

Untersuchung des Rückenmarks des mit Phosphor vergifteten Kaninchens, welches ich behufs Controle der Kreyssig'schen Untersuchungen in Alkohol gehärtet hatte, ein dem Kreyssig'schen Befunde entsprechendes vollständig negatives Resultat gegeben hat.

Jetzt sei mir noch erlaubt dem Herrn Geheimrath Arnold sowie dem Herrn Professor Schultze, welche mich vielfach bei dieser Arbeit mit ihrem freundlichen Rath unterstützt haben, an dieser Stelle meinen Dank auszusprechen.

II.

Untersuchungen über die Wärmestrahlung des menschlichen Körpers.

(Aus der medicinischen Klinik in Zürich.)

Von A. Masje aus Mohilew in Russland.

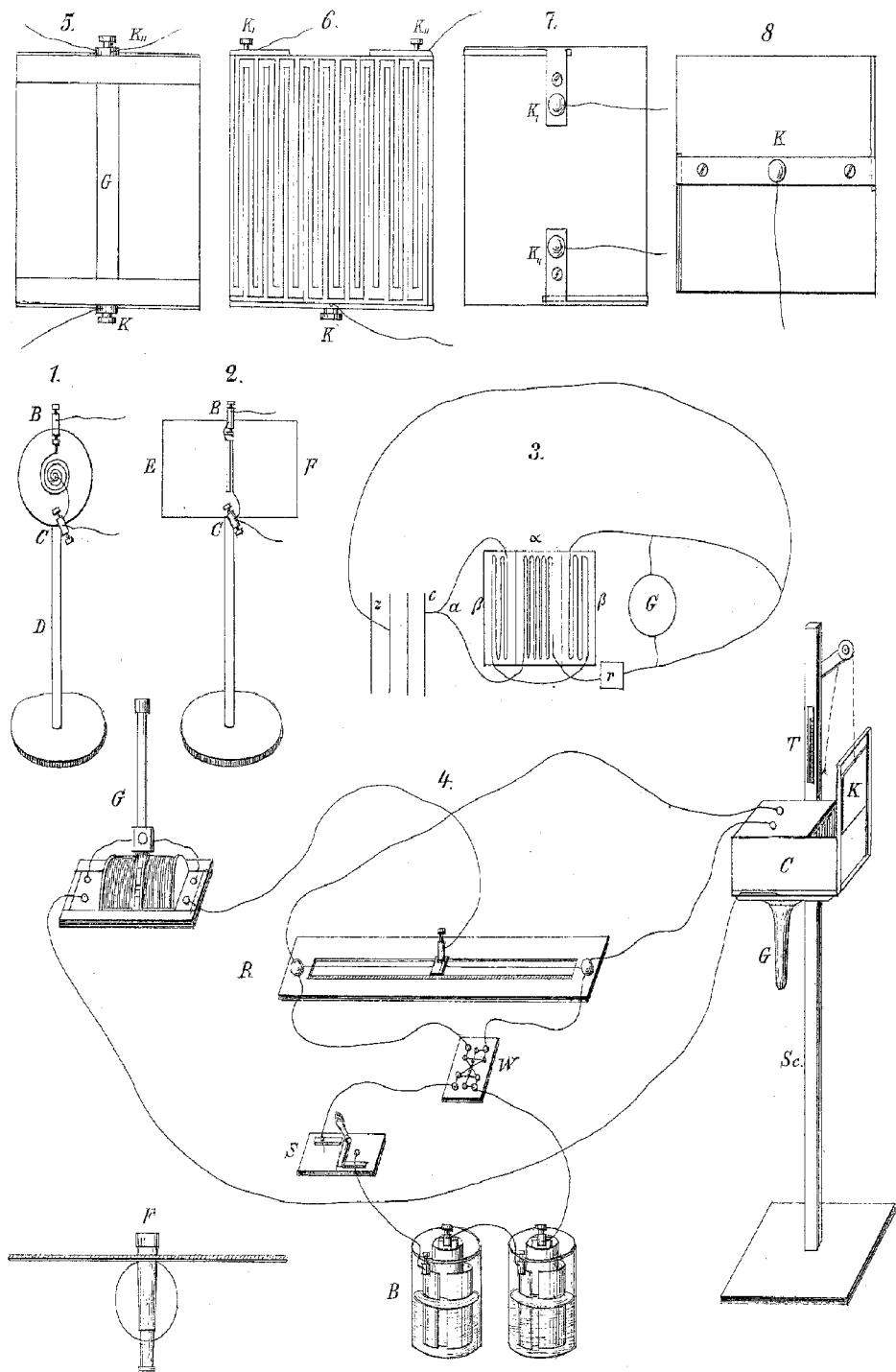
(Hierzu Taf. I.)

Vorbemerkungen.

In der letzten 58. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Strassburg hielt mein hochverehrter Lehrer, Herr Prof. Dr. H. Eichhorst¹⁾ einen Vortrag: „Ueber die Wärmestrahlung der menschlichen Haut unter gesunden und kranken Verhältnissen“, worin er einige Ergebnisse der von ihm und dem Verfasser nach einer neuen Methode ausgeführten Untersuchungen über diesen Gegenstand mittheilte, und eine ausführliche Publication derselben ankündigte.

Die vorliegenden Blätter enthalten nun einen eingehenden Bericht über die Methode, und die Resultate unserer Untersuchungen über das Strahlungsvermögen der Oberfläche des gesunden menschlichen Körpers und deren Veränderungen unter verschiedenen Verhältnissen, sowie einen Versuch des Verfassers, die verschiedenen, zum Theil ganz außfallenden Erscheinungen der Wärmestrahlung des

¹⁾ Tageblatt der Naturforscherversammlung zu Strassburg 1885. S. 64. — Wiener med. Wochenschr. No. 41.



menschlichen Körpers theoretisch zu erklären. Unsere Beobachtungen über die Verhältnisse der Wärmestrahlung der Körperoberfläche bei kranken Zuständen, besonders im Fieber und nach dem Gebrauch von Antipyretica, werde ich in einer nächsten Publication ebenfalls ausführlich mittheilen. Es werden jedoch hier die wichtigsten Resultate auch jenes zweiten Theiles unserer Arbeit (pathologische Fälle) berücksichtigt, insofern deren Kenntniß zum richtigen Verständniss und zur Begründung der Theorie der Wärmestrahlung der menschlichen Haut unter normalen und anormalen Verhältnissen, als nothwendig erscheint.

Für das äusserst freundliche Entgegenkommen und die thatkräftige Unterstützung bei der Ausführung der Arbeit spreche ich hiermit Herrn Prof. Dr. Eichhorst meinen besten Dank aus. — Ich benutze die Gelegenheit, auch Herrn Dr. Kleiner, Prof. der Physik an der hiesigen Hochschule, für gütige Ueberlassung physikalischer Apparate während der ganzen Zeit unserer Untersuchungen meinen besten Dank abzustatten.

I. Ueber Wärmeabgabe eines Körpers im Allgemeinen und Wärmestrahlung im Besondern.

Bei der freien Abkühlung eines Körpers wirken genau genommen drei Factoren ein: die Strahlung, Leitung und Strömung (Convexion). Jeder Körper sendet — nach der Theorie des beweglichen Gleichgewichts der Wärme von Prevost — Wärmestrahlen, gemäss seinem Strahlungsvermögen und seiner Temperatur, nach allen Seiten, ganz unabhängig von den Körpern, die ihn umgeben¹⁾; zugleich aber empfängt er von den letzteren Wärmestrahlen, deren Intensität von ihrem Strahlungsvermögen und ihrer Temperatur abhängt. Sendet ein Körper mehr strahlende Wärme aus, als er zurückempfängt und aufnimmt, so sinkt seine Temperatur, erhält er mehr, so steigt sie. Sind beide Mengen gleich, so tritt in Folge des beständigen Austausches keine Temperaturänderung ein, der Körper befindet sich dann im Zustande des beweglichen Gleichgewichtes. Ausser diesem von der Umgebung unabhängigen Uebergang der Wärme auf Entfernung hin, findet zwischen sich berühren-

¹⁾ Prevost, Journal de physique etc. par Delamethrie 1811.

den Körpern von abweichenden Temperaturen eine Wärmemittelung durch Leitung statt. Die Luft leitet die Wärme wie ein fester Körper, auch wenn sie sich in vollständiger Ruhe befindet. Allein die den wärmeren Körper umgebende Luft dehnt sich, wird durch den Auftrieb gehoben und durch kältere ersetzt; dieser Prozess wiederholt sich continuirlich und die so entstehende Strömung führt fortwährend Wärme zur kälteren Umgebung. Das Leitungsvermögen der Luft ist von der Dichte derselben unabhängig, dagegen nimmt die Grösse der Fortführung der Wärme durch Strömung mit abnehmender Dichte der Luft ab. Diese drei Arten der Wärmefortpflanzung bewirken die gesammte Wärmeabgabe eines wärmeren Körpers an seine kühlere Umgebung bis zur Ausgleichung der Temperatur.

Es ist nun einleuchtend, dass bei genauer Bestimmung der Wärmeabgabe eines Körpers sämmtliche drei Factoren berücksichtigt werden müssen. Die grosse Schwierigkeit jedoch, diese Factoren einzeln experimentell zu bestimmen, war die Ursache, dass trotz der Bemühungen so vieler ausgezeichneter Physiker die Aufstellung eines allgemein gültigen Gesetzes des Erkaltens resp. der Wärmestrahlung eines Körpers nicht gelingen wollte, denn dass das sogenannte Newton'sche Erkaltungsgesetz, wonach die Wärmeabgabe eines Körpers proportional sei der Differenz der Temperatur derselben und der Umgebung, nur so lange annähernd richtig ist, als die Temperaturdifferenz kleine Werthe nicht übersteigt, hat schon Delaroche¹⁾ durch Versuche nachgewiesen. Ausserdem setzt das erwähnte Gesetz voraus, dass in jedem Augenblicke die Temperatur des untersuchten Körpers an allen Stellen dieselbe ist und dass die an der Oberfläche stattfindende Erkaltung sofort durch Wärmezufuss aus dem Innern wieder ersetzt wird — eine Voraussetzung, die nur in den seltensten Fällen zutreffen kann.

Dulong und Petit suchten die Strahlung und Leitung der Wärme von der Strömung zu trennen. Aber auch die von ihnen aufgestellte Formel:

$$w = A(a^{t'} - a^t) = Aa^t(a^{(t'-t)} - 1),$$

worin t' die Temperatur des Körpers, t diejenige der Umgebung,

¹⁾ De la Roche, Journal de Physique. T. 80.

a eine absolute ($= 1,0077$) und A eine mit der Natur des Körpers sich ändernde Constante bedeuten, genügte nicht den von Ericson, Soret, Draper und Tyndall ausgeführten Versuchen bei höheren Temperaturen. In neuester Zeit hat Rosetti¹⁾ die Formel

$$V = aT^2(T - b) - b(T - \tau)$$

für den Effect der Wärmestrahlung eines Körpers aufgestellt, die jedoch noch der Bestätigung bedarf.

Dagegen scheint folgende, vor Kurzem von Stefan²⁾ mit Berücksichtigung der oben gedachten Versuche und der Arbeiten von Kundt und Warburg und von Winkelmann über die Wärmeleitung der Gase aufgestellte Formel über die Beziehungen der Wärmestrahlung und der Temperatur, in der That der Wirklichkeit zu entsprechen. Bezeichnet S_1 die Wärmemenge, welche ein Körper von der absoluten Temperatur T_1 , S_2 diejenige Wärmemenge, welche derselbe Körper bei der Temperatur T_2 ausstrahlt und T_0 die absolute Temperatur der bestrahlten Fläche, so ist:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{AT_1^4 - BT_0^4}{AT_2^4 - BT_0^4},$$

d. h. die von einem Körper ausgestrahlte Wärmemenge ist proportional der vierten Potenz seiner absoluten Temperatur. A und B sind Constante, die abhängen, erstere von der Natur des strahlenden, letztere von der Natur des bestrahlten Körpers. In der That haben die von Schnaebeli³⁾ und Schleiermacher⁴⁾ ausgeführten Versuche dieses Gesetz zum Theil bestätigt. Ausserdem hat Boltzmann⁵⁾ gestützt auf die von Bartoli entdeckte Beziehung der strahlenden Wärme zum zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und auf die von Maxwell gegründete elektromagnetische Lichttheorie die von Stefan empirisch aufgestellte Formel unmittelbar abgeleitet.

¹⁾ Rosetti, Beiblätter zu Wied. Ann. Bd. II. S. 695. 1878.

²⁾ Stefan, Sitzungsberichte der Wiener Akad. d. Wissensch. Bd. 79. II. Abth. 1879. S. 391.

³⁾ Schnaebeli, Vierteljahrssbericht d. naturforsch. Ges. Zürich, 1884. S. 56. — Carls Repertorium f. phys. Techn. Bd. 20. S. 435.

⁴⁾ Schleiermacher, Wiedem. Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 26. S. 287. 1885.

⁵⁾ Boltzmann, Wiedem. Ann. Bd. 22. S. 291. 1884.

So werthvoll diese Formeln für den mit leblosen Körpern experimentirenden Physiker sein mögen, so konnten wir jedoch bei der Bestimmung der Wärmestrahlung des menschlichen Körpers keinen Gebrauch davon machen, da diese Formeln eine constante Beschaffenheit des Innern und der Oberfläche des Körpers voraussetzen, was beim lebenden Organismus keineswegs der Fall ist. Unsere Untersuchungen haben uns auch gleich belehrt, dass der Vorgang der Wärmestrahlung des menschlichen Körpers nicht nur keinem der gedachten Gesetze auch nur annähernd folgt, sondern dass wir es hier mit einem Prozesse von scheinbar ganz entgegengesetztem Charakter zu thun haben. Während alle obigen Formeln wenigstens das Eine gemeinsam haben, dass die Wärmestrahlung eines Körpers mit dessen Temperaturabnahme unter sonst gleichen Bedingungen continuirlich abnimmt, — steigt die Wärmestrahlung des der Abkühlung auf irgend eine Weise ausgesetzten menschlichen Körpers in hohem Maasse bei gleichzeitiger bedeutender Temperaturabnahme desselben. Diese merkwürdige Erscheinung tritt besonders bei fiebernden Personen unter dem Gebrauch von Antifebrilia hervor, wie es schon Herr Prof. Eichhorst in seinem gedachten Vortrage betont hat.

Diese Thatsache der Steigerung der Wärmestrahlung des menschlichen Körpers zeigt aber zugleich, von welcher Wichtigkeit solche Untersuchungen sind, auch für die richtige Beurtheilung der directen calorimetrischen Messungen der Wärmeabgabe des Menschen. Seit den ersten calorimetrischen Messungen der gesammten Wärmeabgabe beim Menschen von Scharling¹⁾ bis auf die neuesten von d'Arsonval²⁾ wurde immer dieselbe Methode befolgt, dass ein nackter Mensch in einem Behälter, welcher in einem auf möglichst constanter Temperatur gehaltenen Zimmer sich befindet, eine längere Zeit verweilt und dass aus der entstandenen Temperaturdifferenz zwischen Zimmer und Behälter auf die Wärmeproduction des Menschen geschlossen wird. Da aber, wie wir sehen werden, die Entblössung des menschlichen Körpers bei gewöhnlicher Zimmertemperatur eine bedeutende Steigerung der Wärmestrahlung verursacht, so kann die

¹⁾ Scharling, Journal f. pract. Chemie. Bd. 48. S. 435. 1849.

²⁾ M. A. d'Arsonval, Comptes rendus. 2. avril 1885. T. C. No. 22. p. 1400.

Temperaturerhöhung im Behälter durchaus nicht als das Maass der normalen Wärmeabgabe des menschlichen Körpers gelten, sondern muss vielmehr als das Product einer künstlichen Wärmentziehung angesehen werden. Doch davon später.

Selbstverständlich kann man umgekehrt aus der Menge der strahlenden Wärme keineswegs auf die Temperatur der Haut auch nur annähernd einen richtigen Schluss ziehen, geschweige denn erstere als Maass für letztere brauchen, wie es Christiani und Kronecker¹⁾ vorgeschlagen haben. Um Wiederholungen zu vermeiden, will ich gleich hier bemerken, dass abgesehen von der Unzulässigkeit der von den beiden genannten Forschern angegebenen Methode (Thermosäule) für Temperaturmessungen²⁾ des menschlichen Körpers, ihre Beobachtungen sich nur auf den Handteller, d. i. die einzige Hautstelle, welche bei angekleideten Personen am wenigsten Schwankungen zeigt, sich beschränkten.

Was nun die Methode betrifft, deren wir uns bei den nachfolgenden Untersuchungen bedienten, so musste natürlich, da wir die Wärmestrahlung wirklich messen wollten, von der Anwendung der sonst für andere Beobachtungen über Wärmestrahlung vielfach gebrauchten thermo-elektrischen Säule (Melloni'sche) von vornehmestem Abstand genommen werden. Ausser dem Uebelstande, dass die thermo-elektrische Kraft zwischen den Metallen bei grösseren Temperaturdifferenzen der Löthstellen nicht proportional ist, und dass keine mathematische Relation zwischen der ausgestrahlten Wärmemenge und deren Effect auf den Melloni'schen Apparat besteht, so bedarf es einer ziemlich langen Zeit, bis das Maximum der Temperaturerhöhung der bestrahlten Löthfläche und somit auch die richtige Einstellung der Galvanometernadel erreicht wird. So z. B. brauchte Kusnezow³⁾, der an einer Melloni'schen Säule, verbunden mit einer Wiedemann'schen Spiegelboussole, die Wärmeabgabe auf symmetrischen Hautstellen beobachtete, volle 5 Minuten bis zur Einstellung der Nadel. Aber auch Christiani und Kronecker, welche sich einer

¹⁾ Christiani und Kronecker, Archiv f. Physiologie. 1878. S. 334.

²⁾ Vergl. Rosenthal, Die Physiologie der thierischen Wärme, im Handbuch der Physiologie von Hermann Bd. IV. Th. 2. S. 305.

³⁾ Kusnezow, Medizinski Wjestnik. No. 1—11. 1883. — Virchow und Hirsch, Jahresbericht 1883. II. S. 495.

Boussole mit einem sog. aperiodischen Magneten bedienten, brauchten nicht weniger als 61 Secunden bis sich die Nadel im Gleichgewichtszustand befand. Wir werden aber später sehen, dass während einer Minute die Wärmestrahlung an einer und derselben Hautstelle um mehr als $\frac{1}{2}$ der ganzen ausgestrahlten Wärmemenge sich ändern kann. Zur Vergleichung zweier verschiedener Hautstellen auf ihr Strahlungsvermögen würde man also, da die Abkühlung der Thermosäule genau so viel Zeit braucht als die Erwärmung, mit Thermosäule und gewöhnlicher Boussole mindestens 15 Minuten und mit aperiodischem Magneten 3 Minuten 3 Secunden brauchen, wobei natürlich von einem wirklichen Vergleiche und noch weniger von der Messung der Wärmestrahlen nicht mehr die Rede sein kann. Uebrigens ist das Princip der Aperiodicität, so vortheilhaft dasselbe für gewisse physikalische Untersuchungen (Inductionsströme) auch sein mag, für längere thermo-elektrische Beobachtungen durchaus nicht zweckmässig, da man ein beständiges Verschieben des Nullpunktes der Nadel zu gewärtigen hat.

Dass das hier von der Thermosäule Gesagte für Messungen der Wärmestrahlung des menschlichen Körpers auch von der neuesten Construction derselben, von dem sog. Arnheim'schen Apparat (Neusilber-Eisen-Säule) gilt, ergiebt sich von selbst; die von Edelmann¹⁾ getroffene bequeme Einrichtung durch Verbindung des Arnheim'schen Apparates mit einem transportabeln Suspensionsgalvanometer ändert natürlich ebenfalls an dem Wesen der Sache nichts.

Der oben erwähnte Uebelstand der Thermosäule, d. i. die Verzögerung der Beobachtungen in Folge des Eindringens der Wärme bis zu einer gewissen Tiefe in die Säule durch Leitung veranlasste seiner Zeit Melloni selbst zu dem Vorschlage, dass man nicht warten solle, bis die Nadel zur Ruhe komme, was erst bei maximaler Temperaturerhöhung der bestrahlten Löthfläche geschieht, sondern nur den ersten Ausschlag, welchen die Nadel macht, im Beginne der Beobachtung jedesmal zu berücksichtigen²⁾. Melloni meinte nehmlich, dass man aus der ersten Ablenkung auf die dauernde Ablenkung schliessen könne, indem der

¹⁾ Tageblatt der Naturforscherversammlung zu Strassburg. 1885. S. 65.

²⁾ Wüllner, Lehrb. d. Experimentalphys. Bd. III. S. 144. 2. Aufl.

durch den ersten Stoss bei demselben Instrument durchlaufene Bogen für dieselbe dauernde Ablenkung immer derselbe ist. Indessen lehrt die Erfahrung, dass nur die definitive Abweichung der Nadel, welche sich erst später einstellt, und keineswegs die impulsive Ablenkung, welche im ersten Moment geschieht, als Maass — wenn überhaupt — zu gebrauchen ist¹⁾.

Die Unbrauchbarkeit der Thermosäule als Messinstrument für feinere Untersuchungen über Wärmestrahlung veranlasste auch in neuester Zeit mehrere Physiker, welche sich mit diesem Gegenstande beschäftigten, sich nach anderen exakteren „Radiometern“ umzuschauen. In der bekannten Erscheinung, dass wenn ein metallischer Leiter, durch welchen ein elektrischer Strom geht, eine Temperaturerhöhung erfährt, sich der Widerstand des letzteren in einem bestimmten Sinne ändert, wurde das Princip für die Construction solcher Instrumente richtig erkannt. Wie bei vielen anderen Erfindungen, war auch hier das Princip, sowie dessen Anwendung für diesen Zweck schon vor vielen Jahrzehnten bekannt, wegen technischer Schwierigkeiten der Ausführung aber verworfen und — vergessen. Da jedoch meines Wissens nirgends in der Literatur eine zusammenhängende Darstellung dieser Frage existirt, so halte ich es für zweckmässig, bevor ich zur Beschreibung unseres, ebenfalls nach den gedachten Principien construirten Apparates übergehe, einen möglichst gedrängten Abriss der auf diesem auch für physiologisch-medizinische Untersuchungen interessanten Gebiete gemachten Entdeckungen und Erfahrungen der Reihe nach vorauszuschicken.

II. Geschichtliche Entwicklung der Widerstands-radiometer.

Am 5. Juli 1821 referirte Humphry Davy²⁾ in einer Sitzung der k. Akademie zu London „Ueber Leitungsvermögen elektrischer Körper für Kräfte (powers) und Temperatur“, wobei er unter anderem folgende Thatsache mittheilte, die man — wie er meinte — so lange man sie nicht selbst gesehen hat, für ganz unmöglich halten sollte. Er schloss nehmlich die Pole einer kräftigen Volta'schen Säule durch einen etwa 5 Zoll langen,

¹⁾ Eisenlohr, Lehrbuch der Physik. 1870. S. 421.

²⁾ Gilbert's Annal. d. Physik. 1822. Bd. 71. S. 241.

sehr dünnen Platindraht, so dass derselbe eben anfing durch den Strom roth zu glühen; als er hierauf eine Stelle des Drahtes während dieses Zustandes durch eine daruntergehaltene Lampe zum Weissglühen brachte, hörte der übrige Theil des Drahtes gänzlich zu glühen auf. Durch die weissglühende Stelle nehmlich war der Strom so sehr geschwächt worden, dass er nicht mehr im Stande war, den Draht rothglühend zu erhalten. Erkaltete dagegen Davy eine Stelle eines durch den Strom rothglühenden Drahtes mittelst Eis oder eines kalten Luftstromes, so fing der übrige Draht augenblicklich an stärker zu glühen; weil die erkaltete Stelle dem Strome einen geringeren Widerstand leistete als früher, der Strom also kräftiger wirken konnte. —

Auf diesen und einige ihm ähnliche Versuche sich stützend stellte Davy zuerst den Satz auf: Das Leitungsvermögen der Metalle verändert sich mit der Temperatur und zwar nimmt dasselbe ab, wenn diese wächst, in irgend einem Verhältnisse zu derselben. — Freilich konnte zur damaligen Zeit von genauen Bestimmungen dieses Verhältnisses zwischen dem Wachsthum der Temperatur und der Abnahme des Leitungsvermögens gar keine Rede sein; sind ja die wichtigen Entdeckungen von Oersted und Faraday von der merkwürdigen Wechselwirkung zwischen einem Magnetpole und einem Stromelemente, also dem Hauptprincip aller unserer Bussolen und Galvanometer, erst zur nehmlichen Zeit bekannt geworden. Ueberhaupt beginnt die Epoche der exacten Messungen der Widerstände in elektrischen Leitern erst, seit Wheatstone¹⁾ seine galvanische „Brücke“ erfand, und Kirchhoff²⁾ seine allgemeinen Sätze über Stromverzweigungen aufstellte. Indessen hat schon im Jahre 1833 Lenz³⁾ Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit von Silber, Kupfer, Messing, Eisen und Platin bei verschiedenen Temperaturerhöhungen, nach einer etwas modifirten Ohm'schen⁴⁾ Methode angestellt und ist zu dem Schlusse gelangt, dass die Abnahme der Leistungsfähigkeit nicht einfach der Temperaturzunahme proportional ist, sondern dass sie we-

¹⁾ Phil. Trans. 1843. II. 309. — Pog. Ann. Bd. 62. S. 535.

²⁾ Poggendorff's Annalen der Physik. Bd. 64. S. 497.

³⁾ Mémoires de l'Academie des Sciences. T. II. p. 631. 1833.

⁴⁾ Schweiger's Journal. Bd. 64.

niger rasch abnimmt, als die Temperatur wächst. Lenz drückte das Resultat seiner Versuche in folgender empirischer Formel aus:

$$l = l_0(1 - at + bt^2),$$

wobei l die Leitfähigkeit eines Metalls bei der Temperatur t und l_0 diejenigen desselben Metalls bei 0° bezeichnet, a und b sind Constante, welche für jedes Metall einen verschiedenen Werth haben.

Spätere Versuche von E. Becquerel¹⁾ und Arndtsen²⁾ ergaben jedoch, dass sich die Leitfähigkeit der untersuchten Metalle durch den einfachen Ausdruck:

$$l = l_0(1 + at)$$

wiedergeben lässt, dass also die Abnahme der Leitfähigkeit der Temperaturzunahme proportional ist. Auf die Versuche von Pouillet, Riess, Müller, Matthiesen, Benoit u. A kann ich hier nicht eingehen; nur will ich noch bemerken, dass Clausius³⁾ darauf aufmerksam gemacht hat, dass für die reinen Metalle der Coefficient des Leitungswiderstandes dem Ausdehnungscoefficienten der permanenten Gase sich sehr nähert; die kleinen Abweichungen röhren von der nicht zu vermeidenden Unreinheit der Metalle her.

Das Gesetz

$$l = l_0(1 + at)$$

ist somit ein Naturgesetz, das von dem Ausgangspunkte der Temperaturen unabhängig auf absolute⁴⁾ Temperaturen zurückgeführt lautet würde

$$w = cT,$$

wobei w = Widerstand, T = absoluter Temperatur und c = einer absoluten Constanten. —

Der Widerstand der festen elektrischen Leiter ist proportional den absoluten Temperaturen⁵⁾.

¹⁾ Annales de Chimie et de Physique (3) T. XVII. p. 266.

²⁾ Poggendorff's Annal. Bd. 104. 1858. S. 1.

³⁾ Poggendorff's Annal. Bd. 104. S. 650.

⁴⁾ d. h. der Ausgangspunkt der Temperatur wird nicht vom Nullpunkt des gewöhnlichen Thermometers, der nur für Wasser eine bestimmte Bedeutung hat, sondern vom absoluten Nullpunkte, vom Verhalten der Gase hergeleitet, der bei $-273, 393^\circ$ C. liegt, an gerechnet; also $T = 273,4 + t$.

⁵⁾ Vgl. Mousson, Die Physik. 1883. Bd. III. S. 377.

Der erste, der auf den Gedanken kam, den Effect, welchen die Temperaturänderungen eines metallischen Stromleiters durch Veränderung seines Widerstandes hervorruft als Maass für die Wärme selbst zu benutzen, war A. F. Svanberg¹⁾. Er bemerkte nehmlich, als er zur Messung des absoluten Widerstandes verschiedener Drähte eine etwas modifizirte Wheatston'sche Brücke anwandte, dass, so bald er mit der Hand an gewisse Stellen des Apparates kam, die Magnetnadel des Galvanometers sofort einen Ausschlag gab, woraus er schloss, dass sein Apparat sehr empfindlich für die Temperatur sei. Dies veranlasste ihn zur Construction folgenden Apparates, welchen er galvanisches Differentialthermometer nannte.

Eine flache Spirale A (Fig. 1 und 2) aus einem mit Seide umspönenen Kupferdraht von 0,2 mm Durchmesser, ist an zwei kupfernern Verbindungsschrauben B und C aufgehängt, die in einem hohlen Holzylinder EF, welcher von einem Fusse D getragen wird, befestigt sind. Die Böden des Holzylinders können wie gewöhnliche Dosendeckel aufgesetzt und abgenommen werden. Diese Vorrichtung wurde in eine Zweigleitung eines von einem Grove'schen Paare ausgehenden Stromes neben einem Rheochord und einem Galvanometer eingeschaltet. Wenn nun die Galvanometernadel mittelst des Rheochords auf 0° eingestellt ist, so braucht man nur einen Deckel abzuziehen, und die Hand in einem Fuss Abstand davor zu halten, um die Nadel zur Abweichung zu bringen. Obwohl Svanberg selbst den grossen Uebelstand seines Apparates in Folge des seidenen Ueberzuges der Spirale, wodurch natürlich ein grosser Theil der strahlenden Wärme von der Seide absorbiert wurde, erkannte, so konnte er doch nicht die praktische Schwierigkeit überwinden, in einem kleinen Raum einen langen Draht, ohne gegenseitige Berührung seiner Theile anzubringen, sobald er nicht mit Seide umspönen wäre. Auch die Wahl des Drahtes aus Kupfer war eine schlechte, da Kupfer ein sehr grosses Leistungsvermögen resp. einen kleinen Widerstand hat und daher weniger empfind-

¹⁾ Poggendorff's Annalen. Bd. 84. S. 411. 1831. Merkwürdiger Weise wird die Svanberg'sche Erfindung von seinen weiter angeführten Nachfolgern mit keinem Worte erwähnt; sie scheint in der That im Laufe der Zeit ganz vergessen worden zu sein.

lich für den Temperatureinfluss ist als z. B. Eisen, dessen Leitungsvermögen nur $\frac{1}{6}$ von demjenigen des Kupfers beträgt. In der That erfolgte der Ausschlag der Magnetenadel nicht einmal so schnell wie beim Nobili'schen Thermomultiplicator; nichtsdestoweniger hatte doch der Svanberg'sche Apparat den Vortheil gegenüber der empfindlichsten Thermosäule, dass er — wie der Erfinder mit Recht bemerkte — nicht nur eine Temperaturerhöhung angibt, sondern auch messen lässt.

Im Jahre 1870 veröffentlichte William Siemens¹⁾ die Construction eines von ihm erfundenen Pyrometers zur Messung sehr hoher Temperaturen, worin dasselbe Princip vom Einflusse der Temperatur auf einen metallenen elektrischen Leiter zur Anwendung kommt, nur geschieht hier freilich die Angabe der durch die Temperatur hervorgerufenen Widerstandsveränderung im Drahte nicht mittelst eines Galvanometers, sondern durch zwei mit angesäuertem Wasser gefüllten Glasröhren, welche gleichzeitig der Einwirkung des Stromes ausgesetzt werden. Der von 6 Elementen Leclanché kommende Strom theilt sich in zwei Zweige, von welchen der eine durch einen constanten Neusilberwiderstand direct zu einer Zersetzungsröhre geht, während der andere in die zweite Zersetzungsröhre gehende Stromzweig noch mit einem der Ofenhitze ausgesetzten, dünnen Platindraht in Verbindung steht. Wird nun der Stromkreis geschlossen, so vergrössert sich der Widerstand in dem erhitzten Platindrahte und die Zersetzung in der diesem Stromzweige zugehörenden Glasröhre nimmt in entsprechendem Verhältnisse zu, wie der Widerstand dieses Zweiges im Vergleich zum Widerstände des andern Zweiges zugenommen hat. Während das von Pouillet construirte Thermoelektrische Pyrometer sich nicht bewährt hat, weil, wie schon oben erwähnt, die thermoelektrischen Ströme keineswegs der Temperatur proportional sind, so fand das Siemens'sche „Widerstandspyrometer“ allgemeine Anerkennung, und wurde vielfach in der Technik verwendet. Ein weiterer Beweis für die Richtigkeit des gedachten Princips. — Uebrigens wandte W. Siemens dasselbe Princip in anderer

¹⁾ Engineering, 1870 September. p. 193. — Dingler's polytechnisches Journal. Bd. 198. S. 258.

Form schon bei dem sogenannten Compensationsthermometer für Tiefseetemperaturen an.

Im December 1880, also ca. 30 Jahre später, nach dem das oben beschriebene galvanische Differentialthermometer von Svanberg bekannt wurde, überreichte der Amerikaner S. P. Langley¹⁾ der Akademie eine Beschreibung eines von ihm construirten Instrumentes für genaue Messungen der Wärmestrahlung, welches er zuerst „actimische Waage“, dann „Bolometer“ nannte, und welches mit Recht grosses Interesse erregte. Mit den Untersuchungen der Intensitätsvertheilung im Sonnenspectrum beschäftigt, gelangte Langley nach Jahren langen Bemühungen zu der Ueberzeugung, dass mit der Thermosäule bei feineren Beobachtungen der Strahlungsverhältnisse nichts auszurichten sei, und so sah er sich genötigt ein für seine Zwecke brauchbares Instrument zu construiren. —

Fig. 3 veranschaulicht das Princip des Bolometers. Von der Batterie ZC geht der Strom nach A, wo er sich in 2 gleiche Theile theilt, in jeder dieser Abzweigungen ist ein resp. zwei, mit sehr feinem Platin-, Stahl- oder Palladiumbändchen übersponnener Rahmen eingeschaltet. Durch diese Drahtschlingen geht der Strom zum Galvanometer G und von da sich wieder vereinigend zurück zur Batterie. Vor dem Galvanometer ist noch zur Regulirung ein Reostat R eingeschaltet. Die eine Hälfte der feinen Drahtschlingen $\beta\beta$ wird durch Deckel geschützt, während die andere Hälfte α bestrahlt wird. War nun der Strom in beiden Zweigleitungen gleich und zeigte das Galvanometer auf 0, so ändert letzterer sofort die Lage, sobald die Partie α eine, noch so geringe Temperaturerhöhung erfährt. Wie leicht ersichtlich, ist das Princip des Bolometers identisch mit demjenigen des Svanberg'schen Apparates, nur ungemein verfeinert. Zwar hat Langley ein volles Jahr an der Vervollkommenung seines Instrumentes gearbeitet, dafür konnte er aber mit demselben nicht nur die Strahlung der Sonne, sondern sogar auch diejenige des Mondes beobachten, denn man kann mit diesem Apparat Temperaturdifferenzen von 0,00001 C° wahrnehmen.

¹⁾ Langley, Chem. News 43. p. 6. 1881. Fillimann Journal (3) 20. p. 187. Comptes rendus T. 92. p. 701. Annales de chimie et de physique T. 24 (5) p. 275. Beiblatt 5. 1881. S. 191.

Ungefähr um dieselbe Zeit hat C. Bauer¹⁾) auf Helmholtz's Vorschlag ein ähnliches Thermoskop construirt. Statt der von Langley gebrauchten Platin-, Eisen- oder Palladiumbändchen verwandte Bauer feine Stanniolblättchen und auch bei dieser einfachen Einrichtung war die Empfindlichkeit des Instrumentes bei einem Widerstand der Stanniolblättchen von 9,8 Siemens'scher Einheiten und 3 Daniel'schen Elementen „6 mal grösser als die empfindlichsten Melloni'schen Säule des Instituts“. Beim Studiren des Wärmespectrums angewandt konnte man mit diesem Apparate Strahlung noch da constatiren, wo das äusserste gebeugte Licht hinfällt. „Das Instrument ist vollständig zuverlässig und man kann mit ihm überraschend schnell und sicher arbeiten.“

Der Vollständigkeit halber will ich noch zum Schluss dieses Kapitels eines in neuester Zeit von H. F. Weber, Professor der Physik am eidgenössischen Polytechnicum in Zürich, speciell zum Zwecke seiner Untersuchungen über das absolute Maass der Sonnenstrahlung construirten „Mikroradiometers“ gedenken. Auch bei diesem Instrument wird in letzter Instanz die Intensität der Strahlung durch eine Widerstandsänderung gemessen; doch ist die Wirksamkeit dieses Apparates im Wesentlichen anders, als bei dem oben beschriebenen Radiometer. In Betreff der näheren Beschreibung dieses Instrumentes muss ich auf eine in nächster Zeit erscheinende ausführliche Publication des Erfinders verweisen.

III. Unsere Untersuchungsmethode und deren mathematische Begründung.

Nach dem Vorausgegangenen wird eine eingehende Begründung und Erläuterung speciell der von uns angewandten Methode zur Untersuchung der Wärmestrahlung des menschlichen Körpers nicht mehr nöthig sein. Es genügt hervorzuheben, dass wir nach demselben Prinzipie der oben beschriebenen Apparate von Svanberg, Langley und Bauer, d. h. durch Einwirkung der zu messenden, strahlenden Wärme auf einen feinen metallischen elektrischen Leiter, wodurch der Widerstand des letzteren pro-

¹⁾ C. Bauer, Fortschritte der Physik. Bd. 33. Verhandlungen der physikalischen Gesellschaft in Berlin. 1882. No. 4.

portional der Temperaturerhöhung geändert wird, suchten, einen für unsere Zwecke in jeder Beziehung passenden Apparat herzustellen, dessen Construction aus dem Nachfolgenden ersichtlich ist.

An den freien Rändern eines aus Hartgummi hergestellten doppelt T-förmigen Gestelles (Fig. 5, g) sind Stanniolgitter s, s befestigt, welche oben (Fig. 7) in je eine (k_1, k_2) und unten (Fig. 8) in eine gemeinschaftliche Klemme k enden. Die Breite der Stanniolstreifen beträgt etwa 1 mm und der Zwischenraum 0,5 mm; der continuirliche Verlauf der Streifen ist auf Fig. 6 ersichtlich. Dieses Gestell ist in einem Cartongehäuse (Fig. C) so eingeschlossen, dass das eine vordere Gitter in einer bestimmten Entfernung vom Rande (in unserem Falle 5 cm) befestigt bleibt. Dieses Gitter dient zur Aufnahme der strahlenden Wärme und wird deshalb zum Zwecke der stärkeren Absorption mit einer Platinchloridlösung geschwärzt. Vor demselben, am Rande des Cartongehäuses, ist eine nach oben sich leicht verschiebende Klappe K angebracht, welche jedes Mal, wenn der Apparat in Function gesetzt wird, mittelst einer Schnur aufgezogen und gleich nachher heruntergelassen wird. Um die Nebenwirkungen der Luftströmung möglichst zu eliminiren ist die obere Decke des Gehäuses vom Rande bis zum Gitter ausgeschnitten, damit die erwärmte Luft, beim Anlegen des Apparates gegen eine zu untersuchende Körperstelle nach oben entweichen kann, ohne auf das Gitter eingewirkt zu haben; die eventuelle Wärmeabgabe durch Leitung ist jedenfalls so minimal, dass sie gar nicht in Betracht kommt; überdies bleibt sie in allen Fällen fast gleich gross. Das zweite auf der andern Seite des Gestelles angebrachte Stanniolgitter, welches genau dieselben Dimensionen hat, wie das vordere, hat den Zweck, der Nebenwirkung auf die Magnetröhre, durch die vom elektrischen Strom selbst in dem bestrahlten Gitter erzeugte Wärmeentwicklung Gleichgewicht zu halten, welche nach den Untersuchungen von Joule¹⁾ genau proportional ist dem Widerstande des Leiters. Auf diese Weise bleibt die Nadel vom Strome selbst ganz unbeeinflusst, da die Widerstände auf beiden Seiten gleich sind, besonders wenn man die nötigen Leitungsdrähte von recht grossem Quer-

¹⁾ Tyndall, Die Wärme. § 251. — Joule, Phil. Mag. 1841. Vol. XIX.
p. 263.

schnitte nimmt, so dass deren Widerstand zu dem Gitter (unsere Gitter hatten zusammen einen Widerstand von 8,63 Siemens'sche Einheiten bei der Zimmertemperatur von 14° C.) verschwindend klein wird. Uebrigens können allfällige Differenzen durch Verschiebung der Schneide des eingeschalteten Rheochords (Fig. 9 M) leicht ausgeglichen werden. — Der aus der Batterie (B Fig. 4) kommende Strom tritt durch die Klemme k in das vordere Stanniolgitter ein und geht dann durch das hintere Gitter zurück. Zwischen beiden Gittern ist das Galvanometer (Fig. 9 G) und der Messdraht nach dem Principe einer Wheatston'schen Brücke mittelst der gemeinschaftlichen Klemme K eingeschaltet. Wird nun dem vordern Gitter ein höher temperirter Körper genähert, so ändert sich in demselben sofort der Widerstand und zwar proportional der Temperaturerhöhung, was auch von der Magnettadel sogleich angezeigt wird. Das in ca. 2 m Entfernung vom Galvanometer aufgestellte Fernrohr (Fig. 4 F) ermöglicht die genaue Beobachtung der minimalsten Schwankungen des Spiegels des Galvanometers und die am Fernrohr angebrachte Scala gibt die nach einer unten angegebenen Formel zu reducirenden Masse an. Die Oeffnung und Schliessung des Stromes wird in bequemer Weise durch einen neben der Batterie angebrachten Dubois-Reymond'schen Schlüssel (Fig. 4 S) bewerkstelligt. Zur Controle der richtigen Stellung des Galvanometers zum magnetischen Meridian der Erde, so wie zum Zwecke etwaiger für gewisse Versuche wünschenswerth erscheinender Stromwendungen ist noch eine „Wippe“ (Fig. 4 W) eingeschaltet. Die Oberfläche jedes Gitters betrug 20 qcm. Dieses Grössenverhältniss erscheint deshalb zweckmässig, weil man am menschlichen Körper annähernd ebene Flächen von diesen Dimensionen leicht finden kann, auch lassen sich solche Stellen bequem in paralleler Stellung zum Gitter bringen, wodurch die Messung der strahlenden Wärmemenge der betreffenden Stelle und die Reduction derselben auf die Flächeneinheit in genauer Weise ermöglicht wird. Grössere Dimensionen würden zu Ungenauigkeiten führen, kleinere würden die Construction des Apparates erschweren und dessen Empfindlichkeit vermindern.

Die Zahl der nöthigen Elemente muss für jeden solchen Apparat je nach den Umständen durch Probiren bestimmt wer-

den. Für unsere Untersuchungen erwiesen sich zwei Elemente als vollständig zweckentsprechend. Die Füllung bestand aus einer Lösung von Cuprum sulphuricum im Glascylinder und Zincum sulphuricum in der Thonzelle und zwar wurde das spezifische Gewicht der Lösungen jedesmal auf 1,015 gestellt, eine Concentration, welche bei sorgfältiger Aufsicht einen äusserst constanten Strom giebt. Die Empfindlichkeit des Apparates kann durch Astasirung des Galvanometers mit einem Magneten beliebig gesteigert werden; doch ist es nicht zweckmässig das Instrument zu empfindlich zu machen, da man sonst mit unliebsamen Störungen zu kämpfen hat.

Wir fanden den Empfindungsgrad am zweckmässigsten, wenn eine Verschiebung der Schneide auf dem Messdrahte um 1 mm einen Ausschlag von ca. 200 Scalentheilen gab; dabei wurde ein Ausschlag von mehreren Scalentheilen wahrgenommen, wenn man die Vola manus auf 1 m Entfernung von dem Gitter hielt. — Gewöhnlich wurde die zu untersuchende Stelle dem Rande des Cartongehäuses, also 5 cm vor dem Gitter, genähert, dabei erhielten wir verschieden grosse Ausschläge, je nach der Person und der Beschaffenheit der betreffenden Körperstelle und der Temperatur der Umgebung. Wie wir gleich sehen werden, ist 1 Scalen-einheit auf 1 qcm Körperoberfläche und 1 Secunde berechnet = 0,00001 Gramm-Calorien. — Die Zeit, welche der Apparat braucht, bis die Ablenkung der Galvanometernadel ihr Maximum erreicht, ist meist nur 9 Secunden, also fast 7mal weniger als bei der z. B. von Christiani und Kronecker gebrauchten und oben erwähnten Thermosäule mit aperiodischem Magneten, von der ebenfalls oben erwähnten von Kusnezow gebrauchten Säule, die volle 5 Minuten bis zur ruhigen Einstellung der Nadel brauchte, gar nicht zu reden. Wir fanden es jedoch für gut um auch immer sicher zu sein, dass das Maximum erreicht und die Stellung des Magnets constant geblieben ist, eine für alle Versuche gleichmässige Beobachtungsdauer von 15 Secunden festzuhalten, was mittelst eines Metronoms jedesmal gezählt wurde. Wie aus der Fig. 9 ersichtlich, ist das Cartongehäuse mit dem Gittergestell gewöhnlich an einem Stativ (St) befestigt, an welchem zugleich ein Thermometer (T) angebracht ist, um die Temperatur der Umgebung bequem ablesen zu können. Will

man solche Körperstellen untersuchen, welche man nicht leicht dem Gitter in dieser Aufstellung nähern kann, so wird das Cartongehäuse vom Stativ gelöst und mittelst des Griffes (G) an die betreffende Körperstelle senkrecht gehalten; nur muss man dabei den Kopf vom Gehäuse abwenden, da man sonst durch die Respiration leicht das Resultat der Beobachtung beeinflussen kann. Die Führungsleisten der Klappe K sind mit einer dicken Papierschicht umgeben, damit bei der Berührung mit der Haut keine Abkühlung der Umgebung der zu untersuchenden Stelle durch Leitung, sowie keine Circulationsstörungen durch Druck stattfinden. Bei solchen Untersuchungen, bei welchen man das Gitter an verschiedene Körperstellen anlegen muss, besonders bei Untersuchungen von Kranken, die im Betté bleiben müssen, ist es nothwendig, dass zwei Personen die Beobachtung ausführen. Während der eine Beobachter den Strom schliesst und die Bewegungen des Magneten im Fernrohr verfolgt, bringt der andere das Gitter vorsichtig an die zu untersuchende Körperstelle und hält dasselbe ruhig in richtiger Stellung, bis der Versuch zu Ende ist. — Dank der ausserordentlichen Feinheit des Gitters, erfolgt die Abkühlung desselben ebenso schnell wie die Erwärmung, so dass nach Entfernung des Gitters vom Körper der Magnet nach wenigen Secunden in seine ursprüngliche Ruhelage zurückkehrt und die nächste Beobachtung gleich folgen kann. Im Allgemeinen lässt dieser Apparat, gute Construction und richtige Handhabung vorausgesetzt, nichts zu wünschen übrig, und kann man mit demselben zu jeder Zeit, freilich mit Ausnahme solcher Tage, an welchen sich allen Physikern wohl bekannte Störungen seitens des Erdmagnetismus im Galvanometer einstellen, rasch und exact arbeiten, d. h. wohlgemerkt die ausgestrahlte Wärmemenge wirklich messen.

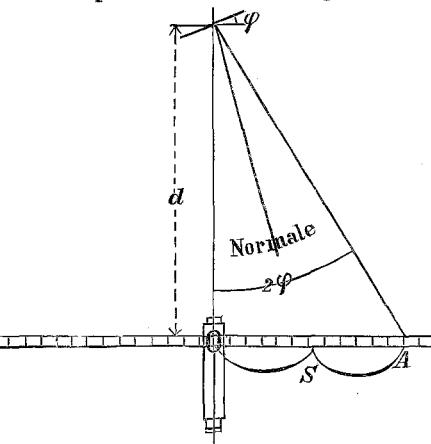
Die zwischen dem Ausschlag des Galvanometers und der denselben durch Änderung des Widerstandes im Gitter verursachenden Wärmemenge bestehende Relation ergiebt sich aus folgenden mathematischen Betrachtungen. —

Ist φ der Ablenkungswinkel des Magneten und i die Stromstärke im Galvanometerdraht, dann ist, wie aus der Theorie des Galvanometers direct folgt:

$$\operatorname{tg} \varphi = ai \dots \dots \dots \quad (1.)$$

wobei a eine von den Dimensionen des Galvanometers und von der sogenannten horizontalen Componente der erdmagnetischen Kraft des Beobachtungs-ortes bedingte Grösse ist.

Oder wenn wir $\operatorname{tg} \varphi$ auf den Metermaassstab der Fernrohrscala reduciren, so erhalten wir, da der von dem im Fernrohr sichtbaren Theilstrich A ausgehende Strahl mit der Gesichtslinie gebildete Winkel, wie aus der nebenstehenden Figur ersichtlich gleich 2φ :



$$\frac{s}{d} = \operatorname{tg} 2\varphi;$$

wobei s die Strecke von A bis zum Nullpunkt der Scala und d die Entfernung der Scala vom Spiegel bedeutet. Nun ist aber

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2 \operatorname{tg} \varphi}{1 - \operatorname{tg}^2 \varphi}$$

$$2 \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \operatorname{tg} 2\varphi + 2 \operatorname{tg} \varphi.$$

Setzen wir $\operatorname{tg} 2\varphi = \alpha$ und dividiren den obigen Ausdruck durch α , so bekommen wir die quadratische Gleichung:

$$\operatorname{tg}^2 \varphi + \frac{2 \operatorname{tg} \varphi}{\alpha} - 1 = 0,$$

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \varphi &= -\frac{1}{\alpha} + \sqrt{\frac{1}{\alpha^2} + 1} \\ &= -\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha} \sqrt{1 + \alpha^2}.\end{aligned}$$

Nun ist $\sqrt{1 + \alpha^2} = 1 + \frac{1}{2}\alpha^2 - \frac{1}{8}\alpha^4 + \dots$

$$\text{also } \operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{8}\alpha^3 + \dots$$

$$= \frac{1}{2}\alpha(1 - \frac{1}{4}\alpha^2)$$

$$= \frac{1}{2}\operatorname{tg} 2\varphi(1 - \frac{1}{4}(\operatorname{tg} 2\varphi)^2) \text{ oder da } \operatorname{tg} 2\varphi = \frac{s}{d}$$

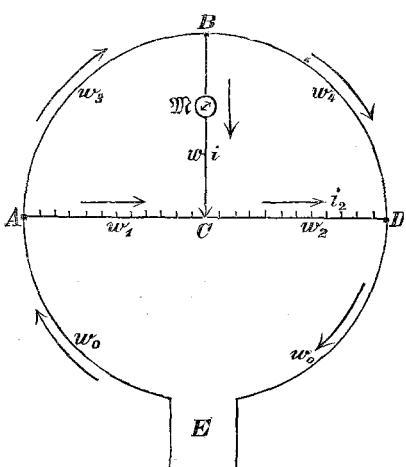
$$= \frac{s}{2d} \left(1 - \frac{s^2}{4d^2}\right).$$

Diesen Ausdruck nennt man den reducirten Ausschlag, und wenn wir ihn der Kürze halber mit σ bezeichnen und in Formel (1.) statt $\operatorname{tg} \varphi$ setzen, so erhalten wir den für die Praxis bequemeren Ausdruck:

$$\sigma = ai \dots \dots \dots \quad (2)$$

Unsere Aufgabe ist jetzt, das Verhältniss zwischen der Stromstärke und der Strahlungsintensität, resp. dem dadurch erzeugten Widerstand in den Leitungsdrähten zu untersuchen; dazu brauchen wir nur in die obige Formel statt i einen

dieses Verhältniss enthaltenden Ausdruck zu substituiren, um die Proportionalität des Ausschlages des Galvanometers zu der vom bestrahlten Gitter absorbierten Wärmemenge nachzuweisen. Aus den allgemeinen Gesetzen der Stromverzweigung (Kirchhoff'sche Sätze) und deren Anwendung auf die Wheatstone'sche Drahtcombination (Brücke), kennen wir folgende Gleichungen, in welchen i die Stromstärke in der



Brücke BC, w ; w_0 ; w_1 ; w_2 ; w_3 ; w_4 die Widerstände in den entsprechenden Stromzweigen und E die elektromotorische Kraft der Batterie bezeichnet:

$$i = E \frac{w_1 w_4 - w_2 w_3}{N}, \dots \dots \dots \quad (3)$$

wo $N = w_0 w_3 w_4 + w_0 w_3 (w + w_1) + w_0 w_4 (w + w_2) + w_3 w_4 (w_1 + w_2) + (w_0 + w_3 + w_4)(w_1 w + w_2 w + w_2 w_3)$, da dieser Nenner aus einer Summe von Widerständen besteht, welche absolute Grössen sind und alle Summanden das positive Vorzeichen haben, so ist er positiv; dagegen kann der Zähler, je nach der Differenz $w_1 w_4$ und $w_2 w_3$ positiv, negativ oder $= 0$ werden. Letzterer Fall tritt ein, wenn $w_1 w_4 = w_2 w_3$, dann ist auch $i = 0$, d. h. die Stromstärke im Brückendraht ist gleich Null, wenn die Producte zweier gegenüberliegender Widerstände einander gleich sind,

woraus die für Widerstandsmessungen gebräuchliche Relation:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{w_3}{w_4} \text{ folgt. —}$$

Es sei nun g der Widerstand des bestrahlten Gitters ($= w_4$ in der Figur) bei einer Zimmertemperatur t_0 und g_1 der Widerstand des zweiten, hinteren Gitters ($= w_3$), dann ist $i = 0$ wenn $w_1 g = w_2 g_1$, oder, da in unserem Falle $g = g'$, so wird der Magnet des im Brückendrahte eingeschalteten Galvanometers \mathfrak{M} seine Ruhelage behalten, wenn die Schneide C in der Mitte des Messdrahtes AD sich befindet. Bei Bestrahlung des Gitters erhöht sich seine Temperatur, wodurch der Widerstand g grösser wird und in Folge dessen ein Ausschlag des Magneten erfolgt. Wie wir aber im vorigen Capitel gesehen haben, ist der Widerstand eine lineare Function der Temperatur¹⁾ und zwar sind für die Temperatur t' der Widerstand: $G_{t_1} = g(1+qt')$, wo g der Widerstand des Gitters bei 0° und q = der Aenderung der Widerstandseinheit des Gitters bei Temperaturänderung von 1° . Setzen wir nun in der Formel (3.) G_t für w_4 und G' für w_3 , so erhalten wir

$$\begin{aligned} i &= \frac{E}{N} (w_1 G_{t_1} - w_2 G') \\ &= \frac{E}{N} \{w_1 g(1+qt') - w_2 g'\} \quad \dots \quad (4.) \end{aligned}$$

Für die Temperatur t_0 aber wird ebenfalls $G = g(1+qt_0)$ sein, durch die Division bekommen wir:

$$\begin{aligned} \frac{G_{t_1}}{G} &= \frac{g(1+qt')}{g(1+qt_0)} = (1+qt')(1+qt_0)^{-1} \\ &= (1+qt')(1-qt_0+q^2t^2\dots) \\ &= 1+qt'-qt_0-q^2t_0-q^2t_0t'+q^2t_0^2+\dots \end{aligned}$$

Die Glieder der Reihe mit den Multiplicatoren $q^2 q^3$ etc. können wir ihrer Kleinheit wegen weglassen, also

$$\begin{aligned} \frac{G_{t_1}}{G} &= 1+q(t'-t_0) \text{ oder} \\ G_{t_1} &= G[1+q(t'-t_0)]. \end{aligned}$$

Diesen Werth von G_{t_1} in Formel (4.) eingesetzt, so haben wir

¹⁾ Vergl. die im vorigen Capitel angeführte Formel von E. Becquerel und Arndtsen $l = l_0(1+at)$.

$$\begin{aligned} i &= \frac{E}{N} [w_1 G(1+q(t'-t_0) - w_2 G')] \\ &= \frac{E}{N} [w_1 G + w_1 G q(1-t_0) - w_2 G'] \text{ und da } w_1 G = w_2 G', \end{aligned}$$

folglich

$$i = \frac{E}{N} w_1 G q(t'-t_0) \dots \dots \dots \dots \quad (5.)$$

Der Ausdruck $t' - t_0$ bedeutet also die Temperaturdifferenz des bestrahlten Gitters vor und nach der Bestrahlung. Wir können aber diesen Ausdruck noch durch einen anderen, in welchem die Strahlungsintensität enthalten ist, ersetzen:

Bezeichnet W die ausstrahlende Wärme,

J die Strahlungsintensität d. h. die ausstrahlende Quantität Wärme in der Zeiteinheit und für die Oberfläche = 1.

z die Zeiteinheit und

α einen von Temperaturdifferenz des strahlenden Körpers und von der Umgebung abhängenden Proportionalitätsfaktor, dann ist für jedes Zeitelement:

$$dW = \alpha J dz,$$

bezeichnet ferner M die Masse des strahlenden Wärme ausgesetzten Körpers (in unserem Falle die des Gitters)

O die Oberfläche desselben,

c dessen spezifische Wärme,

t_0 die Temperatur desselben vor der Bestrahlung (= der Temp. der Umgebung),

t die Temperatur desselben nach der Bestrahlung und

h = Coefficient der äusseren Wärmeleitung,

so besteht die Relation:

$$Mc dt = (\alpha J - hO(t-t_0)) dz,$$

d. i. die resultirende Wärmemenge. Mc ist die Wärmeaufnahme in Calorien und $hO(t-t_0)$ ist die Wärmeabgabe des Gitters an die Umgebung oder

$$\frac{Mc dt}{\alpha J - hO(t-t_0)} = dz$$

und

$$\int \frac{Mc dt}{\alpha J - hO(t-t_0)} = \int dz.$$

Integriert erhalten wir:

$$-\frac{Mc}{hO} \ln(\alpha J - hO(t - t_0)) = z$$

oder

$$-\frac{1}{hO} \ln[\alpha J - hO(t - t_0)] = \frac{z}{Mc}$$

woraus folgt

$$t - t_0 = \frac{\alpha J}{hO} \left(1 - \frac{e^{-\frac{hO}{Mc} \cdot z}}{\alpha J} \right).$$

Nach Ablauf einer gewissen Zeit wird $t = t' = \text{constant}$, wobei Z so gross wird, dass das Glied $\frac{e^{-\frac{hO}{Mc} \cdot z}}{\alpha J}$ unendlich klein wird und daher vernachlässigt werden kann. Wir erhalten also:

$$t' - t_0 = \frac{\alpha J}{hO}.$$

Substituiren wir nun $\frac{\alpha J}{hO}$ statt $t' - t_0$ in Formel (5.) so bekommen wir:

$$i = \frac{E}{N} w_1 G q \frac{\alpha J}{hO}$$

und wenn wir jetzt diesen für i gefundenen Werth in Formel (2.) einsetzen, so erhalten wir:

$$\sigma = a \frac{E}{N} w_1 G q \frac{\alpha J}{hO} \dots \dots \quad (6.)$$

d. h. der Ausschlag des Magneten im Galvanometer ist proportional der Strahlungsintensität, oder der ausgestrahlten, vom Gitter absorbirten Wärmemenge. —

Wollte man indess aus dieser Gleichung für einen gegebenen Werth von σ die numerische Grösse der entsprechenden Wärmemenge ableiten, so würde man auf grosse Schwierigkeiten stossen; schon deshalb, weil der Proportionalitätsfaktor α speciell beim menschlichen Körper eine ganz unbekannte Grösse ist. — Da wir aber einmal wissen, dass der Ausschlag des Magneten des Galvanometers der ausgestrahlten Wärmemenge proportional ist, so können wir durch vergleichende Versuche mit einem physikalischen Körper, dessen abgegebene Wärmemenge an das Gitter leicht zu bestimmen ist, den einer bestimmten Wärmequantität entsprechenden Ausschlag ermitteln, um dann

umgekehrt aus der Grösse des Ausschlages desselben Galvanometers unter den gleichen Verhältnissen auf die numerische Grösse der ausgestrahlten Wärmemenge des menschlichen Körpers zu schliessen.

Zu diesem Zwecke haben wir mit unserem Apparat eine Reihe von Untersuchungen der Wärmestrahlung eines eigens dazu construirten kupfernen Würfels ausgeführt und die erhaltenen Ausschläge mit den nach einer von Pécl¹⁾) angegebenen Methode zur Bestimmung des Wärmeverlustes in Calorien eines auf einer constanten Temperatur gehaltenen Körpers berechneten Werthe verglichen²⁾). Die von der Fläche F in der Zeit Z ausgestrahlte Wärmemenge Q ist nehmlich:

$$Q = 0,16 \cdot 124,72 \cdot 1,0077^t [1,0077^{t-t} - 1] FZ.$$

Die Zahl 0,16 ist die Strahlungsconstante des Kupfers; die Zahlen 124,72 und 1,0077 sind eben die in der, im ersten Capitel angeführten Formel von Dulong und Petit enthaltenen Constanten A und a.

Auf diese Weise gelangten wir zum Resultate, dass bei unserem Apparate ein durch die Einwirkung der Wärmestrahlung auf das Gitter hervorgerufene Ausschlag des Magneten des Galvanometers von 1 Scalentheil einer Wärmemenge von rund 0,0002 g-Calorien (pro 1 Secunde) entspricht. Man braucht daher die unten bei den Beobachtungen angegebenen, mit S bezeichneten Zahlen nur mit 0,0002 zu multipliciren, um die entsprechende Wärmequantität in Wärmeeinheiten zu bekommen, welche die untersuchte, der Grösse des Gitters entsprechende, Körperstelle während 1 Secunde ausstrahlte. Da nun die bestrahlte Fläche des Gitters 20 qcm gross war, so erhält man durch Division des oben gedachten Productes durch 20 die Wärmemenge, die 1 qcm der untersuchten Hautoberfläche in der Secunde ausstrahlt. Ein Ausschlag von 1 Scalentheil pro 1 Secunde und 1 qcm ist demnach gleich 0,00001 g-Calorien; oder die Wärmemenge, welche von 1 qcm Hautfläche der betreffenden untersuchten Person in 1 Secunde ausgestrahlt wird, ist gleich $S \times 0,00001$ g-Calorien.

¹⁾ Pécl^e, Traité de la chaleur. T. I. p. 519—524. 1878.

²⁾ Vgl. Mousson, Die Physik. Bd. II. 1880. S. 326.

IV. Einfluss der umgebenden Luft auf die Strahlungsintensität der Körperoberfläche des Menschen.

Wie aus der vorausgehenden Beschreibung unseres Apparates leicht ersichtlich, ist derselbe nicht gut transportabel, da es jedes Mal einer genauen Einstellung des Spiegelgalvanometers und des Fernrohres bedarf, um richtige Beobachtungsresultate zu erhalten. Will man eine grössere Reihe von Beobachtungen zu verschiedenen Zeiten ausführen und dieselben mit einander vergleichen, so ist es am zweckmässigsten, den Apparat auf einem passenden Platze einmal sorgfältig zusammengestellt in dieser Stellung während der ganzen Versuchszeit zu lassen, wobei man nur die Füllung der Elemente mit den oben angegebenen Lösungen von stets gleichem specifischem Gewichte von Zeit zu Zeit zu besorgen hat. Wir waren in der angenehmen Lage unsere Beobachtungen und Versuche, welche sich auf einen Zeitraum von fast einem Jahre erstreckten, in einem speciell zu diesem Zwecke reservirtem Zimmer im „Absonderungshause“ der Züricher Medicinischen Klinik mit grosser Bequemlichkeit auszuführen, wobei alle möglichen Vorsichtsmaassregeln zur Verhütung von Störungen getroffen wurden. Während der ganzen Zeit blieb die Astasie des Spiegelgalvanometers, sowie die Distanz zwischen demselben und der Fernrohrscala stets die gleiche; auch der Widerstand der Stanniolgitter erlitt keine nennenswerthe Veränderung.

Wir hatten nun regelmässig fast jeden Tag eine oder mehrere Personen in unserem Beobachtungszimmer auf Wärmestrahlung in der einen oder anderen Beziehung untersucht. Indess ist es nicht meine Aufgabe auf alle unsere Untersuchungen hier einzugehen, da ich, wie schon bemerkt, nur die Ergebnisse unserer Untersuchungen an gesunden Personen besprechen will, während die pathologischen Fälle an anderer Stelle behandelt werden sollen. Und so will ich nun im Folgenden an der Hand von Belegen aus unseren Beobachtungen die uns hier interessirenden Fragen der Reihe nach betrachten.

Wir beginnen mit der Prüfung der Wärmestrahlung einer und derselben Hautstelle während längerer Zeit nach Entkleidung. In den folgenden Tabellen bezeichnet S Strahlung und T die Temperatur der Umgebung,

1. A. K., 26jähriger Mann. $T = 16^{\circ}$. Oberkörper entblösst. Es wird die Strahlung einer und derselben Hautstelle 40 Min. lang alle 5 Min. beobachtet.

Rechte Brustwarze.

	S		S
10 Uhr — Min.	80	10 Uhr 35 Min.	127
15 -	89	40 -	139
20 -	100	45 -	131
25 -	100	50 -	137.
30 -	110		

2. Derselbe Mann wie Versuch 1. Es wird die Strahlung einer und derselben Hautstelle 1 Stunde lang verfolgt. Oberkörper entblösst. $T = 16,5^{\circ}$.

Musculus pectoral. major dextr.

	S		S
10 Uhr 24 Min.	96	11 Uhr — Min.	123
27 -	105	1 -	123
28 -	103	5 -	123
30 -	102	6 -	123
32 -	102	9 -	117
35 -	101,5	11 -	127
40 -	102	13 -	128
43 -	107	14 -	127
46 -	113	17 -	123
48 -	113	19 -	134
50 -	113	21 -	134
55 -	113	23 -	134.
57 -	113		

3. A. W., 57jähriger Mann. $T = 9^{\circ}$. Oberkörper entblösst.

	Fossa infra- spinata			Meso- gastrium			Fossa infra- spinata			Meso- gastrium		
	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
11 Uhr 5 Min.	30	29,5	29	11 Uhr 35 Min.	60	60	50					
10 -	35	34	34		40	-	60	58	56			
15 -	40	40	40		45	-	71	66	52			
25 -	51	46	41		50	-	77	75	63			
30 -	60	56	55		55	-	85	81	71.			

4. C. K., 19jähriger Mann. Oberkörper entblösst. $T = 10^{\circ}$.

Unterarm, Volarseite

	rechts		links			rechts		links				
	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
11 Uhr 3 Min.	27	28			11 Uhr 33 Min.	61	60					
8 -	41	41				38	-	70	67			
13 -	46	42				43	-	77	84			
23 -	47	50				48	-	94	78			
28 -	45	58				53	-	100	95,			

5. B. E., 26jähriger Mann. Oberkörper entblösst. T = 10°.

Musc. biceps.

	rechts	links		rechts	links
	S	S		S	S
11 Uhr — Min.	29	36	11 Uhr 30 Min.	54	55
5 -	41	41		68	76
10 -	39	47		78	85
20 -	47	55		69	90
25 -	58	60		81	78.

6. Es wird nur der linke Arm entblösst und dieser gemessen.
J. W., 46jähriger Mann, T = 16°.

	Biceps	Triceps	Unterarm
	Dorsalseite	Volarseite	
11 Uhr — Min.	44	36	30
8 -	45	38	39
17 -	51	44	43
27 -	47	41	40
37 -	63	59	47
50 -	65	59	44
			62.

7. E. W., 26jähriger Mann. Derselbe Versuch wie 6. am rechten Arm. T = 16°.

	Biceps	Triceps	Unterarm
	Dorsalseite	Volarseite	
11 Uhr 5 Min.	45	48	40
15 -	46	49	44
23 -	49	46	50
33 -	69	58	61
50 -	74	59	65
			58.

8. Nur der linke Unterarm entblösst und dieser gemessen. B. B., 26jähriger Mann. T = 16°.

	Unterarm		Unterarm
	Volarseite	Dorsalseite	Volarseite
11 Uhr 3 Min.	40	36,5	42
15 -	38,5	41,5	47
20 -	44	40,5	55
			54.

Eine genauere Betrachtung der eben angeführten Versuche lehrt uns vor allen Dingen die äusserst wichtige Thatsache, dass die Wärmestrahlung der gewöhnlich bedeckten Körperoberfläche nach der Entkleidung fortwährend, wenn auch oft mit einigen Schwankungen, zunimmt. Da nun die Oberfläche des entblössten Körpers bei niedriger Temperatur der Umgebung, wie bekannt, sich bedeutend ab-

kühlt¹⁾), so stehen wir — scheinbar — vor einem physikalischen Paradoxon, denn, wie wir im ersten Capitel gesehen haben, ist die Strahlungsintensität eines der freien Abkühlung ausgesetzten Körpers annähernd der Temperaturdifferenz zwischen dem ausstrahlenden Körper und der Umgebung proportional; bei fortschreitender Abkühlung nimmt mithin die Strahlungsintensität ab. Ich werde indess später, nachdem wir noch eine Reihe von Beobachtungen mit gleichzeitigen Temperaturmessungen der auf Strahlung untersuchten Hautstellen kennen gelernt haben werden, diese Erscheinung zu erklären versuchen. Es sei hier nur bemerkt, dass, wie wir uns auch aus vielen anderen Versuchen überzeugen konnten, diese merkwürdige Thatsache eine ganz regelmässige Begleiterscheinung der Entkleidung des Körpers in einem kühlen Raume ist.

Vergleichen wir die Intensitätszunahme der Strahlung in den ersten zwei Versuchen mit derjenigen der folgenden drei (Versuche 3—5), so finden wir, dass in der zweiten Gruppe die Zunahme relativ bedeutend grösser ist als in der ersten. Während die grössten Werthe in Versuch 1 und 2 lange nicht das Doppelte des Anfangswertes erreichen, so steigt die Strahlung in der gleichen Zeit bei Versuch 3—5 ungefähr bis fast zum Dreifachen und Vierfachen der Anfangswerte. Eine Erklärung dafür dürfte wohl in dem Umstände zu suchen sein, dass bei den ersten zwei Versuchen die Temperatur der Umgebung 16° betrug, während sie in den letzten drei Versuchen nur 9° — 10° war. In der That hatten wir Gelegenheit uns zu überzeugen, dass bei noch höherer Temperatur der Umgebung die Strahlungsintensität nach der Entkleidung nur ganz langsam sich ändert, wie folgendes Beispiel zeigt.

9. 50jähriger Mann. Oberkörper entkleidet. $T = 19,5^{\circ}$. Es wird die Strahlung über den linken Musc. pectoralis 10 Min. lang beobachtet.

	S
10 Uhr 40 Min.	100
42 - 30 Sec.	100
45 -	106
47 - 30 -	96
51 -	105.

¹⁾ Vgl. die sorgfältigen Messungen der Hauttemperatur des unbekleideten Körpers in der Zimmerluft von Senator, Archiv f. path. Anatomie Bd. 45. S. 388—360.

Wir sind also zum Schlusse berechtigt, dass die Zunahme der Strahlungsintensität des entblösssten Körpers um so schneller wächst, je niedriger die Temperatur der Umgebung ist.

Die Versuche 6—8 zeigen uns ferner, dass die Erscheinung der Zunahme der Wärmestrahlung auch dann stattfindet, wenn nur einzelne Extremitäten oder nur ein grösserer Körpertheil, wie der Unterarm, entblössst wird. Es scheint jedoch in diesem Falle die Steigerung der Wärmestrahlung nicht so intensiv zu erfolgen, als wenn der ganze Oberkörper entblössst wird, wie aus einem Vergleiche der Strahlungswertes mit Berücksichtigung der entsprechenden Zeiten und Temperaturen der Umgebung hervorgeht (vergl. auch Versuch 12).

Dagegen konnten wir vielfach die Beobachtung machen, dass solche Körpertheile, welche gewöhnlich unbedeckt bleiben, wie Hände und Gesicht beim angekleideten Menschen unter normalen Verhältnissen meist eine ziemlich constante Wärmestrahlung zu jeder Tageszeit aufweisen, wofür folgende Beispiele als Beleg.

10. Derselbe Mann, wie im Versuch 1. Angekleidet. $T = 16^{\circ}$. Der Gang der Wärmestrahlung der Vola manus der rechten Hand während 30 Min. beobachtet.

	S
10 Uhr 35 Min.	100
40 -	100
45 -	101
50 -	100.

11. Vergleich der Wärmestrahlung des Gesichtes am Vormittag und Abends, bei gleicher Temperatur der Umgebung. $T = 19^{\circ}$ zu beiden Beobachtungszeiten. 8jähriger Knabe.

	Rechte Wange	Linke Wange
	S	S
Vormittags 10 Uhr 55 Min.	85	92
Abends 6 -	86	91.

Dass aber die in den ersten 8 Versuchen constatirte Zunahme der Wärmestrahlung wirklich eine Folge der dauerhaften Entblössung des Körpers war und nicht etwa aus irgend einem anderen Grunde hervorgerufen wurde, beweisen folgende Versuche, in welchen eine grosse resp. andauernde Abkühlung des Körpers vermieden wurde:

12. C. W., 50jähriger Mann. Angekleidet und nur die Brust an der zu untersuchenden Stelle entblösst. $T = 10^\circ$.

Mamilla

	rechts		links			rechts		links	
	S	S	S	S		S	S	S	S
11 Uhr 25 Min.	44		65		11 Uhr 35 Min.	55		49	
27 -	44		58		37 -	55		67	
29 -	48		50		41 -	57		65	
31 -	43,5		44		43 -	55		69.	
33 -	46		45						

13. T. F., 21jähriger Mann, angekleidet. Es wird der rechte Arm entblösst und die Hautstrahlung gemessen, sofort aber der Hemdärmel zurückgeschlagen. $T = 15^\circ$.

	Biceps	Triceps	Unterarm	
			Volarseite	Dorsalseite
11 Uhr 15 Min.	46	40	35	34,5
35 -	50	42	35	35
45 -	49,5	47	41	44
12 Uhr — -	58	49	45	49.

14. Derselbe Mann wie in Versuch 8. Versuch wie voriger an beiden Armen. Angekleidet. $T = 15^\circ$.

	Triceps rechts	Unterarm rechts	Biceps links	Unterarm	
				volar	links
11 Uhr 25 Min.	35	33	63	44	
35 -	35	34	64	47	
55 -	41	40	64	47	
12 - 5 -	49	44	64	46.	

15. Derselbe Mann wie in Versuch 7. Angekleidet. Es werden ebenfalls nur die Unterarme einer nach dem andern entblösst und sofort nach der Messung die Hemdärmel zurückgeschlagen. $T = 15^\circ$.

Unterarm: dorsal rechts volar rechts dorsal links volar links

11 Uhr 30 Min.	39	35	36	35
40 -	39	39	40	36
55 -	41	42	44	39.

Ein Vergleich der Strahlungswerte im Versuch 12, wo der ganze Körper bekleidet und nur die zu untersuchende Stelle während der ganzen Zeit der Beobachtung entblösst war, mit denen der ersten Versuche bei vollständig entblößtem Oberkörper ergibt sofort, welchen Einfluss die Entblössung des Körpers auf den Gang der Wärmestrahlung hat. Trotz der verhältnismässig niedrigen Temperatur der Umgebung (10°) finden wir hier keine beachtenswerthe Zunahme der Wärmestrahlung, wäh-

rend wir dort eine bedeutende Steigerung derselben in der gleichen Zeit sehen. In den letzten drei Versuchen ist besonders interessant, die fast völlige Uebereinstimmung der Strahlungswerte in den ersten zwei Beobachtungsreihen, in welchen fast keine Abkühlung der Haut stattfand (Versuch 13, 11 Uhr 15 Min. bis 11 Uhr 35 Min.; Versuch 14, 11 Uhr 25 Min. bis 11 Uhr 35 Min.; Versuch 15, 11 Uhr 30 Min bis 11 Uhr 40 Min.). Erst nachdem der Körpertheil mehrmals entblösst wurde, beginnt ein allmähliches Wachsen der Strahlungsintensität. Wir sind also wirklich berechtigt, die constatirte Zunahme der Wärmestrahlung des der Abkühlung ausgesetzten, entblößten menschlichen Körpers als eine durch den Erkaltungsprozess derselben selbst hervorgerufene Erscheinung zu betrachten.

Von welcher Wichtigkeit die Berücksichtigung dieser That-sache der Zunahme der Wärmestrahlung des in einem relativ kühlen Raume entblössten menschlichen Körpers bei Bestimmungen der normalen Wärmeabgabe desselben, namentlich bei calorimetrischen Messungen ist, habe ich schon früher hervorgehoben. Ich brauche kaum noch zu bemerken, dass wir uns bei allen anderen unserer Untersuchungen, wo es uns auf den Vergleich verschiedener Strahlungswerte ankam, vor dieser Fehlerquelle zu sichern suchten, indem wir die zu untersuchende Stelle bis zum Momente der Beobachtung bedeckt liessen.

V. Einfluss von Wasserbädern, Eisbenteln und inneren Antipyretica auf die Wärmestrahlung der menschlichen Haut.

Wir wollen jetzt eine Reihe von Versuchen betrachten, aus welchen wir das Verhältniss der Wärmestrahlung zu der Temperatur der betreffenden Hautstelle näher kennen lernen werden. Allerdings verriethen uns schon die im vorigen Capitel angeführten ersten 8 Versuche, dass die Wärmestrahlung des entblössten menschlichen Körpers steigt, während die Temperatur desselben offenbar sinkt, doch fehlen uns dort die numerischen Werthe der entsprechenden Hauttemperaturen. Bei der Unvollkommenheit der bis jetzt bekannten Apparate zur Messung der Hauttemperatur ist es aber fast unmöglich die Temperaturdifferenzen der entblössten Körperoberfläche in so kleinen Zeit-

abschnitten zu beobachten, in denen wir mit unserem äusserst empfindlichen Apparate die Strahlungsdifferenzen derselben messen konnten. Viel bequemer und sicherer lassen sich indess solche Parallelbeobachtungen der Strahlung und der Temperatur derselben Hautstelle ausführen, wenn man durch energischere Mittel als die Umgebungsluft die Temperatur der betreffenden Stelle oder des ganzen Körpers herabsetzt resp. erhöht. Bei unseren zahlreichen Versuchen über den Einfluss der verschiedenen Antipyretica (Eisbeutel, Bäder und innere Mittel) auf die Wärmestrahlung der Haut bei gesunden und kranken (fiebernden) Personen hatten wir zugleich Gelegenheit das Verhältniss der Wärmestrahlung zu der Hauttemperatur vielfach zu studiren. Sehen wir uns nun einige solcher an gesunden Personen angestellter Versuche näher an.

16. P. M., 26jähriger Mann. Es wird der linke Arm in einem Bad von 30° 10 Minuten lang gehalten, der Arm dann getrocknet, aber nicht gerieben. Vergleich der Strahlung und der Hauttemperatur vor und nach dem Bade. $T = 14^{\circ}$.

	Vor dem Bade	Nach dem Bade
	S	S
Triceps	70	91,5
Biceps	88	110
Unterarm dorsal .	77	106,5
- volar .	81	106
Dorsum manus . .	70	87
Vola manus . . .	66	81.
Hauttemperatur: vorher		nachher
Triceps	31,6°	30,2°
Unterarm volar .	32,4°	31,9°.

17. J. B., 37jähriger Mann. Derselbe Versuch am rechten Arm. $T = 14^{\circ}$. Bad von 29° , Dauer 15 Minuten.

	Vor dem Bade	Nach dem Bade
	S	S
Triceps	73	91
Biceps	94	118,5
Unterarm dorsal .	82	110
- volar .	96	124
Dorsum manus . .	71	90
Vola manus . . .	82	102.
Hauttemperatur: vorher		nachher
Triceps	30,3°	30°
Unterarm volar .	31,2°	31°.

18. P. M. Derselbe Versuch. $T = 15^{\circ}$. Armbad von 25° , Dauer 10 Min.

	Vor dem Bade	Nach dem Bade
	S	S
Rechter Arm. Triceps	62	92
Biceps	95	100
Unterarm dorsal .	95	104
- volar .	96	106
Dorsum manus .	86	94
Vola manus . .	96	98
Hauttemperatur: vorher		nachher
Triceps	$30,8^{\circ}$	$29,6^{\circ}$
Unterarm dorsal .	$30,8^{\circ}$	$29,4^{\circ}$

19. W. S., 15 Jahre. Derselbe Versuch. Armbad von 25° , Dauer 10 Minuten. $T = 15^{\circ}$.

	Vor dem Bade	Nach dem Bade
	S	S
Triceps	62	110
Biceps	97	102
Unterarm dorsal .	75	100
- volar .	81	96
Dorsum manus .	69	82
Vola manus . .	70	71
Hauttemperatur: vorher		nachher
Triceps	$29,8^{\circ}$	$28,4^{\circ}$
Unterarm volar .	$30,1^{\circ}$	$28,2^{\circ}$

In allen diesen 4 Beispielen sehen wir also eine constante Zunahme der Wärmestrahlung trotz der zu gleicher Zeit erfolgten bedeutenden Temperaturabnahme der Haut.

Aber nicht nur an den Hautstellen, welche direct der Einwirkung des Wassers im Bade ausgesetzt waren, sondern auch an den benachbarten Partien konnten wir dieselbe Erscheinung wahrnehmen, wie folgendes Beispiel zeigt.

20. J. W., 23jähriger Mann. Es wird nur der Unterarm 30 Minuten in einem Bade von 25° gehalten, und Temperatur und Strahlung des Unter- und Oberarmes vor und nach dem Bade verglichen. $T = 11^{\circ}$.

	Vorher	Nachher
	S	S
Triceps	35	51
Biceps	46	64
Unterarm dorsal .	49	68,5
- volar .	52	62
Dorsum manus .	38	59
Hauttemperatur: vorher		nachher
Biceps	$30,5^{\circ}$	$28,1^{\circ}$
Unterarm dorsal .	$28,6^{\circ}$	$25,9^{\circ}$

Wir sehen hier fast genau dieselben Verhältnisse an der Innen- und Aussenfläche des vom Wasser ganz unberührten Oberarmes wie des eine längere Zeit in Wasser gehaltenen Unterarmes. Ebenso verhält es sich, wenn man beispielsweise auf dem Unterarm einen Eisbeutel längere Zeit liegen lässt und Temperatur und Strahlung des ganzen Armes vorher und nachher misst. Auch in diesem Falle äussert sich die Wirkung im gedachten Sinne nicht nur an den vom Eisbeutel berührten Hautstellen, sondern, wie wir gleich noch sehen werden, auch in den benachbarten Bezirken (vergl. Versuche 28 und 29).

Diese Fernwirkung des Localbades und des Eisbeutels lehrt uns aber, dass die Zunahme der Wärmestrahlung an den vom Wasser oder Eisbeutel berührten Stellen keineswegs als Folge eines specifischen Reizes durch das Wasser oder den Eisbeutel dieser Hautstellen aufzufassen sei, sondern dass sie gerade so, wie beim Luftbade, d. h. bei der freien Abkühlung des Körpers eine später noch näher zu erörternde, mit den in der Oberfläche des menschlichen Körpers dabei einhergehenden physikalischen und chemischen Prozessen in engem Zusammenhange stehende Erscheinung ist. Als einen weiteren Beleg für das eben Gesagte führe ich hier noch eine Beobachtung der Wärmestrahlung und Körpertemperatur vor und nach dem Gebrauche von Antipyrin beim gesunden Menschen an.

21. J. G., 41 Jahre, gesund; $T = 10^{\circ}$. Wirkung von 4 g Antipyrin auf die Körpertemperatur und Wärmestrahlung.

	S vorher	S 50 Min. nachher
Wange rechts	54	120
- links	57	139
Schläfe rechts	71	148
- links	70	139
Mamilla rechts	83	125
- links	84	141
Triceps rechts	67	127
- links	74	124
Biceps rechts	93	165
- links	97	178
Unterarm dorsal rechts .	72	120
- - links	79	119
- volar rechts . . .	76	138
- - links	72	132

	S vorher	S 50 Min. nachher
Oberschenkel vorn rechts	85	132
- - - links	85	131
		vorher 50 Min. nachher
Temperatur in der Achselhöhle	37,6°	37,1°.

Also auch hier dieselbe Erscheinung: bedeutende Zunahme der Wärmestrahlung bei gleichzeitiger Temperaturabnahme des Körpers. Dasselbe ist auch der Fall beim Gebraüche anderer Antipyretica, wie wir es namentlich oft an fiebernden Personen vielfach beobachteten.

Indessen scheint es, dass die Zunahme der Wärmestrahlung nur bis zu einem gewissen Grade der Abkühlung stattfindet. Wird der Körper unter diesen Grad abgekühlt, dann ändert sich das Verhältniss wie aus folgenden Versuchen mit Localbädern von niedrigeren Temperaturen als die vorigen zu ersehen ist.

22. Derselbe Mann wie Versuch 16 und 18. $T = 15^{\circ}$. Es wird der rechte Arm 10 Minuten lang in einem Bade von 15° gehalten und die Hauttemperatur und Strahlung vor und nach dem Bade verglichen.

	Vorher	Nachher	15 Min. später
	S	S	S
Triceps	52	40	57
Biceps	57	48	62
Unterarm dorsal . .	62	47	66
- - - - - volar . .	57	56	72
Dorsum manus . . .	51	46	58
Vola manus	56	42	50
Hauttemperatur: vorher		nachher	15 Min. später
Biceps	$31,6^{\circ}$	$25,4^{\circ}$	$26,3^{\circ}$
Unterarm volar . . .	$31,4^{\circ}$	$27,0^{\circ}$	$27,6^{\circ}$

23. Derselbe Mann wie Versuch 19. Derselbe Versuch wie der vorige. Armbad von 15° , Dauer 10 Minuten. $T = 15^{\circ}$.

	Vorher	Nach dem Bade	15 Min. später
	S	S	S
Triceps	50	32	50
Biceps	59	48	64,5
Unterarm dorsal . .	55	45	66
- - - - - volar . .	60	46	70
Dorsum manus . . .	42	34	43
Vola manus	47	35	49,5
Hauttemperatur: vorher		nachher	15 Min. später
Triceps	$29,6^{\circ}$	$25,1^{\circ}$	$25,6^{\circ}$
Unterarm dorsal . . .	$29,2^{\circ}$	25°	$25,2^{\circ}$
			4*

24. Derselbe Mann; derselbe Versuch mit einem Armbad von 10° .
 $T = 13^{\circ}$.

	Vorher	Nach dem Bade	30 Min. später	1 Stunde später
	S	S	S	S
Triceps	50	46	52	55
Biceps	72	40	61	68
Unterarm dorsal .	55	30	58	70
- volar .	62	42	65	71
Dorsum manus . .	58	24	50	51
Vola manus . . .	62	30	52	57
Hauttemperatur: vorher		nachher	30 Min. später	1 Stunde später
Biceps	$29,6^{\circ}$	$25,8^{\circ}$	$27,5^{\circ}$	$26,4^{\circ}$
Unterarm dorsal .	$28,6^{\circ}$	$23,2^{\circ}$	$24,8^{\circ}$	$24,4^{\circ}$

25. J. W., 23jähriger Mann. Derselbe Versuch wie der vorige. $T = 13^{\circ}$.
Armbad von 10° , Dauer 10 Minuten.

	Vor dem Bade	Nachher	30 Min. später	1 Stunde später
	S	S	S	S
Triceps	57	25	49	54
Biceps	55	40	65	66
Unterarm dorsal .	54	31	50	69
- volar .	50	41	64	70
Dorsum manus . .	36	24	40	38
Vola manus . . .	32	22	31	37
Hauttemperatur: vorher		nachher	30 Min. später	1 Stunde später
Biceps	$28,7^{\circ}$	$24,3^{\circ}$	$25,4^{\circ}$	$26,4^{\circ}$
Unterarm dorsal .	$28,0^{\circ}$	$22,9^{\circ}$	$24,4^{\circ}$	$23,4^{\circ}$

In sämmtlichen dieser letzten 4 Versuche sehen wir zunächst eine gleichzeitige Abnahme der Temperatur der Haut und der Strahlung. Erst nach einiger Zeit beginnt die Strahlung, meist parallel mit der Hauttemperatur, oft aber auch unabhängig von derselben (Versuche 24 und 25), allmählich zu steigen. Wenn wir nun die Temperaturdifferenzen der Haut vor und nach dem Bade in den Versuchen 16—20, wo wir eine sofortige Zunahme der Wärmestrahlung sahen, mit denen der Versuche 22—25 vergleichen, wo wir zuerst eine Abnahme der Wärmestrahlung bemerkten, so finden wir, dass während in der ersten Versuchsreihe die grösste Temperaturdifferenz (Versuch 20) nur $2,7^{\circ}$ beträgt, in der letzten Versuchsreihe $3,8^{\circ}$ die kleinste Temperaturniedrigung der Haut nach dem Bade (Versuch 24) ist. Das spricht nun in der That dafür, dass, wenn die Haut sehr stark abgekühlt wird, auch die Wärmestrahlung derselben abnimmt, d. h. es kommt dann in der That die allgemeine physikalische Regel der freien Abkühlung eines

Körpers zu ihrer Geltung. Ich werde später auch diese Erscheinung zu erklären versuchen.

Die Grenze einer solchen Abkühlung, bei welcher auch die Wärmestrahlung abnimmt, wird schon zum Theil durch Bäder von 20° erreicht, wie folgende Beispiele zeigen:

26. W. S., 15 Jahre alt. Armbad von 20°, Dauer 10 Minuten. T = 15°. Hauttemperatur und Strahlung vor und nach dem Bade verglichen.

	Vorher	Nachher	15 Min. später
	S	S	S
Triceps	56	56	81
Biceps	74	61,5	93
Unterarm dorsal .	69	60	78,5
- volar .	67	64	85
Dorsum manus .	58	63	68
Vola manus . .	59	64	59
Hauttemperatur: vorher		nachher	15 Min. später
Biceps	31,2°	27,8°	29°
Unterarm dorsal .	29,0°	25,5°	26,2°

Die Temperaturdifferenzen der untersuchten Hautstellen betragen hier nur 3,4°—3,5° und das ist eben ungefähr der Mittelwerth zwischen dem Maximum der Temperaturdifferenzen in den Versuchen 16—20 (2,7°), bei welchen die Wärmestrahlung überall zunimmt und dem Minimum der Temperaturdifferenzen in den Versuchen 22—25 (3,8°), in denen die Strahlung gleich der Temperatur des Körpers überall abnimmt.

Im folgenden Beispiele sehen wir nur an der äusseren Fläche des Oberarmes (Triceps), wo die Grenze der Temperaterniedrigung überschritten ist (3,3°), eine Abnahme der Strahlung:

27. P. M., derselbe Mann, wie im Versuch 18. Derselbe Versuch, wie voriger. Armbad von 20°, T = 15°.

	Vorher	Nachher	15 Min. später
	S	S	S
Triceps	69	56	82
Biceps	66	72	95
Unterarm dorsal .	65	67	81
- volar .	62	62	86
Dorsum manus .	52	54	60
Vola manus . .	45	49	63
Hauttemperatur: vorher		nachher	15 Min. später
Triceps	30,7°	27,4°	27,8°
Unterarm dorsal .	30,8°	28,2°	28,5°

Die Temperaturdifferenz am Unterarm dorsal beträgt also nur $2,6^{\circ}$, weshalb auch die Zunahme der Wärmestrahlung an den meisten Stellen, die jedoch sehr klein ist. —

Auch Versuche mit einem Eisbeutel bestätigen diese That-sache. Lässt man nehmlich denselben nicht zu lange auf einer Körperstelle einwirken, dann steigt die Wärmestrahlung derselben, bei längerer Dauer der Abkühlung aber sinkt die Wärmestrahlung der betreffenden Stelle, während die der benachbarten Partien steigt, wie aus folgenden Beispielen er-sichtlich.

28. T. F., 21jähriger Mann. $T = 14^{\circ}$. Eisblase auf den rechten Unterarm dorsal 15 Minuten gehalten und die vorherige und nachhere Wärmestrahlung des ganzen Armes gemessen.

	Vorher	Nachher
	S	S
Biceps	48	51
Triceps	38	45
Unterarm dorsal .	36,5	52
- volar . .	31,5	60.

Hauttemperatur:
Unterarm dorsal . . $30,8^{\circ}$ $29,3^{\circ}$.

29. F. S., 22jähriger Mann. Eisblase auf den linken Unterarm dorsal 30 Minuten lang gehalten und die Wärmestrahlung vorher und nachher des ganzen Armes gemessen. $T = 15^{\circ}$.

	Vorher	Nachher
	S	S
Biceps	46	80
Triceps	41	75
Unterarm dorsal .	47	39
- volar . .	42,5	74.

Hauttemperatur:
Unterarm dorsal . . $29,9^{\circ}$ $25,7^{\circ}$.

Nicht minder interessant ist das Verhältniss der Wärme-strahlung zur Hauttemperatur, wenn man letztere kün-stlich erhöht. Allerdings tritt sofort, wie zu erwarten war, eine Zunahme der Wärmestrahlung ein, die aber auch bestehen bleibt, nachdem die Hauttemperatur wiederum gesunken ist. Als Beleg dafür folgendes Beispiel, in welchem die Hauttemperatur des rechten Armes durch ein Localbad von 36° R. um ca. 1° C. erhöht wurde,

30. Derselbe Mann, wie im vorigen Versuch. $T = 13^\circ$. Armband von 36° , Dauer 10 Minuten. Vergleich der Hauttemperatur und Strahlung vor und nach dem Bade. Vorher Nachher 15 Min. später

	vorher	nachher	15 Min. später
	S	S	S
Triceps	65	114	106
Biceps	74	104	102
Unterarm dorsal .	67	105	106
- volar .	71	111	114
Dorsum manus .	68	114	97
Volar manus . .	75	94	101
Hauttemperatur: vorher		nachher	15 Min. später
Biceps	31,6°	32,4°	30,6°
Unterarm dorsal	31,0°	32,0°	30,2°

Schliesslich will ich hier noch ein Beispiel anführen, in welchem durch starke künstliche Abkühlung des einen Armes die Temperatur und die Strahlung der Haut der betreffenden Stellen abnehmen, während sie am anderen Arm zunahmen. Eine Erklärung aller dieser merkwürdigen Erscheinungen werde ich am Schlusse zu geben versuchen.

31. Derselbe Mann, wie im Versuch 28. Es wird nur der linke Unterarm entblösst und ganz von Eisblasen umgeben 30 Minuten lang abgekühlt und Hauttemperatur und Wärmestrahlung an beiden Armen vorher und nachher gemessen. $T = 15^{\circ}$.

Rechter Arm	Vorher	Nachher	Linker Arm	Vorher	Nachher
	S	S		S	S
Biceps	42,5	99	Biceps	44	81
Triceps	34	65	Triceps	39	65
Unterarm volar . .	43	76	Unterarm volar . .	36	32
- dorsal . .	32	74	- dorsal . .	39	37
Hauttemperatur: vorher	nachher		Hauttemperatur: vorher	nachher	
Unterarm volar . .	30,8°	31,5°.	Unterarm volar . .	30,7°	27,6°.

VI. Vergleich der Strahlungsintensität bei einer und derselben Person bei gleicher und verschiedener Umgebungstemperatur.

Nachdem wir nun im Vorausgehenden den Gang der Wärmestrahlung bei dauernder Entblössung des menschlichen Körpers kennen gelernt haben, wollen wir jetzt die Intensität der Strahlung, d. h. die Anfangsgrösse derselben gleich nach der Entblössung bei verschiedenen Zimmertemperaturen betrachten. Ich will zuerst einige Beispiele anführen, in welchen dieselbe Person bei gleicher Körper- und Zimmer-

temperatur an verschiedenen Tagen auf Wärmestrahlung untersucht wurde. Wie wir gleich sehen werden, ist dabei die Anfangsgrösse der Strahlung keineswegs dieselbe, wie man es vom gewöhnlichen physikalischen Standpunkte aus erwarten sollte; es scheint vielmehr, dass an gewissen Tagen die Wärmestrahlung ohne deutlich sichtbaren Grund bedeutend grösser wird. Allerdings waren es meist Tage von abnormen klimatischen Verhältnissen, an welchen die Wärmestrahlung gross ausfiel, bald ist es ein abnorm tiefer, bald ein äusserst hoher Barometerstand, bald grosse „relative Feuchtigkeit“ der Luft, bald Regen und Schnee oder gar Gewitter, — doch sind unsere Beobachtungen in dieser Beziehung noch zu wenig zahlreich, um ein endgültiges Urtheil über den Einfluss der Witterung auf die Wärmestrahlung des menschlichen Körpers zu erlauben.

In den folgenden Beispielen bedeutet T wiederum Zimmer-temperatur, B Barometerstand und RF relative Feuchtigkeit (nach den Angaben der hiesigen Meteorologischen Central-Station). Im geheizten Zimmer ist RF = 50°—60° fast constant.

32. J., 20jähriger Mann. Vergleich der Wärmestrahlung an 2 aufeinander folgenden Tagen bei gleicher Körper- und Zimmertemperatur.

	6. Nov. T = 10°.	7. Nov. T = 10°.
	B = 728,4.	B = 726,7.
	RF = 100 pCt. Nebel.	RF = 100 pCt. Nebel.
	S	S
Wange rechts . . .	72,5	65
- links . . .	73	63
Musc. deltoid. rechts	86	71
- - links	89	76
Triceps rechts . . .	52	86
- links . . .	59	54.

33. Derselbe Mann. Derselbe Versuch.

	8. Nov. T = 9°.	10. Nov. T = 9°.
	B = 731,6.	B = 731,6.
	Regen. RF = 87 pCt.	Regen. RF = 98 pCt.
	S	S
Wange rechts . . .	56	111
- links . . .	59	115
Mamilla rechts . . .	119	148
- links . . .	110	169
Triceps rechts . . .	81	104
- links . . .	99	107
Biceps rechts . . .	149	165
- links . . .	111	126.

34. X., 33jähriger Mann. Derselbe Versuch.

15. Nov. T = 7°. 16. Nov. T = 7°.
 B = 730,0. B = 725,3.
 RF = 87 pCt. Trüb. RF = 90 pCt. Trüb.

	S	S
Wange rechts	88,5	61,5
- links	109	60
Mamilla rechts	86	92
- links	124	71
Fossa infraspinata rechts	77	86
- - - links	70	85
Triceps rechts	59,5	58
- links	60	54
Biceps rechts	85	75
- links	89	58
Unterarm dorsal rechts	44	42
- - - links	50	45.

35. 25jähriges Mädchen. Derselbe Versuch.

24. Nov. T = 13°. 25. Nov. T = 13°.
 B = 725. B = 724,7.
 RF = 95 pCt. Schnee. RF = 92 pCt. Schnee.

	S	S
Wange rechts	60	46
- links	68	55
Musc. deltoideus rechts	86	71
- - - links	68	56
Triceps rechts	60	35
- links	64	31
Biceps rechts	67	53
- links	66	49
Unterarm dorsal rechts	65,5	46,5
- - - links	63	50
- - - volar rechts	79	56
- - - links	76	55
Vola manus rechts	46	48
- - - links	62	46.

36. P. M., 26 Jahre. Vergleich der Strahlung der Oberfläche des rechten Armes an 3 verschiedenen Tagen bei gleicher Umgebungstemperatur. T = 15°.

13. Dec. T = 15°. 15. Dec. T = 15°. 18. Dec. T = 15°.
 RF = 83 pCt. RF = 73 pCt. RF = 90 pCt.
 B = 731,8. Hell. B = 722,6. Bewölkt. B = 725,6. Hell.

	S	S	S
Triceps	62	69	52
Biceps	95	66	57
Unterarm dorsal	95	65	62
- - - volar	96	62	57
Vola manus	96	46	56
Dorsum manus	86	52	51,

37. Derselbe Mann. Derselbe Versuch an 2 Tagen bei $T = 13^{\circ}$.

	19. Dec.	22. Dec.
RF = 85 pCt.	RF = 92 pCt.	
$T = 13^{\circ}$.	$T = 13^{\circ}$.	
B = 716,4.	B = 712,7.	
Regen und Schnee.	Schnee.	
	S	S
Triceps	98	65
Biceps	111	74
Unterarm dorsal . .	109	67
- volar . .	109	70
Vola manus . . .	90	75
Dorsum manus . .	95	68.

38. S. W., 15 Jahre. Vergleich der Strahlung der Oberfläche des rechten Armes an 3 verschiedenen Tagen bei gleicher Umgebungstemperatur = 15° .

	13. Dec.	15. Dec.	18. Dec.
	$T = 15^{\circ}$.	$T = 15^{\circ}$.	$T = 15^{\circ}$.
	B = 731,8.	B = 722,6.	B = 725,6.
	RF = 83 pCt.	RF = 73 pCt.	RF = 90 pCt.
	Hell.	Bewölkt.	Hell.
	S	S	S
Triceps	62	56	50
Biceps	97	74	59
Unterarm dorsal . .	75	69	55
- volar . .	81	67	60
Vola manus . . .	79	58	47
Dorsum manus . .	69	59	42.

39. Dieselbe Person. Dieselbe Beobachtung an 3 verschiedenen Tagen bei Umgebungstemperatur = 13° .

	19. Dec.	22. Dec.	24. Dec.
	$T = 13^{\circ}$.	$T = 13^{\circ}$.	$T = 13^{\circ}$.
	B = 716,4.	B = 712,7.	B = 715,8.
	RF = 85 pCt.	RF = 92 pCt.	RF = 100 pCt.
	Regen und Schnee.	Schnee.	Schnee.
	S	S	S
Triceps	98	60	50
Biceps	122	85	72
Unterarm dorsal . .	105	87	55
- volar . .	102	62	62
Vola manus . . .	95	70	62
Dorsum manus . .	100,5	60	58.

Bei allen diesen Versuchspersonen war die Körpertemperatur normal. Die Beobachtungen sind fast immer genau zur selben Tageszeit (ungefähr 11 Uhr Vorm.) gemacht worden. Trotz alledem bemerken wir erhebliche Schwankungen der Strahlungsintensität bei einer und derselben Person an verschiedenen Tagen bei gleicher Zimmertemperatur.

Besonders interessant ist es, dass an gewissen Tagen die Strahlung, wie es scheint, bei allen Personen grösser ist. So z. B. am 13. December (Versuche 36 und 38) und 19. December (Versuche 37 und 39). Obwohl die relative Feuchtigkeit an den beiden Tagen ziemlich gleich war (83 pCt. bis 85 pCt.), so war das eine Mal der Barometerstand sehr hoch¹⁾ (731,8) und der Himmel hell, während das andere Mal der Barometerstand sehr tief (716,4) und Regen und Schnee war. Aus der Beobachtung 33 sehen wir jedoch bei ganz gleichem Barometerstand und Wetter aber bei verschiedenem Feuchtigkeitsgrade am 8. und 10. November eine starke Strahlung am letzten Tage. Doch lehrt uns Beobachtung 37, dass auch unter ganz gleichen meteorologischen Verhältnissen die Wärmestrahlung einer und derselben Person an einem Tage (24. November) grösser sein kann als an einem anderen (25. November).

Dagegen zeigt uns ein Vergleich der Beobachtung 36 mit 38 und 37 mit 39, dass an je gleichen Tagen unter gleichen Verhältnissen die Anfangsgrösse der Wärmestrahlung bei verschiedenen Personen eine ziemlich gleiche ist. Doch ist es keineswegs stets der Fall, wie wir uns aus anderen Beobachtungen oft überzeugen konnten.

Bemerkenswerth ist es, dass auch die Intensität der Wärmestrahlung des Gesichtes, das sonst als ein Körpertheil, welcher beständig entblösst ist, an einem und demselben Tage bei angekleideten Personen, wie wir im Capitel IV gesehen haben, eine ziemlich constante Strahlung zeigt, an verschiedenen Tagen aber entsprechend der Wärmestrahlung des ganzen Körpers sich ändert (Beobachtung 32—35). Wie wir am Schlusse dieser Abhandlung sehen werden, lassen sich auch diese auffallenden Erscheinungen nach den allgemeinen Gesetzen der Wärmestrahlung der menschlichen Haut recht gut erklären.

Was nun das Verhalten der Wärmestrahlung bei einer und derselben Person bei verschiedenen Temperaturen der Umgebung betrifft, so kann es uns nicht mehr wundern, nachdem wir im Vorausgehenden die bedeutenden Schwankungen der Wärmestrahlung des menschlichen Körpers auch bei gleichen

¹⁾ Der normale Barometerstand für Zürich ist 722,

Temperaturen kennen gelernt haben, wenn wir hier ebenfalls den scheinbar schreiendsten Widersprüchen mit den Eingangs angeführten Erkaltungsgesetzen von leblosen physikalischen Körpern begegnen. Wie aus den folgenden Beispielen leicht zu sehen ist, besteht gar kein bestimmtes Verhältniss zwischen der Grösse der Wärmestrahlung und der Umgebungstemperatur, ja! oft ist die Wärmestrahlung bei niedriger Zimmertemperatur kleiner, als bei höherer und umgekehrt. Doch haben diese Abweichungen auch ihre Grenzen, und die allgemeine Regel, dass die Grösse der Wärmestrahlung annähernd proportional der Temperaturdifferenz zwischen dem strahlenden Körper und der Umgebung ist, gelangt auch hier vielfach zur Geltung.

Vergleich der Wärmestrahlung derselben Person an 2 verschiedenen Tagen bei gleichen, normalen Körpertemperaturen und verschiedenen Umgebungstemperaturen.

40. 44jähriger kräftiger Mann. $T = 11^{\circ}$. $T = 15,5^{\circ}$.

	S	S
Mamilla rechts	69	50
- - links	72,5	45,5
Fossa iliaca rechts	85	65
- - - links	86	68
- infraspinata rechts	66	40
- - - - links	68	45
Triceps rechts	66	55
- - links	62	50
Biceps rechts	110	52
- - links	132	56
Unterarm Rücken rechts	60	41
- - - - links	69	40.

41. L., 34jähriger Mann. Dieselbe Beobachtung.

$T = 9^{\circ}$. $T = 13^{\circ}$.

	S	S
Wange rechts	80	41,5
- - links	84	44
Mamilla rechts	102	65
- - links	105	61
Fossa infraspinata rechts	122	64
- - - - links	103	58
Triceps rechts	86	45
- - links	85	41
Biceps rechts	102	55
- - - - links	112	54

T = 9°. T = 13°.

	S	S
Unterarm dorsal rechts . . .	100	47,5
- - - links . . .	96	50
- - - volar rechts . . .	101	46
- - - links . . .	86	45
Vola manus rechts . . .	79	43
- - - links . . .	81	49
Glutealgegend rechts . . .	89	45
- - - links . . .	91	41,5
Wade Mitte rechts . . .	81,5	42
- - - links . . .	81,5	42.

42. X., 33jähriger Mann. Dieselbe Beobachtung.

T = 7°. T = 13°.

	S	S
Wange rechts	61,5	56,5
- - - links	60	72
Mamilla rechts	92	86
- - - links	70	83,5
Halbmondförmiger Raum . . .	68	80
Lebergegend	97,5	97
Fossa iliaca rechts	95	76
- - - links	86	81,5
- - - infraspinata rechts . . .	86	69,5
- - - - links	85	79
Triceps rechts	58	74
- - - links	54	65
Biceps rechts	75	66
- - - links	58	71
Unterarm dorsal rechts . . .	42	66
- - - links	45	70
- - - volar rechts . . .	60	87
- - - - links	56	86
Vola manus rechts	61	54
- - - links	55	70,5
Dorsum manus rechts . . .	38	46,5
- - - links	55	54
Unterschenkel aussen rechts	73	85,5
- - - - links	71	82,5.

43. Frau S., 27 Jahre. Dieselbe Beobachtung.

T = 6°. T = 14°.

	S	S
Wange rechts	48	29
- - - links	41	29
M. pectoralis rechts	72	69
- - - - links	71	68

	T = 6°.	T = 14°.
	S	S
Fossa infraspinata rechts . . .	73	94
- - - links . . .	70,5	85
M. deltoideus rechts . . .	57	40
- - - links . . .	48	41
M. triceps rechts . . .	42,5	45
- - - links . . .	49	47,5
M. biceps rechts . . .	59	65
- - - links . . .	73	58
Unterarm dorsal rechts . . .	53	50
- - - links . . .	44	41
- - - volar rechts . . .	60	60
- - - links . . .	58	48
Volar manus rechts . . .	26	38
- - - links . . .	25	32
Dorsum manus rechts . . .	46	31
- - - links . . .	55	33
Wade Mitte rechts . . .	72	77,5
- - - links . . .	59	86.

Vergleich der Wärmestrahlung derselben Person an 3 verschiedenen Tagen bei verschiedener Temperatur der Umgebung.

44. G. S., 20jähriger Mann.

	T = 9°.	T = 12°.	T = 17°.
	S	S	S
Wange rechts . . .	105	76	70
- - - links . . .	91	99	77
Mamilla rechts . . .	152	114,5	81
- - - links . . .	140	107	100
Fossa infraspinata rechts .	106	120	116
- - - links .	125	114	72
Triceps rechts . . .	101	133	80
- - - links . . .	104,5	95	103,5
Biceps rechts . . .	102	144	87
- - - links . . .	121	103	114
Unterarm dorsal rechts .	85	87	61,5
- - - links .	84	84	46
- - - volar rechts .	99	105	60
- - - links .	84	91	60
Volar manus rechts . .	37	31,5	46,5
- - - links . .	39	45	40
Dorsum manus rechts .	52	45,5	52
- - - links .	39	51	42.

45. 25jähriges Mädchen. Dieselbe Beobachtung.

	T = 5°.	T = 13°.	T = 16°.
	S	S	S
Wange rechts . . .	53	46	40
- links . . .	64	55	44
M. pectoralis rechts . .	89	56	50
- - - links . .	85	65	55
Fossa infraspinata rechts	112	68	65
- - - links . .	96	66	61
M. deltoideus rechts . .	77	71	55
- - - links . .	65	56	57
M. triceps rechts . . .	75	35	44
- - - links . . .	56	31	48
M. biceps rechts . . .	91	53	41
- - - links . . .	66,5	49	44
Unterarm dorsal rechts .	71	46,5	42,5
- - - links . .	80	63	52
- - - volar rechts .	51	56	49
- - - links . .	64	55	43
Wade Mitte rechts . .	92	61	59
- - - links . . .	90	65	60.

Wir sehen also in der That aus diesen Beispielen, dass allerdings in den meisten Fällen bei niedriger Zimmertemperatur die Wärmestrahlung grösser ist, doch sind auch viele Abweichungen von dieser Regel, wie aus den Beobachtungen 11—13, besonders an den oberen Extremitäten zu sehen ist. Ich werde am Schlusse noch auf alle diese Erscheinungen zurückkommen und dieselben in Uebereinstimmung mit allen anderen von uns beobachteten Thatsachen zu erklären versuchen. —

VII. Vergleich der Wärmestrahlung an verschiedenen Körperstellen und Berechnung des absoluten Werthes der ausgestrahlten Wärmemenge in Wärmeeinheiten.

Wir wollen nun noch die Anfangsgrösse der Strahlungsintensität an verschiedenen Körperstellen derselben Person und bei gleicher Zimmertemperatur betrachten.

Wie aus den beiliegenden Beispielen (Tabelle I.—III.) ersichtlich, ist die Strahlungsintensität der Haut an den gewöhnlich bedeckten Körperstellen bedeutend grösser als diejenige des Gesichts und der Hände. Eine Ausnahme von dieser Regel bildet die Planta pedis, deren Strahlungsintensität am kleinsten

ist, was sich jedenfalls durch die ausserordentliche Verdickung der Haut an dieser Stelle leicht erklären lässt. An den verschiedenen Stellen des Rumpfes finden keine besonders grosse Differenzen der Strahlungsintensität statt; dagegen ist die Strahlungsintensität an den Beugeseiten der Extremitäten, besonders der oberen stets um ein Bedeutendes grösser, als die an den Streckseiten derselben.

Was die Strahlungsintensität der behaarten Kopfpartien betrifft, so ist dieselbe viel kleiner, besonders bei langem Haarwuchs, als diejenige der anderen Theile. An den kahlen Stellen ist die Strahlungsintensität ungefähr gleich derjenigen der benachbarten Gesichtspartien, wie folgende Beispiele zeigen:

Vergleich der Wärmestrahlung der behaarten und kahlen Kopfpartien.

46. J. G., 41jähriger Mann. T = 9°. S

Schläfe rechts	70
- links	69
Kahler Scheitel vorn	67
- - hinten	58
Hinterhaupt behaart	41
Schläfenbeinschuppe behaart rechts	45
- - - links	44.

47. E. C., 51jähriger Mann. T = 13°. S

Schläfe rechts	67
- links	72
Stirn	56
Kahler Scheitel vorn	56
- - hinten	59
Hinterhaupt (wenig behaart) rechts	53
- - - links	54.

48. J. B., 44jähriger Mann. T = 15°. S

Wange rechts	46
- links	44
Schläfe rechts	52
- links	46
Stirn vorn	52
Kahler Scheitel vorn	47
- - hinten	45
Hinterhaupt Mitte behaart	37
- - - rechts	35
- - - links	36.

Die Strahlungsintensität an symmetrischen Stellen ist meist ziemlich gleich, oft ist sie jedoch auf der einen oder anderen Seite etwas grösser. Auffallende Differenzen der Wärmestrahlung an symmetrischen Stellen begegnet man oft bei Kindern (Tab. III.).

Wenn wir die mittlere Strahlungsgrösse der gewöhnlich bedeckten Stellen jeder einzelnen Person betrachten, so sehen wir, dass die Strahlungsintensität der Frauen im Allgemeinen etwas kleiner ist als diejenige der Männer (Tab. I. u. II.). So z. B. beträgt die Wärmemenge, welche der 25jährige Mann (Tab. I No. 3) in 1 Secunde pro 1 qcm ausstrahlt, etwa 0,001 g-Calorien, während ein ebenfalls kräftiges 25jähriges Mädchen (Tab. II No. 3), trotzdem dass die Zimmertemperatur während der Beobachtung niedriger und somit die Temperaturdifferenz zwischen der Umgebung und des Körpers grösser war als im ersten Falle, nur 0,000602 g-Calorien im Mittel ausstrahlt. Dasselbe sehen wir auch an den anderen Beispielen, ja sogar bei Kindern (Tab. III.) zeigt sich die Strahlungsintensität der Haut bei Knaben grösser als bei Mädchen. Unter den Männern ist es ein alter Mann von 62 Jahren, welcher die kleinste Strahlungsintensität hatte (Tab. I. No. 4), während den zweitkleinsten Werth der Wärmestrahlung ein schwächlicher Typhusreconvalescent aufweist. Dagegen zeigen die jüngern kräftigen Männer die grösste Strahlungsintensität.

Wir bemerken also in Bezug auf Geschlecht, Alter und Constitution eine auffallende Uebereinstimmung der Wärmestrahlung mit dem Stoffumsatz: In allen Fällen, wo der Stoffumsatz gross ist, finden wir auch grosse Strahlung, und umgekehrt sehen wir die kleinsten Strahlungswerte überall da, wo auch der Stoffumsatz klein ist. Ich komme noch im nächsten Capitel auf diese interessante Thatsache zurück.

Die in den Tabellen angegebenen Mittelwerthe beziehen sich auf die für gewöhnlich bedeckten Körperstellen mit Ausnahme der Füsse. Wie aus Tabelle I. ersichtlich, ist die Zahl 100, oder wie im 3. Capitel gezeigt wurde, durch Multiplication mit 0,00001 in Calorien pro 1 qcm und 1 Secunde umgerechnet = 0,001 g-Calorien, als die mittlere Wärmemenge, welche ein gesunder kräftiger Mann bei einer mittleren

T a b e l l e I.

Vergleich der Strahlungsintensität an verschiedenen Körperstellen bei (gesunden) Männern.

	No. 1.	No. 2.	No. 3.	No. 4.	No. 5.	No. 6.	No. 7.	No. 8.
	T = 18°. A. K., 26 Jahre alt.	T = 16,5°. H. B., 20jähriger Mann.	T = 15°. J. S., 25jähriger Mann.	T = 11°. J. S., mägerer 62jähriger Mann.	T = 12°. L. M., 48jähriger 62jähriger Mann.	T = 9°. L., 34jähriger Mann.	T = 11°. Soldat, 25jährig.	T = 7°. X., Mann, Typhus, reconva- lescent.
Wange rechts	S	S	S	S	S	S	S	S
- links	83	85	70,5	49	50	80	66	61,5
Musc. pectoralis rechts	99	87.	77	47,5	56	84	74	60
- links	116	107	81,5	61,5	74	102	99	75
Namilla rechts	127	110	92,5	62,5	71	105	78	77
- links	148	129	76,5	76	80	106	104	92
Epigastrium	148	101	93	71,5	81	117,5	118	71
Halbmondförmiger Raum	125	102	82,5	61	61	101	82	62
Lebergegend	122	122	80,5	69	69	85	100	68
Mesogastrium	164	135	97,5	80	73	106	81	97,5
Hypogastrium	151	96	77	61	84	120	117	61
Fossa iliacæ rechts	146	102	94	70	65	103	86	82
- links	143	128	112	71	67,5	115	85	94
infraspinata rechts	162,5	162	122,5	71,5	84	128	89	86
- links	151	115	131	69	109	112	98	86
Regio interscapularis oben rechts	157	119	119	66	86	103	107	85
- links	138	105	97	62	36	118	88	85
- Mitte rechts	138	102	95	64	101	109	92	94
- links	146	110	103	77	92	92	79	84
infrascapularis rechts	139	116	92	83	102	94	93	82
-	150	129	131	70,5	86	85	80	70

Musc. deltoideus rechts	links	132	97	79	79,5	90	90
-	links	101	141	106,5	59	103	64
-	triceps rechts	104	149	124	71	93	62
-	links	119,5	135	96	63	86	58
-	biceps rechts	121,5	136,5	96	74	65	54
-	links	142	161	146	78,5	74	74
Unterarm Rücken rechts	links	187	159	167	92	80	68
-	Vorderseite rechts	112	131,5	96	48	53	42
-	links	107	129	100,5	56	52	45
-	links	127	124	126	59	66	60
Volarseite rechts	links	188	134	129	54	69	61
Volar manus rechts	links	82	73	86,5	33	76	56
-	links	77	83	81	39	79	41
Dorsum manus rechts	links	78	87	84	41	61	61
Gesäßgegend rechts	links	125	77	78	29	70	46
Oberschenkel hinten Mitte rechts	links	123	87	70	69	84	54
Oberschenkel hinten Mitte links	links	135	99	99	66	85	58
Wade Mitte rechts	links	131	94	116	67,5	101	62
-	vorn Mitte rechts	130	101	110	62	84	58
-	links	125	112	106	62	87,5	64
Unterschenkel aussen rechts	links	127	91	91	64	80	73
Dorsum pedis rechts	links	133	94	97	61	81	87
* Planta pedis rechts	links	138	98	86	62	86	79
Unterschenkel aussen rechts	links	145	109	97	60	83	60
Dorsum pedis rechts	links	150	103	117	64	91	81
* Planta pedis rechts	links	148	107	115	63	86	71
<hr/>							
Arithmetisches Mittelwerte:		140	11,9	100	69,6	80,5	87,5
In Calorien pro 1 qcm und 1 Secunde:		0,00140	0,00119	0,001	0,000696	0,000605	0,000875
						0,001065	0,000718

T a b e l l e II.

Vergleich der Strahlungsintensität an verschiedenen Körperstellen bei (gesunden) Frauen.

T a b e l l e III.

Vergleich der Strahlungsintensität an verschiedenen Körperstellen bei gesunden Kindern.

	No. 1.	No. 2.	No. 3.		No. 1.	No. 2.	No. 3.
Gegend.	Frau S., 37 Jahre. T = 14°.	Fr. M., 25 Jahre, fett. T = 13°.	Ros. K., 17 Jahre. T = 12°.	Gegend.	A. K., 12-jähriger Knabe, T = 15°.	A. K., 8-jähriger Knabe, T = 19°.	11-jähriges Mädchen. T = 16°.
	S	S	S		S	S	S
Wange rechts	29	46	58	Wange rechts	-	77	86
- links	29	54	41	- links	-	77	91
Musc. pectoralis rechts	69	56	65	Musc. pectoralis rechts	-	110	101,5
- links	68	64	65,5	- links	-	134	154,5
Mamilla rechts	77	50	62	Mamilla rechts	-	79	118
- links	74	51	66	- links	-	127	136,5
Epigastrium	82,5	60	—	Epigastrium	-	96	139
Mesogastrium	83	56	—	Habenondörfliger Raum	-	134	130
Hypogastrium	93	59	—	Lebergegend	-	68	129
Fossa iliaca rechts	100	56	—	Mesogastrium	-	100	118
- links	86	61	—	Hypogastrium	-	169	132
- infrapinata rechts	94	68	68	Fossa iliaca rechts	-	132	83
- links	86	66	74	- links	-	155	150
Regio interscapul. oben rechts	95	74	—	- infraspinata rechts	-	155	149
-	97	77	—	- links	-	—	126
-	95,5	73	63	Regio interscapul. Mitte rechts	-	153	78
-	97	71	66	- links	-	157	77
- infrascapul. rechts	91	71,5	57,5	- infrascapul. rechts	113	—	84
-	65	64	—	- links	118	—	74
	96	-	-	- infrascapul. rechts	119	135	70
				- links	96	134	73

Nierengegend rechts	94	61,5	6,5	Nierengegend rechts	·	·	84
- links.	91	60	66	- links.	·	·	155
Musc. deltoid. rechts	40	71	59	Musc. biceps rechts	·	·	103
- links	41	56	60	- links	·	·	187
- triceps rechts	45	35	73	Unterarm Rücken rechts	·	·	61
- links.	47,5	31	70,5	- links	·	·	87
biceps rechts	64	53	77	volar rechts	·	·	100
- links	58	49	68	- links	·	·	90
Unterarm Rücken rechts	49	46,5	60	Volar manus rechts	·	·	113
- links	41	63	55,5	- links	·	·	51
Volarseite rechts	59	56	63	Dorsum manus rechts	·	·	59
- links	48	55	59	- links	·	·	79
Volar manus rechts	38	48	43,5	Gesässgegend rechts	·	·	53
- links	32	46	37	- links	·	·	36
Dorsum manus rechts	31	37	44	Oberschenkel hinten Mitte rechts	·	·	39
- links	33	36	42,5	- links	·	·	44
Gesässgegend rechts	83	56	—	vorn Mitte rechts	·	·	—
- links	87	64	—	- links	·	·	39,5
Oberschenkel hinten Mitte rechts	103	44	—	Wade Mitte rechts	·	·	71
- links	101	54	—	- links	·	·	88
vorn Mitte rechts	79	75	—	Unterschenkel aussen rechts	·	·	151
- links	88,5	71	—	- links	·	·	107
Wade Mitte rechts	77,5	61	—	Dorsum ped. rechts	·	·	65
- links	86	64	—	- links	·	·	75
Unterschenkel aussen rechts	81	67	71	Planta ped. rechts	·	·	81
- links	99	68	80	- links	·	·	—
Dorsum ped. rechts	30	50	—	Arithmetischer Mittelwerth:	99,8	130,9	74
- links	49	43	45	In Calorien pro 1 qcm u. 1 Sec.:	0,000998	0,001309	0,00074
Planta ped. rechts	36	47	56,5				
Arithmetischer Mittelwerth:		70,5	60,2		66		
In Calorien pro 1 qcm u. 1 Sec.:		0,990705	0,000602		0,00066		

Zimmertemperatur in 1 Secunde von 1 qcm Körperoberfläche ausstrahlt, also 0,06 g-Calorien in 1 Minute, 3,6 g-Calorien in 1 Stunde und 86,40 g-Calorien in 24 Stunden. Will man nun die Wärmemenge berechnen, welche im menschlichen Körper ausstrahlt, so braucht man nur die eben angegebene Zahl mit der Flächengrösse des Körpers zu multipliciren. Leider besitzen wir keine übereinstimmende Angaben über die Grösse der Oberfläche des menschlichen Körpers. So hat z. B. Krause¹⁾ für die Oberfläche des menschlichen Körpers (ohne Gewichtsangabe) 15 Quadrat-Fuss paris. = 1,58280 qm als mittlere Grösse angenommen, während Abernethy²⁾ 18 $\frac{3}{4}$ Q.-F. engl. = 1,7419 qm, oder 16 $\frac{1}{2}$ Q.-F. paris. = 1,7411 qm als richtiges Maass für die Körperoberfläche angiebt. Valentin³⁾ berechnete die Oberfläche eines 82 kg schweren Körpers auf ca. 165000 qcm, wogegen Rubner⁴⁾ 287 qcm Körperoberfläche pro 1 kg Gewicht berechnet, was also für einen menschlichen Körper von 82 kg eine Oberfläche von 23534 qcm ergeben würde.

Meine zu diesem Zwecke ausgeführten Messungen der Körperoberfläche mittelst quadrirten sog. Millimeterpapieres ergaben schliesslich pro Kilo Körpergewicht ungefähr 250 qcm Oberfläche und somit für einen Körper von 82 kg etwa 20500 qcm Oberfläche. Setzen wir der Einfachheit halber die Oberfläche eines Körpers von 82 kg rund = 20000 qcm und multipliciren es mit der oben berechneten Grösse der von 1 qcm Haut ausgestrahlten Wärmemenge in 24 Stunden: 86,40 g-Calorien, — wobei wir auch für das Gesicht, Hände und Füsse 0,001 g-Calorien pro 1 qcm in der Secunde rechnen, als Ersatz für die vernachlässigten 500 qcm Oberfläche — so erhalten wir die vom ganzen Körper in 24 Stunden ausgestrahlte Wärmemenge = 1,728000 g-Calorien.

Diese Rechnung stimmt fast überein mit der von Helm-

¹⁾ Krause, Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. Bd. II. Artikel: Haut.

²⁾ Abernethy, ibid.

³⁾ Valentin, citirt von Winternitz in Wiener Medic. Jahrbücher. 1875. S. 12.

⁴⁾ Rubner, angegeben bei Hermann, Lehrbuch der Physiologie. 1886. S. 237,

holz¹⁾) für einen Körper von 82 kg berechneten gesammten Wärmeabgabe von 2,732000 g-Calorien in 24 Stunden, wobei er für Hautverdunstung, Leitung und Strahlung zusammen $77,5 \text{ pCt.} = 2,122300$ bei einer Lufttemperatur von 0° und $80,1 \text{ pCt.} = 2188332$ bei einer Lufttemperatur von 20° C. angiebt. Die Hautverdunstung berechnet aber Vierordt²⁾ gleich 384120 g-Calorien und so erhalten wir für Leitung und Strahlung 1738180 bis 1804212 g-Calorien je nach der Lufttemperatur, was mit der von mir berechneten ausgestrahlten Wärmemenge 1728000 bei mittlerer Zimmertemperatur recht gut übereinstimmt, da das Leitungsvermögen der (ruhigen) Luft in der That sehr klein ist (fast 20000mal kleiner als dasjenige des Kupfers³⁾).

¹⁾ Helmholtz, Encyclop. Wörterbuch der medic. Wissenschaft. XXXV.
Artikel: Wärme. 1846.

²⁾ Vierordt, Physiologie des Athmens. S. 226 ff.

³⁾ Vergl. Wüllner, Experimentalphysik. Bd. III. 1875. S. 309.

(Schluss folgt.)
