würde sich nach Ott auch ein Zentrum vorfinden, welches die Abgabe von Wärme beförderte: Reizung desselben rufe die Wärmepolypnoe hervor, während dessen Zerstörung das Auftreten der Polypnoe aufhebe.

Unter allen „Wärmezentren“, die von verschiedenen Autoren erwähnt worden sind, dürften die im *Corpus striatum* als am sichersten festgestellt erachtet werden können. Sind dieselben aber als wirkliche Zentren der Wärmebildung oder Wärmeregulierung aufzufassen, und haben sie überhaupt eine direkte Bedeutung bei der Wärmeökonomie des Körpers?

Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß sie nicht die einzigen nervösen Zentralorgane für die Wärmebildung darstellen können, da wir doch wissen, daß diese von der Tätigkeit der Organe abhängig ist, und also von allen Teilen des zentralen Nervensystems, die überhaupt bei den peripheren Organen eine dissimilatorische Wirkung hervorrufen, beherrscht wird. Ito hebt hervor, daß das Wärmezentrum des *Corpus striatum* in erster Linie die Tätigkeit des Pankreas erhöht, und daß es im höchsten Grade wahrscheinlich ist, daß diese Drüse dadurch in höherem Grade Wärme entwickelt als andere Organe des Tierleibes. Die bedeutende Temperatursteigerung des Körpers nach dem Wärmestich läßt sich jedoch nicht aus diesem Gesichtspunkte erklären. Außerdem geht aus Aronsohns⁵⁾ neuen Versuchen sehr deutlich hervor, daß der Wärmestich unter Vermittelung der Skelettmuskeln seine Einwirkung entfaltet, da derselbe bei schwacher Curarevergiftung der Versuchstiere keine Zunahme der Körpertemperatur bewirkt.

¹⁾ Vgl. die S. 600 zitierten Arbeiten von White. — ²⁾ Ott, Text-Book of Physiol., Philadelphia 1904, p. 348. — ³⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 61, 559, 1895. — ⁴⁾ Vgl. auch Sawadowsky, a. a. O. — ⁵⁾ Arch. f. pathol. Anat. 169, 501, 1902; vgl. auch Hirsch, Müller und Rolly, Deutsches Arch. f. klin. Med. 75, 287, 1903, sowie die Kritik Aronsohns, Ebenda 82, 205, 1904.

Durch den Ausfall des *Corpus striatum* wird übrigens die Fähigkeit der Wärmeregulierung nicht aufgehoben, wie aus Goltz' ¹⁾ Erfahrungen am Hunde ohne Großhirn, bei welchem von den Streifenkörpern nur noch ein Teil vorhanden war und dieser sich im Zustande braungelber Erweichung befand, ersichtlich ist. Ein solcher Hund bietet allerdings verschiedene Störungen seiner Wärmeökonomie dar, diese können aber ganz einfach als der Ausdruck der allgemeinen Störungen aller Funktionen, die bei einem solchen Tiere auftreten, aufgefaßt werden ²⁾.

Die Versuche, im zentralen Nervensystem bestimmte Wärmezentren nachzuweisen, dürften also kaum zu einem völlig befriedigenden Resultat geführt haben. Sind wir aber gezwungen, das Vorhandensein besonderer Wärmezentren anzunehmen, und wäre es nicht möglich, die Wärmeregulierung der homoiothermen Tiere ohne solche zu erklären?

Bei der Wärmeregulierung wirkt zwar eine stattliche Zahl verschiedener Organe in gesetzmäßiger Weise untereinander zusammen, und dies stellt der landläufigen Anschauung gemäß einen genügenden Grund für das Postulat der Wärmezentren dar. Dieses Zusammenwirken ist indes ganz anderer und einfacherer Art als das, welches bei mehreren anderen kombinierten Verrichtungen stattfindet. Bei den Atembewegungen treten zahlreiche Muskeln in einer ganz bestimmten Reihenfolge in Tätigkeit; dieselben müssen daher in zweckentsprechender Weise miteinander koordiniert werden. Dasselbe ist mit der Brechbewegung und überhaupt mit allen, einem bestimmten Ziele folgenden Muskelkontraktionen der Fall. Ebenso muß sich bei der Verteilung des Blutes nach den verschiedenen Körperteilen eine feine Abstufung der Tätigkeit der Gefäßmuskeln in den verschiedenen Organen vorfinden.

Bei der Wärmeregulierung verhält sich die Sache wesentlich anders: wenn die Wärmeabgabe zu groß ist, so wird der Tonus in allen Muskeln und in allen Hautgefäßen ohne Unterschied erhöht; ist die Wärmebildung zu groß oder ist die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung nicht genügend, so werden alle Schweißdrüsen ohne Unterschied erregt, bzw. es tritt die Polypnoe, welche keine andere Regulation als die der Atembewegungen erfordert, hervor. Kurz, bei der Wärmeregulation handelt es sich nicht um ein koordiniertes, wohl abgepaßtes Zusammenwirken einzelner Organe, sondern die hier tätigen Körperteile werden en bloc erregt.

Unter solchen Umständen liegt, meines Erachtens, gar keine zwingende Notwendigkeit vor, im zentralen Nervensystem ein bestimmtes Zentrum für die Wärmeregulierung zu postulieren. Vielmehr dürften sich sämtliche hierbei stattfindenden Erscheinungen ohne besondere Schwierigkeit erklären lassen, wenn wir annehmen, daß die nervösen Zentren, die die Muskeln und andere wärmebildenden Organe beherrschen, sowie diejenigen, welche die Hautgefäße, bzw. die Schweißdrüsen und die Atembewegungen beeinflussen, bei Temperaturveränderungen in einer dem Bedarf der Wärmeregulation entsprechenden Weise reagieren.

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 51, 591, 1892; vgl. auch Christiani, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1885, S. 572. — ²⁾ Vgl. Girard, Arch. de physiol. 1888 (1), 312; U. Mosso, Arch. f. exp. Path. 26, 316, 1889.

Betreffend den hierbei stattfindenden Mechanismus können mehrere Möglichkeiten stattfinden. Es könnte der Fall sein, daß die Erregung der Kältenerven reflektorisch den Muskeltonus erhöht, die der Wärmernerven die Schweißsekretion hervorruft. Auch ist es denkbar, daß eine kleine Steigerung der Bluttemperatur die Schweißzentren direkt erregt, wie eine Abnahme derselben irgend welche motorische Zentren in Tätigkeit versetzt. Endlich ist es auch möglich, daß gewisse periphere Organe durch die veränderte Temperatur des durch sie strömenden Blutes ihren Stoffwechsel in der einen oder anderen Richtung verändern können.

Die Erfahrungen, welche wir über die Reaktionsweise des Körpers bei Temperaturveränderungen besitzen, sprechen wenigstens nicht gegen diese Auffassung. Die so merkwürdige Anpassung der Wärmeproduktion an die umgebende Temperatur, die Rubner konstatiert hat (vgl. Stoffwechsel, S. 463), ist ja im Grunde nicht merkwürdiger als die Anpassung der Atembewegungen an den Gasgehalt des Blutes¹⁾, und kann wohl mit der Ansicht, daß gewisse motorische Zentren — möglicherweise im *Corpus striatum* — auf selbst geringe Temperaturen reagieren, in Übereinstimmung gebracht werden. Auch die Tatsache, daß es beim Menschen gelingt, die vermehrte Wärmebildung bei niedriger Außentemperatur zu unterdrücken, zeigt, daß die chemische Wärmeregulation nicht von einem vom Willen völlig unabhängigen Zentrum beherrscht wird, und um ein solches müßte es sich doch handeln, wenn die Wärmebildung von einem speziellen Wärmezentrum aus reguliert werden würde.

Auch Erfahrungen, welche wir hinsichtlich der Empfindlichkeit unserer Wärme- und Kältenerven besitzen, sprechen nicht gegen diese Auffassung, denn da selbst sehr geringe Temperaturdifferenzen unter ihrer Vermittlung bewußt werden können, so läßt es sich ja nicht von vornherein verneinen, daß sie auch auf die Zentren des Muskeltonus, der Schweißsekretion usw. einwirken können. Übrigens haben ja direkte Versuche unzweifelhaft erwiesen, daß eine geringe Veränderung der Körpertemperatur Veränderungen in bezug auf die bei der Wärmeregulierung tätigen Mechanismen hervorrufen können.

Hierher gehören folgende Versuche von Stern²⁾, bei welchen (am Menschen) die Temperatur eines Vollbades von etwa 34 bis 37° C sehr langsam erhöht oder erniedrigt wurde, bis der Körper durch Bewegung bzw. Schweißsekretion anzeigte, daß die wärmeregulatorischen Mechanismen in Tätigkeit versetzt worden waren. Gleichzeitig wurde die Rectaltemperatur gemessen. Es stellte sich heraus, daß die Schweißsekretion erschien, wenn die Körpertemperatur um durchschnittlich 0,34° C (Max. 0,8, Min. 0,10°) zugenommen hatte. Muskelzittern trat auf, sobald die Körpertemperatur um durchschnittlich 0,26° C (Max. 0,8, Min. 0,0°) herabgesunken war. Wenn infolge starker Hautreizung (mit Senfpulver) die Hautgefäße erweitert waren, trat die Gegenregulation bei Abkühlung schneller und bei geringerer Abnahme der Körpertemperatur ein.

Dementsprechend fand Fredericq³⁾, daß bei körperlicher Arbeit eine Schweißsekretion erschien, wenn die Körpertemperatur um 0,14 bis 0,49° C zugenommen hatte. Bei einer Ausgangstemperatur von weniger als 37,2° C war die Zunahme der Körpertemperatur, bis Schweiß erschien, durchschnittlich 0,43° C (Max. 0,49, Min. 0,38°); bei einer Ausgangstemperatur zwischen 37,2 und 37,4° C betrug die Zunahme nur 0,21° C (Max. 0,28, Min. 0,14°). Die Zahl der Beobachtungen ist allerdings nur gering, es scheint indessen aus denselben hervorzugehen, daß die durch Ausbruch von Schweiß gekennzeichnete Gegenregulation bei Erwärmung des Körpers um so früher auftritt, je höher die Körpertemperatur schon ist.

¹⁾ Vgl. z. B. Miescher, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1885, S. 355. — ²⁾ Zeitschr. f. klin. Med. 20, 63, 1892. — ³⁾ Travaux du laboratoire 6, 209, 1901.

Aus diesen und anderen Erfahrungen (vgl. S. 597), wie aus dem, was uns betreffs der Schweißsekretion bekannt ist, dürfte mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit geschlossen werden können, daß die bei der Wärmeregulation stattfindende Reizung gewisser Teile des Nervensystems wesentlich durch die Temperatur des Blutes zustande kommt, und daß im Vergleich dazu die reflektorischen Wirkungen der Wärme- und Kältnerven von geringerer Bedeutung sein dürften.

In der letzten Zeit hat Montuori¹⁾ Versuche mitgeteilt, in welchen er darzutun sucht, daß die Wärmeregulation wesentlich durch den Einfluß besonderer Substanzen erfolgt, welche bei Erwärmung bzw. Abkühlung des Körpers entstehen. Die Transfusion des Blutes von einem künstlich erwärmten oder abgekühlten Hunde an einen anderen Hund würde nämlich bei diesem eine Abnahme bzw. eine Zunahme der Wärmebildung hervorrufen. Nach Transfusion des Blutes eines abgekühlten Tieres wird die Sauerstoffaufnahme und die Kohlensäureabgabe vermehrt; dagegen tritt bei Transfusion vom Blute eines erwärmten Tieres trotz der verminderten Wärmeabgabe keine Veränderung im respiratorischen Gasaustausch hervor usw. Wenn sich diese Angaben bestätigen, so würde die Physiologie der Wärmeregulation in vielerlei Hinsicht ein verändertes Aussehen bekommen. Aber selbst wenn dem so wäre, würde doch daraus keine Notwendigkeit spezieller Wärmезentren resultieren.

§ 3. Die Wärmeregulierung bei Neugeborenen.

Bei seinen Untersuchungen über die Körpertemperatur bei Neugeborenen und jungen Säugetieren von verschiedenem Alter fand Edwards²⁾, daß dieselben, wenn sie von ihrer Mutter fortgenommen wurden, sich wesentlich verschieden verhalten. Einige, welche, wie der Hund, die Katze, das Kaninchen, blind und hilflos geboren werden, zeigten eine bedeutende Abnahme ihrer Temperatur, und zwar auch dann, wenn sie durch Bedeckung vor Wärmeverlust geschützt wurden. Im Laufe der ersten zwei Wochen bekamen sie allmählich das Vermögen, selbständig ihre Temperatur bei gewöhnlicher Zimmertemperatur zu erhalten. Andere Tiere aber, wie das Meerschweinchen, besaßen vom Augenblick der Geburt an das Vermögen, bei mittlerer Temperatur ihre Eigentemperatur selbständig zu bewahren, ohne von der Mutter erwärmt zu werden. Wenn die Tiere aber einer niedrigen Außentemperatur ausgesetzt wurden, so konnten sie ihre Eigentemperatur nicht beibehalten und verhielten sich dann wie die Tiere der ersten Gruppe.

Dieselben Erscheinungen konnte Edwards auch bei den Vögeln beobachten; außerdem bemerkte er, daß das neugeborene Kind allerdings nicht der Erwärmung durch den mütterlichen Körper bedarf, andererseits aber gegen stärkere Abkühlung viel empfindlicher ist als etwas ältere Kinder. Vor der Zeit geborene Kinder konnten überhaupt nicht selbständig ihre Temperatur bewahren³⁾.

Am bebrüteten Hühnerai fand Pembrey im Verein mit Gordon und Warren⁴⁾, daß das Küchlein etwa bis zum Ende der dritten Woche auf Variationen der Außentemperatur in derselben Weise wie ein Kaltblüter

¹⁾ A. Montuori, Ricerche Biotermiche, Napoli 1904; im Auszug in Arch. ital. de biol. 42, 383, 1904. — ²⁾ W. F. Edwards, De l'influence des agents physiques sur la vie, Paris 1824, p. 132. — ³⁾ Derselbe, Ebenda, p. 229. — ⁴⁾ Journ. of Physiol. 17, 331, 1894.

reagiert, d. h. daß die Intensität der Kohlensäurebildung mit der Außentemperatur steigt und fällt. Das ausgetragene Kuchlein hat aber, wenn es kraftig ist, das Vermögen, in derselben Weise wie überhaupt die warmblütigen Tiere durch vermehrte Verbrennung gegen Abkühlung zu reagieren.

Bei fortgesetzten Untersuchungen konstatierte Pembrey¹⁾, ebenfalls durch Studium der Kohlensäurebildung, daß sich neugeborene Mäuse, Ratten und Tauben bei Veränderungen der Außentemperatur ganz wie Kaltblüter verhalten, während dagegen das Meerschweinchen und das Kuchlein die Fähigkeit haben, durch vermehrte Wärmebildung ihre Eigentemperatur konstant zu erhalten, vorausgesetzt, daß die Schwankungen der Außentemperatur nicht zu groß sind. Die Tiere der ersten Gruppe gewannen ein genügendes Vermögen der Wärmeregulierung 10 bis 15 Tage nach der Geburt.

In wesentlicher Übereinstimmung mit Edwards bemerkt Pembrey, daß die wesentliche Ursache, weshalb neugeborene Mäuse, Tauben usw. ihre Eigentemperatur nicht bewahren können, in einer mangelhaften Wärmebildung liegt. Bei Temperaturerniedrigung sind ihre Bewegungen zwar im Anfange lebhafter, bald werden sie aber schwach und von geringer Wirkung. Das Meerschweinchen und das Kuchlein zeigen dagegen bei niedriger Temperatur eine bedeutende Aktivität. Das Vermögen der Wärmeregulierung scheint also Hand in Hand mit der Entwicklung der neuromotorischen Organe zu gehen.

Daß das ausgetragene neugeborene Kind selbständig seine Körpertemperatur auf konstanter Höhe erhalten kann, steht außer jedem Zweifel. Jedoch zeigt die Erfahrung, daß es noch nicht in derselben Weise wie der erwachsene Mensch seine Körpertemperatur zu regulieren vermag. Dies geht vor allem aus den schon oben besprochenen Erfahrungen über den Temperaturfall während der ersten Tage hervor, welcher ja vom Bade wesentlich unabhängig ist und auch an Kindern auftritt, die kein Bad bekommen. Ferner sind die Temperaturschwankungen, obgleich bei ihnen noch nicht die gesetzmäßig verlaufende tägliche Variation ausgebildet ist, wesentlich größer als beim Erwachsenen. Hier liegt also eine gewisse Wärmelabilität vor, welche, wie Raudnitz²⁾ näher entwickelt, nicht von der geringen Körpergröße und dem davon bedingten verhältnismäßig größeren Wärmeverlust abhängen kann, da bei einem und demselben Kinde die Wärmeregulierungsfähigkeit mit jedem Lebensstage zunimmt, ohne daß sich das Verhältnis zwischen Körpergröße und -oberfläche inzwischen wesentlich ändert. Hier dürfte also, ganz wie beim Meerschweinchen, der Einfluß anfangs nicht völlig ausgebildeter Regulationsvorrichtungen vorliegen.

Durch Versuche, wo sowohl die Wärmeabgabe (kalorimetrisch) als auch der respiratorische Gasaustausch bestimmt wurde, kommt Babak³⁾ zu dem Resultat, daß beim Neugeborenen die physikalische Wärmeregulation mangelhaft ist, und daß auch die chemische Regulation oft große Unregelmäßigkeiten aufweist. Wenn die Wärmeabgabe ungenügend geregelt wird, reicht die gesteigerte Wärmeproduktion nur dann aus, wenn die Außentemperatur höher oder die Umhüllung mit schlechtem Wärmeleiter besser ist.

¹⁾ Journ. of Physiol. 18, 363, 1895. — ²⁾ Zeitschr. f. Biol. 24, 422, 1888; daselbst eine eingehende Besprechung der einschlägigen Literatur. — ³⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 89, 154, 1902.

Nach Jundell¹⁾ sind indessen die bei völlig gesunden Neugeborenen auftretenden Variationen geringer, als man es sich im allgemeinen vorstellt. Nach seinen Messungen, die allerdings nur sechsmal täglich gemacht wurden, und zwar an Kindern am Ende der ersten Lebenswoche, war die Variationsbreite bei zwei- bis dreitägigen Beobachtungen an 47 Kindern (insgesamt 139 Tage) 32 mal 0,3, 27 mal 0,4, 32 mal 0,5 und 16 mal 0,6° C, während dieselbe bei der Versuchsperson Vogel (Jürgensen) durchschnittlich für 10 Tage 0,86° C (Max. 1,0, Min. 0,6°) betrug.

§ 4. Anhang.

Die Wärmeökonomie der kaltblütigen Wirbeltiere²⁾.

Über die Temperatur der kaltblütigen Wirbeltiere liegen sehr zahlreiche Angaben von älterer und jüngerer Zeit vor. Aber erst seitdem Berthold³⁾ näher die Vorsichtsmaßregeln darstellte, welche bei solchen Untersuchungen beobachtet werden müssen, sind die hierher gehörigen Untersuchungen im allgemeinen mit der notwendigen Sorgfalt ausgeführt worden; dem größeren Teile der älteren Beobachtungen kann daher kein vollständiges Zutrauen beigemessen werden.

Die Frage, die vor allem wichtig ist, ist die, ob die kaltblütigen Wirbeltiere eine Eigentemperatur haben, d. h. ob sich bei ihnen Vorrichtungen finden, die es diesen Tieren möglich machen, eine Temperatur zu erzeugen, die nicht allein momentan, sondern auf die Länge höher ist als die des umgebenden Mediums.

Diese Frage dürfte nunmehr ziemlich sicher beantwortet werden können. Im Wasser nehmen die kaltblütigen Tiere (Frosch, Krokodil, Schildkröte, Fische) schnell die Temperatur des Wassers an, und es gelingt mit noch so empfindlichen Methoden nicht, eine Eigentemperatur bei denselben nachzuweisen [Soetbeer⁴⁾, Isserlin⁵⁾].

Auch wenn sie in der Luft aufbewahrt werden, so nehmen sie die Temperatur derselben an, wenn der Feuchtigkeitsgehalt ein mittlerer ist und kein zu starker Luftwechsel stattfindet. In trockener Luft, und besonders wenn gleichzeitig der Raum stark ventiliert wird, sinkt ihre Temperatur; wenn endlich die Luft mit Wasser gesättigt ist, so steigt die Körpertemperatur (beim Frosch) um etwa 0,1 bis 0,3° C an.

Diese Erscheinungen sind aus rein physikalischen Gründen leicht zu erklären. Die Tiere haben keine Fähigkeit, eine Eigentemperatur zu entwickeln und zu unterhalten. In einem gut wärmeleitenden Medium, wie dem Wasser, wird die bei ihrem Stoffwechsel gebildete Wärme sogleich fortgeleitet. In trockener Luft bewirkt die Verdunstung von ihrer Körperoberfläche eine Abnahme der Körpertemperatur; ist die Luft mit Wasser gesättigt, so hört diese Verdunstung auf; da selbst die feuchte Luft einen schlechten Wärmeleiter darstellt, wird die gebildete Wärme dem Tiere nicht sogleich entzogen, und infolgedessen entsteht der winzige Überschuß der Körpertemperatur über die Außentemperatur. Bei einem gewissen Feuchtigkeitsgehalte genügt die Wärmeabgabe durch Leitung, Strahlung und Wasserverdampfung gerade, um Temperaturgleichgewicht zwischen dem Tiere und der Luft herzustellen.

¹⁾ Jahrb. f. Kinderheilk., N. F., 59, 531, 1904. — ²⁾ Wegen Mangel an Raum, und da dieses Handbuch vor allem die Physiologie des Menschen zu berücksichtigen hat, kann der Wärmehaushalt der kaltblütigen Wirbeltiere nur ganz kurz erörtert werden. Aus derselben Ursache muß die Wärmeökonomie der Wirbellosen hier ganz ausgeschlossen werden. Betreffend die Winterschläfer verweise ich auf die Darstellung von Merzbacher in den Ergebnissen der Physiologie 3 (2), 214, 1904. — ³⁾ Berthold, Neue Versuche über die Temperatur der kaltblütigen Tiere, Göttingen 1835. — ⁴⁾ Arch. f. exp. Path. 40, 53, 1898; daselbst eine ausführliche Zusammenstellung der Angaben über die Temperatur bei den Amphibien und Reptilien. — ⁵⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 90, 472, 1902.

Die kaltblütigen Tiere können also nicht selbständig ihre Temperatur wesentlich über die des umgebenden Mediums erhöhen, und jede Steigerung derselben ist also durch eine Wärmezufuhr von außen bedingt.

Bei den Wassertieren ist natürlich die Wärmeleitung hierbei allein bestimmend. Bei Tieren, die sich nicht im Wasser aufhalten, wird durch Leitung von der Luft, wegen deren geringer Wärmekapazität, wahrscheinlich nur sehr wenig Wärme zugeführt; viel mehr Wärme bekommen diese durch Leitung von dem Boden, am meisten aber durch die Wärmestrahlung. In bezug auf die letztere spielt auch die Beschaffenheit der Hautoberfläche, je nachdem sie zur Aufnahme der strahlenden Wärme mehr oder weniger geeignet ist, eine wesentliche Rolle.

Besonders deutlich geht dies aus den Erfahrungen von Krehl und Soetbeer¹⁾ am *Uromastix* hervor. Wie viele andere Kaltblüter, kann auch dieses Tier die Farbe seiner Haut verändern. Wird es dem Sonnenlicht ausgesetzt, so färbt sich die vorher grauweiße Haut dunkel, fast schwarz, was natürlich für die Absorption der Wärmestrahlung sehr günstig ist. Bei direktem Sonnenlicht erreicht das Tier in kurzer Zeit eine Körpertemperatur von 41° C. Nun tritt aber wieder ein Farbenwechsel hervor: das fast schwarze Tier wird hell, fast weiß und vermindert dadurch in hohem Grade das Absorptionsvermögen der Haut für die strahlende Wärme. In den Schatten gebracht, wird es bald wieder dunkel.

Bei der Wärmeabgabe ist bei den Kaltblütern, wie schon bemerkt, die Wasserverdunstung vor allem wichtig. Indes finden sich zwischen verschiedenen Spezies sehr bemerkenswerte Verschiedenheiten in dieser Beziehung. Der soeben erwähnte *Uromastix*, der ja in der Wüste lebt, gibt selbst bei sehr erhöhter Temperatur nur sehr wenig Wasser von sich; Krehl und Soetbeer konnten bei ihm überhaupt keine Wasserabgabe konstatieren. Langlois²⁾ fand indessen, daß derselbe, wie auch *Varanus*, bei direkter Bestrahlung doch etwas Wasser abgibt, obgleich die Menge desselben nicht mehr als etwa 4 g pro Kilogramm Körpergewicht und Stunde beträgt. Außerdem tritt hier eine Polypnoe hervor, die mit der beim Hunde beobachteten ganz übereinstimmt, sich aber nur dann zeigt, wenn das Tier direkt bestrahlt wird und wenn es sich in gutem Nahrungszustande befindet. Ein *Uromastix*, dessen Temperatur auf 42° C angestiegen ist, zeigt keine Polypnoe, wenn es vor direkter Bestrahlung geschützt wird.

Hieraus folgt, daß sich der *Uromastix*, wenn einmal seine Temperatur eine bedeutendere Höhe erreicht hat, nur langsam abkühlen kann, und dementsprechend bleibt er auch, wenn er in eine schattige und kühle Umgebung gelangt, stundenlang wesentlich wärmer als diese.

Bei anderen Kaltblütern, wie dem Frosch, dem Kaiman, dem Alligator, dem Krokodil und der Riesenschlange *Python*, findet dagegen eine sehr starke Wasserverdampfung statt (bei *Rana mugiens* 97 bis 104 g pro Kilogramm Körpergewicht und Stunde bei derselben Außentemperatur, bei welcher *Uromastix* nur etwa 4 g Wasserdampf abgab; Langlois), und zwar würde diese zum Teil eine physiologische Erscheinung darstellen, indem nach Krehl und Soetbeer ein lebendiges Krokodil bei denselben äußeren Verhältnissen mehr Wasser abgibt als ein totes.

Hier tritt noch folgende merkwürdige Erscheinung auf. Bei 25° C und 70 Proz. Feuchtigkeit gibt ein Frosch rund 1,5 Kal. ab; bei mit Wasser gesättigter Luft von derselben Temperatur ist die Wärmeabgabe nur 0,5 Kal. Ganz entsprechende Zahlen zeigen auch Versuche am Krokodil. Diese Tiere geben also durch Verdunstung bis etwa zwei- bis dreimal mehr Wärme ab, als sie produzieren, und müssen zu diesem Zwecke selbstverständlich Wärme von der Umgebung aufnehmen (Krehl und Soetbeer).

Wir können also mit den soeben erwähnten Autoren sagen, daß die zuletzt besprochenen kaltblütigen Wirbeltiere, sofern sie ein lebenswertes Dasein führen wollen, die Aufnahme von Wärme von außen in allerhöchstem Maße brauchen. Dadurch erhöhen sie ihre Temperatur, die Zersetzungen in ihren Geweben wachsen an und erreichen eine gewisse Größe. Durch Wasserverdunstung bleibt indes die

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 77, 611, 1899. — ²⁾ Journ. de la physiol. 1902, p. 249; Archives des sciences biologiques, 11 Supplement, 1904, p. 172.

Körpertemperatur stets unter der der Umgebung, und daher kann sich das Tier, trotz fortwährender Aufnahme von Wärme, vor Überwärmung vollständig schützen und doch die für seine maximale Leistungsfähigkeit höchste Temperatur erhalten, die es vertragen kann.

Endlich geben die Untersuchungen über das Verhalten der Kaltblüter bei verschiedener Außentemperatur gewisse Anhaltspunkte dafür, daß das Temperatur-optimum, bei welchem die chemischen Zersetzungen für die Unterhaltung des Lebens am günstigsten sind, für verschiedene Spezies verschieden hoch liegen, sowie daß bei gleicher Temperatur die Zersetzungen bei den einzelnen Tierarten nicht gleich, sondern untereinander verschieden sind. So ist eine Temperatur von 37° C für die in gemäßigter Zone lebende *Lacerta* und *Rana mugiens* zu hoch, sie verdoppeln ihre Wärmeproduktion und gehen zugrunde, während die Tropicentiere, wie der Alligator und *Uromastix*, diese Temperatur gut vertragen, und dabei pro Kilogramm Körpergewicht einen Stoffwechsel von weniger als der Hälfte der soeben genannten Tiere haben (Krehl und Soetbeer).

Aus dieser kurzen Übersicht folgt also, daß die kaltblütigen Wirbeltiere ebensowenig als die warmblütigen in bezug auf die spezielle Anordnung ihres Wärmehaushalts vollständig übereinstimmen. Bei beiden Gruppen finden sich bei verschiedenen Arten mehr oder weniger bedeutende Verschiedenheiten, die mit den allgemeinen Lebensbedingungen aufs engste zusammenhängen.
