Tabelle XX. Gleichförmige Diffusion.

	Geöltes Papier S'	Gewöhl. Papier S''	$\frac{S'}{S''}$
$i = 0^\circ$, $\omega = 20^\circ$	16,1	31,3	0,51
" $\omega = 40^\circ$	11,4	21,2	0,54
" $\omega = 60^\circ$	6,9	13,3	0,52
$i = 30^\circ$, $\omega = -60^\circ$	6,0	10,7	0,56
" $\omega = -10^\circ$	13,0	25,0	0,52
" $\omega = 10^\circ$	15,6	27,8	0,56
" $\omega = 30^\circ$	18,1	29,0	0,62

Hiernach dürften wir zu dem Schlusse berechtigt sein, dass die Vertheilung der Diffusion wesentlich von der Reflexions- und Absorptionsfähigkeit der diffundirenden Substanz unabhängig und nur von dem Gesetze, nach dem die Reflexion vor sich geht, und von der Grösse, Form und Gruppierung der diffundirenden Theile abhängig ist. Die Grösse der Diffusion hängt dagegen von allen hier erwähnten Umständen ab.

VI. Ueber die Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Temperatur und das Stefan'sche Gesetz; von August Schleiermacher.

(Hierzu Taf. III Fig. 17–19.)

Hr. Stefan¹⁾ hat im Jahre 1879 das Gesetz aufgestellt, dass die von einem Körper ausgestrahlte Wärmemenge proportional sei der vierten Potenz seiner absoluten Temperatur. Die experimentelle Begründung dieses Gesetzes beruht ausser auf den älteren Arbeiten von Dulong und Petit²⁾, sowie von de la Provostaye und Desains³⁾ wesentlich auf den Versuchen von J. W. Draper.⁴⁾ Wie Hr. Stefan

1) Stefan, Wien. Ber. 79. (II.) p. 391. 1879.

2) Dulong u. Petit, Ann. de chim. et de phys. 7. p. 113 u. 225. 1817.

3) De la Provostaye u. Desains, Ann. de chim. et de phys. (3) 12. p. 129. 1844. 16. p. 337. 1846. 22. p. 358. 1848.

4) J. W. Draper, Phil. Mag. 30. p. 345. 1847.

selbst hervorhebt, sind die Temperaturmessungen Draper's nicht einwandfrei. Von Arbeiten, welche eine directe Prüfung des Stefan'schen Gesetzes auch bei höheren Temperaturen bezwecken, ist wohl nur diejenige des Hrn. Schneebeli¹⁾ hier zu erwähnen. Durch relative Messungen über die Wärmestrahlung der Wand eines Luftthermometers kommt Hr. Schneebeli zu dem Resultat, dass das Stefan'sche Gesetz den Beobachtungen innerhalb der Genauigkeitsgrenzen der Versuche genügt.

Die Arbeit des Hrn. Schneebeli erschien, als ich bereits mit der vorliegenden Untersuchung beschäftigt war; da dieselbe nach einer anderen Methode ausgeführt ist, hielt ich es für wünschenswerth, meine eigenen Versuche fortzusetzen, und erlaube mir, deren Ergebnisse im Folgenden mitzutheilen. Ehe ich hierzu übergehe, möchte ich Hrn. Prof. Braun meinen herzlichsten Dank für seine freundliche Unterstützung und vielfache Anregung auch an dieser Stelle aussprechen.

1. Die von mir benutzte Methode ist kurz die folgende:

In einem möglichst evacuirtten Glasgefäß ist ein Draht ausgespannt, durch welchen ein galvanischer Strom geleitet werden kann. Der Draht kommt, wenn der ihn durchfließende Strom constant ist, und wenn die Wand des Gefäßes auf constanter Temperatur erhalten wird, ebenfalls auf constante Temperatur. Es ist alsdann der Ueberschuss der von dem Draht pro Zeiteinheit ausgestrahlten Wärme über die von ihm absorbirte gleich derjenigen Wärmemenge, welche der Strom während der Zeiteinheit in dem Draht erzeugt. Diese Wärmemenge wird dargestellt durch das Product aus dem Quadrat der Stromstärke mit dem Widerstand des Drahtes und ergibt sich in absoluten Arbeitseinheiten, wenn Stromstärke und Widerstand in absolutem, electromagnetischen Maass (cm, g, sec) gemessen sind.

Die Temperatur des Drahtes, welche ausserdem für unseren Zweck ermittelt werden muss, kann aus dem Widerstand des Drahtes gefunden werden, wenn durch eine beson-

1) Schneebeli, Wied. Ann. 22. p. 430. 1884.

dere Versuchsreihe die Aenderung des Widerstandes mit der Temperatur bestimmt wird. Durch Benutzung von Porzellanluftthermometern liess sich die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur bis zu 1000° C. verfolgen.

Einen grossen Vortheil gewährt unsere Methode dadurch, dass sie gestattet, unter völlig stationären Verhältnissen zu beobachten.

2. Ich will nun auf die Beschreibung der Apparate, sowie der Versuchsanordnung näher eingehen.

Es wurde die Ausstrahlung gemessen an zwei verschiedenen Platindrähten I und II und an einem Platindraht III, welcher mit Kupferoxyd überzogen war. Die Drähte befanden sich in Apparaten aus Glas (I, II und III); Apparat III war auf der Innenfläche mit Russ bekleidet.¹⁾

Der Draht aa' , Fig. 17, dessen Ausstrahlung gemessen werden sollte, und den ich kurz als „Strahlungsdraht“ bezeichnen werde, befand sich in der Axe eines weiten Glasrohrs GG' . Das eine Ende des Drahtes ist an ein Stück Platindraht P von 0,7 mm Dicke, das andere Ende a' an eine Spiralfeder S aus Stahldraht und diese an ein zweites Stück Platindraht P' angelöthet. Innerhalb der Spiralfeder S befindet sich ein Stück dünnen Kupferdrahtes s , welches ebenfalls zur Spirale aufgerollt und einerseits mit dem Strahlungsdraht, andererseits mit dem Platinende P' verlöthet ist. Durch den Kupferdraht ist dem Strom bessere Leitung geboten, ohne die Bewegung der Spiralfeder S zu hindern.

Die beiden Platinenden P, P' sind eingeschmolzen in zwei Glasröhren g, g' , welche beiderseits an die weite Glasröhre GG' angesetzt sind. Die Länge von GG' ist ungefähr gleich der Länge des Strahlungsdrahtes aa' , und die Längen der Ansatzröhren g, g' sind so bemessen, dass die Spiralfeder S mässig ausgespannt ist, wenn die Platinenden P, P' eingeschmolzen sind. Die Feder erhält dann den

1) Einen gleichmässigen Ueberzug von Kupferoxyd auf dem Platindraht III erhielt ich, indem ich den Draht galvanisch verkupferte und das Kupfer durch Glühen an der Luft in Oxyd überführte. Um den Apparat III innen mit Russ zu überziehen, habe ich reinen Lampenruss mit Benzol angerieben und auf der Innenfläche des Apparats aufgetragen.

Strahlungsdraht auch bei starken Erwärmungen desselben gerade und gespannt.

Erwärmt sich der Strahlungsdraht durch den Strom, so ist seine Temperatur nicht auf der ganzen Länge die gleiche, sondern gegen seine Enden hin infolge der Wärmeableitung niedriger, als in dem mittleren Theil. Ein Urtheil über die Temperaturvertheilung längs des Drahtes erhält man, indem man denselben durch den Strom zum Glühen bringt und die Helligkeiten an verschiedenen Stellen vergleicht. Es zeigte sich so, dass die Helligkeit des glühenden Drahtes bis ungefähr 1,5 cm von jedem Ende ab gleichmässig war, und man darf daher die Temperatur längs der mittleren Strecke des Drahtes bis auf 2 cm von jedem Ende als gleichmässig annehmen. Es musste der Widerstand dieses mittleren Theiles gemessen werden, um daraus einerseits seine Temperatur, andererseits seine Ausstrahlung bestimmen zu können.

Zu dem Zweck waren an dem Strahlungsdraht je 3 cm von seinen Enden entfernt noch zwei Electroden e, e' aus 0,09 mm dickem Platindraht angebracht. Anfänglich waren die Electroden in der Weise hergestellt, dass die beiden feinen Platindrähte in ein leichtes und innerhalb des weiten Glasrohrs beweglich aufgehängtes Gestell aus Glasfäden eingeschmolzen waren und den Strahlungsdraht bei passender Neigung des Apparates berührten. Einfacher ist es jedoch, die Electroden an den Strahlungsdraht anzulöthen, indem man sie galvanisch vergoldet, um den Strahlungsdraht einmal herumschlingt und diesen zum Glühen bringt. Die letztere Anordnung ist bei dem Apparat III benutzt. Einen Unterschied der Helligkeit dieser Löthstellen beim Glühen des Drahtes gegenüber der Helligkeit der Drahtmitte habe ich nicht wahrnehmen können und schliesse daraus, dass durch die Wärmeableitung der Electroden an den Löthstellen ein merklicher Fehler nicht entsteht.

Die freien Enden der Electroden waren an etwas dickere Platindrähte gelöthet und letztere in zwei seitlich an das weite Rohr angesetzte Glasröhren eingeschmolzen. Zum Schutz der Platindrähte gegen das Abbrechen sind über sämtliche Einschmelzungen Glasröhren r angeschmolzen,

von welchen die beiden in der Axe des Rohrs GG' befindlichen parallel zu den beiden seitlich angesetzten Röhren umgebogen sind. Diese Glasröhren r wurden mit Quecksilber gefüllt und die Verbindungen durch in dasselbe eingesenkte, amalgamirte Kupferdrähte hergestellt.

An das weite Glasrohr GG' ist endlich noch ein Rohr p angeblasen, welches nach der Luftpumpe führt.

Die Dimensionen der drei Apparate finden sich p. 298 zusammengestellt.

Während der Strahlungsversuche ruhte der Apparat in einem Kasten aus Eisenblech von 4—5 l Inhalt. In demselben befand sich, um die Temperatur der Glashülle constant zu halten, Eiswasser, siedendes Wasser, oder schwer-siedendes Mineralöl, welches durch fünf untergesetzte Brenner auf einer Temperatur von ca. 200° erhalten wurde. In letzterem Falle diente ein Rührer zur Ausgleichung der Temperatur.

3. Zur Evacuierung des Apparates benutzte ich eine Quecksilberluftpumpe nach der von Hrn. Bessel-Hagen¹⁾ angegebenen Einrichtung. Die Pumpe stand mit dem Apparat durch eine Kundt'sche Glasfeder in Verbindung. Zwischen beiden befand sich ausserdem ein Gefäss mit Phosphorsäureanhydrid. Die Verbindungen waren durch Aneinanderschmelzen der betreffenden Glasröhren bewirkt, also mit Fett gedichtete Hähne und Schiffe ganz vermieden.

Das Auspumpen geschah in der Weise, das zum Schluss der Apparat 6—12 Stunden lang auf etwa 270° erhitzt wurde, bis sich kein Gas mehr von den Wänden desselben loslöste. Gleichzeitig brachte man den Strahlungsdraht durch einen hindurchgeleiteten Strom wiederholt zum Glühen, um auch von ihm möglichst alles Gas zu entfernen. Die Hagen'sche Pumpe gestattet bekanntlich, den Druck des Gases im Recipient zu messen; man kann daher, wenn schliesslich so weit ausgepumpt ist, dass eine Fortsetzung des Pumpens ohne Wirkung bleibt, eine obere Grenze für den Druck im Recipienten angeben. Hiernach ergibt sich, dass der Druck

1) Bessel-Hagen, Wied. Ann. 12. p. 425. 1881.

der Luft in den möglichst evacuirten Apparaten höchstens $0,000\,08\text{ mm} = \frac{1}{10}\text{ Mill. Atm.}$ betrug. Dies ist nur ein kleiner Bruchtheil von dem Druck, welchen der durch die Pumpe nicht zu entfernende, gesättigte Quecksilberdampf bei gewöhnlicher Temperatur besitzt. Es beträgt der Druck des gesättigten Quecksilberdampfes bei 20° nach Regnault $0,037\text{ mm}$, nach Hrn. Hertz¹⁾ $0,0013\text{ mm}$.

Es zeigte sich vortheilhaft, die Pumpe auch während der Strahlungsversuche mit dem Apparat in Verbindung zu lassen, um Spuren von Gas, die sich auch bei sorgfältigster Evacuierung gelegentlich noch ablösen, entfernen und so das Vacuum jederzeit auf dem oben bezeichneten Werth erhalten zu können.

4. Der Energieverlust des Drahtes infolge der Strahlung ist pro Zeiteinheit gegeben durch das Product aus dem Widerstand w des Drahtes mit dem Quadrat der Intensität I des ihn durchfliessenden Stromes. Sind w und I in absolutem, electromagnetischem Maass bestimmt, so stellt I^2w die dem Draht pro Secunde entzogene Wärmemenge in absoluten Arbeitseinheiten dar.

Die Versuchsanordnung für die Messung von Stromstärke und Widerstand ist aus Fig. 18 ersichtlich.

Eine Batterie E von 1—4 grossen Bunsen'schen Elementen lieferte die Ströme, deren Intensität ausser durch die Zahl der Elemente durch einen Rheostaten R passend verändert wurde. Die Drähte des letzteren sind so dick, dass sie sich durch die hier benutzten Ströme nicht merklich erwärmten. Bei gutem Zustand der Batterie waren auch starke Ströme während der kurzen Dauer eines einzelnen Versuches (1—2 Min.) vollständig constant.

Die Stromstärke I wurde bestimmt, indem man den Strom von den Enden eines in die Leitung aufgenommenen Widerstandes W aus dickem Neusilberdraht durch ein Galvanometer von bekanntem Widerstand g verzweigte. Die Ausschläge desselben sind nach bekannter Methode auf Proportionalität mit der Stromstärke zurückzuführen; es ist dann

1) Hertz, Wied. Ann. 17. p. 199. 1882.

die dem corrigirten Ausschlag S entsprechende Stromstärke $I = \varrho \cdot (g/W) \cdot S$, worin ϱ einen constanten Factor bedeutet. Um aus den Ausschlägen die Stromstärken in absolutem Maass zu erhalten, genügt es, die Stromstärke im Hauptstrom einmal in absolutem Maass zu bestimmen und den zugehörigen Anschlag zu beobachten. Zu dem Zweck wurde zeitweilig ein Silbervoltameter in die Leitung eingeschaltet. Man erhält nach den Messungen von Hrn. F. und W. Kohlrausch¹⁾ aus der pro Secunde ausgeschiedenen Silbermenge in Grammen durch Division mit 0,011 183 die Stromstärke in absolutem Maass (cm, g, sec.).

Die Widerstände w des Strahlungsdrahtes wurden ebenfalls durch Abzweigung bestimmt. Durch den mit den Enden des Galvanometers verbundenen Commutator C , eine Pohl'sche Wippe ohne Kreuzdrähte, konnte dasselbe auch in eine Leitung eingefügt werden, welche vermittelt der Electroden e, e' von dem Strahlungsdraht abzweigte und ausserdem den Widerstand r enthielt. Bei dieser Verbindung ergibt sich aus dem Ausschlag s des Galvanometers das Product $Iw = \varrho (g + r) \cdot s$, und mit Rücksicht auf den Ausschlag S für die Stromstärke, der Widerstand des Strahlungsdrahtes $w = (g + r)/g \cdot W \cdot s/S$. Die Widerstände sind in S.-E. gemessen; für die Reduction auf absolutes Maass wurde 1,06 S.-E. (= 1 Ohm) = 10^9 absoluten Widerstandseinheiten gesetzt.

Der in die Zweigleitung aufgenommene Widerstand r betrug zwischen 2000 und 7000 S.-E., war somit gross genug, dass Widerstandsänderungen der Electroden drähte durch Temperaturerhöhung vernachlässigt werden konnten. Um Thermostrome zu eliminiren, die vielleicht an den Electroden hätten auftreten können, wurde die Stromrichtung im Strahlungsdraht vermittelt des Commutators C' öfters umgekehrt. Uebrigens erwies sich diese Vorsichtsmaassregel als überflüssig.

Für die Temperaturbestimmung muss noch der Widerstand w_0 des Strahlungsdrahtes bei 0° bekannt sein. Die Widerstände w_0 der drei Drähte wurden, gleichfalls durch

1) F. u. W. Kohlrausch, Sitzungsber. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg. 1884.

Abzweigung, mit den Widerständen eines Rheostaten, der Zehntel S.-E. enthält, verglichen. Die Apparate lagen dabei in einem Bad von Eiswasser und waren, um die Erwärmung der Drähte durch den Strom zu vermeiden, mit Luft gefüllt.

Das Galvanometer, nach der von Hrn. Braun¹⁾ angegebenen Construction, hat einen fast aperiodisch gedämpften Glockenmagnet und zwei verschiebbare Rollen von je 230 S.-E. Widerstand. Durch Benutzung der beiden Rollen neben- oder hintereinander oder einer einzigen, sowie durch Verschieben liess sich die passende Empfindlichkeit herstellen. Für jede bestimmte Empfindlichkeit wurde das Galvanometer mittelst des Silbervoltameters geaicht. Um diese Aichung für mehrere, zeitlich voneinander getrennte Beobachtungsreihen benutzen zu können, wurde die durch Aenderung der Horizontalintensität des Erdmagnetismus bedingte Veränderung der Empfindlichkeit des Galvanometers auf Vorschlag des Hrn. Prof. Braun dadurch eliminirt, dass bei jeder einzelnen Beobachtungsreihe der Ausschlag für einen Strom von constanter Intensität abgelesen wurde. Diesen constanten Strom lieferte ein Element von L. Clark, welches durch das Galvanometer und einen Widerstand von 10 000—20 000 S.-E. geschlossen wurde.

Man benutzte nur die Ausschläge nach einer Seite und wählte die Empfindlichkeit so, dass die Ausschläge ungefähr zwischen 50 und 400 Scalentheilen betrugen. Da noch $\frac{1}{10}$ Scalentheil geschätzt werden konnte, so darf die Sicherheit der einzelnen Ablesung wohl auf $\frac{1}{2}$ Proc. angenommen werden. Die Aenderung des Widerstandes der Metalle bei Temperaturerhöhung um 1° beträgt ca. 0,3 Proc.; es würde sich also aus den beobachteten Ausschlägen die Temperatur der Drähte bis auf ca. 2° genau ableiten lassen.

Es bedarf kaum der Erwähnung, dass stets mehrere Ablesungen, abwechselnd für Stromstärke und Widerstand bei gleichzeitiger Controle der Ruhelage, gemacht wurden, sobald der Draht auf constante Temperatur (Widerstand) gelangt war.

5. Durch besondere Versuche musste die Aenderung des Widerstandes der Strahlungsdrähte mit der Temperatur

¹⁾ Braun, Centralztg. für Opt. u. Mech. 4. p. 133. 1883.

ermittelt werden. Zur Temperaturmessung benutzte ich Luftthermometer aus Porzellan, welche in einer grossen Muffel bis auf 1000° erhitzt werden konnten. Da sich ergab, dass Drähte, die von demselben Stück abgeschnitten waren, merkliche Differenzen in Bezug auf die Widerstandsänderung zeigen können, blieb nichts anderes übrig, als an denselben Drähten, welche zur Strahlungsbestimmung gedient hatten, auch die Aenderung des Widerstandes mit der Temperatur zu bestimmen. Die Drähte wurden daher, nachdem die Strahlungsversuche an ihnen beendet waren, aus den Apparaten herausgenommen und entweder direct auf das Luftthermometergefäss oder auf ein Thonrohr (Stück einer Thonzelle) aufgewunden, und letzteres auf das Luftthermometer geschoben.

Die Vergleichung der Widerstände bei verschiedenen Temperaturen geschah wieder durch Abzweigung. In den Kreis des Hauptstromes war ausser den Drähten ein constanter Widerstand aufgenommen und die Abzweigungen von den Enden der Strahlungsdrähte und den Enden des constanten Widerstandes abwechselnd mit den Enden eines Galvanometers verbunden. Die Ausschläge desselben sind den Widerständen proportional und können mittelst des Ausschlages für den constanten Widerstand auf gleiche Stromintensität bezogen werden. Die an die Enden der Strahlungsdrähte angelegten Abzweigungen bestanden aus dicken Platindrähten, welche an die Strahlungsdrähte angeschmolzen waren. Der Widerstand in der Galvanometerleitung war so gross, dass die Widerstandsänderungen dieser Zuleitungen durch Temperaturänderung vernachlässigt werden konnten. Der Einfluss von Thermoströmen wurde durch einen passend eingeschalteten Commutator eliminirt.

Zwischen den Ablesungen am Galvanometer wurde die Temperatur mittelst des Luftthermometers bestimmt. Bei langsamer Temperaturänderung entspricht das Mittel der beobachteten Ausschläge dem Mittel der Einstellungen am Luftthermometer.

Die Beobachtungen sind angestellt, während die Muffel sich abkühlte. Da diese in einem grossen, gemauerten Ofen

ruht, so erfolgt die Abkühlung sehr langsam und gleichmässig. Um speciell zu prüfen, ob die Drähte und das Luftthermometer während der Abkühlung der Muffel die gleiche Temperatur besitzen, habe ich bei hohen Temperaturen das Feuer auch während der Abkühlung noch schwach unterhalten und immer kurz vor einer Beobachtung neu aufgeschürt. Es steigt dann die Temperatur der Muffel wieder etwas und sinkt erst nach einiger Zeit von neuem. Die Beobachtungen bei steigender und bei sinkender Temperatur ergaben meist gut übereinstimmende Werthe. Daher glaube ich annehmen zu dürfen, dass selbst bei 1000° die Temperatur der Drähte nicht mehr als höchstens 10° von der vom Luftthermometer angegebenen Temperatur abweichen.

Zu diesen Bestimmungen wurden zwei verschiedene Luftthermometer aus Porzellan benutzt und mit jedem 2—3 Beobachtungsreihen ausgeführt. Das eine, aus Meissener Porzellan, hat einen Inhalt von 375 ccm; das andere, aus Berliner Porzellan, fasst 1200 ccm. Bei dem Meissener Thermometer wurde durch Einfüllen von Porzellanscherben in das von dem Thermometergefäss weiterführende Rohr von 5 mm Durchmesser das Verhältniss des Volumens der „Capillare“ zum Volumen des Gefässes auf einen genügend kleinen Werth gebracht. Bei dem Berliner Thermometer wurde dasselbe erreicht durch Einschieben eines hierzu passenden Porzellanstabes in das am Gefäss befindliche Porzellanrohr. In demjenigen Theil des Rohres, welcher sich in der Wand des Ofens befindet, herrscht eine unbestimmbare, von aussen nach innen zunehmende Temperatur. Die sich hieraus ergebende Unsicherheit in den Angaben des Thermometers kann jedoch bei einer Temperatur von 1000° in der Muffel höchstens 2° betragen.

Beide Thermometer wurden mit sorgfältig getrockneter Luft von ungefähr 280 mm Druck bei 0° gefüllt. Dieselben erwiesen sich auch bei 1000° und 500 mm Ueberdruck als luftdicht. — Die weiteren Bestandtheile des Luftthermometers hatten im allgemeinen die von v. Jolly angegebene Einrichtung.

Die Ergebnisse der Versuche wurden graphisch aufge-

tragen. Aus den Curven, welche den Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand darstellen, kann, da dieselben sich innerhalb je 100° mit genügender Annäherung durch gerade Linien ersetzen lassen, zu einem gegebenen Widerstand leicht die zugehörige Temperatur abgelesen werden.

6. Bei den Messungen der Ausstrahlung umfasst jede einzelne Beobachtungsreihe die Beobachtungen bei verschiedenen Temperaturen des Drahtes, während die Glaswand auf constanter Temperatur erhalten wurde. Innerhalb jeder Beobachtungsreihe ging man einmal von einer grösseren zu einer geringeren Empfindlichkeit des Galvanometers über, damit die Ausschläge eine brauchbare Grösse behielten. Es geschah dies, indem von den beiden zuerst eingeschalteten Rollen des Galvanometers die eine ausgeschaltet wurde; die Stellung der Rollen blieb jedoch ungeändert. Dazwischen erfolgte auch die Bestimmung der Empfindlichkeit durch das L. Clark-Element. Von Zeit zu Zeit wurde die Pumpe in Thätigkeit gesetzt, um zu prüfen, ob das Vacuum sich noch vollständig erhalten hatte. Bei kleineren Stromstärken wird der Widerstand — die Temperatur — des Drahtes erst 1—2 Min. nach Stromschluss constant, bei grösseren in sehr viel kürzerer Zeit.

Als Beispiel führe ich für eine Beobachtungsreihe die Mittelwerthe der beobachteten Ausschläge S und s , aus welchen Stromstärke und Widerstand abgeleitet werden, hier an.

Apparat in Eiswasser. Reihe Nr. 2.

Nr. d. Beob:	1	2	3	4	5	6
S (I):	82,2	112,7	178,1	44,9	82,6	135,4
s (w):	143,9	225,3	437,0	57,5	138,1	276,2

Nr. 1 bis 3 sind bei grösserer, Nr. 4 bis 6 bei kleinerer Empfindlichkeit des Galvanometers beobachtet. Nr. 3 und 4 entsprechen bei allen Reihen nahe gleichen Stromstärken und sind in der Folge immer zu Mittelwerthen vereinigt.

Ehe ich nun zur Mittheilung der Beobachtungsergebnisse übergehe, stelle ich noch die Constanten der drei Apparate I, II u. III zusammen.

	I		II		III	
Ganze Länge des Drahtes . .	265	mm	260	mm	270	mm
Abstand zwisch. d. Electroden	200,6	mm	179,1	mm	202,0	mm
Dicke des Drahtes	0,197	mm	0,287	mm	0,296	mm
					(blank 0,285)	
Oberfläche zw. d. Electroden	1,239	qcm	1,613	qcm	1,881	qcm
Widerstand bei 0°	0,870	S.-E.	0,429	S.-E.	0,505	S.-E.
Durchmesser der Glasröhre .	4,5	cm	4,5	cm	4,5	cm
Oberfläche der Glasröhre .	370	qcm	360	qcm	370	qcm

In der folgenden Tabelle I finden sich die Ergebnisse sämtlicher Beobachtungen vereinigt. Die Zahlen unter I^2w , welche den Energieverlust des Drahtes pro Secunde in absoluten Arbeitseinheiten (cm, g, sec) angeben, gehen durch Division mit 10^7 in Volt-Ampère über.¹⁾

Tabelle I.

t' Temperatur der Umhüllung }
 t Temperatur des Drahtes } in Celsiusgraden.

I^2w Wärmeverlust des Drahtes pro Secunde, gemessen in absoluten Arbeitseinheiten (cm, g, sec).

Apparat I.

Nr. 1 $t' = 0^\circ$		Nr. 2 $t' = 0^\circ$		Nr. 3 $t' = 100^\circ$		Nr. 4 $t' = 200^\circ$	
t	I^2w	t	I^2w	t	I^2w	t	I^2w
130°	0,0146 · 10 ⁷	126°	0,0137 · 10 ⁷	181°	0,0155 · 10 ⁷	270°	0,0173 · 10 ⁷
200	0,0312	194	0,0293	233	0,0315	307	0,0337
337	0,0942	327	0,0899	353	0,0930	390	0,0920
581	0,4126	572	0,3976	571	0,3973	593	0,3988
826	1,354	814	1,304	809	1,303	798	1,247

1) Zu den Beobachtungen an Apparat III, welcher den mit Kupferoxyd überzogenen Platindraht enthält, ist noch zu bemerken, dass erst in der letzten Reihe zu Temperaturen des Drahtes oberhalb 600° übergegangen wurde. Ich wollte bei den vorhergehenden Reihen die Aenderungen vermeiden, welche das Emissionsvermögen des Kupferoxyds durch Schmelzen oder Dissociation erleiden könnte. Uebrigens schliessen sich die Zahlen dieser letzten Reihe gut an diejenigen der früheren Reihen an. Ob das Kupferoxyd während der letzten Reihe zum Schmelzen gekommen war, konnte ich aus dem Aussehen des Drahtes nicht entscheiden. Durch einen Vorversuch hatte ich mich überzeugt, dass eine Veränderung des Kupferoxyds durch Dissociation bei den hier erreichten Temperaturen noch nicht merklich ist. Vgl. Debray u. Joannis, Compt. rend. 99. p. 503. 1884.

Apparat II.

Nr. 1 $t' = 0^\circ$		Nr. 2 $t' = 0^\circ$		Nr. 3 $t' = 100^\circ$		Nr. 4 $t' = 200^\circ$		Nr. 5 $t' = 195^\circ$	
t	$I^2 w$	t	$I^2 w$	t	$I^2 w$	t	$I^2 w$	t	$I^2 w$
65°	0,0064 . 10 ⁷	61°	0,0064 . 10 ⁷	149°	0,0076 . 10 ⁷	257°	0,0090 . 10 ⁷	235°	0,0086 . 10 ⁷
110	0,0139	120	0,0168	184	0,0185	271	0,0218	263	0,0208
232	0,0504	228	0,0508	265	0,0530	326	0,0576	317	0,0551
383	0,160	380	0,166	398	0,162	430	0,167	415	0,158
540	0,409	538	0,418	543	0,407	547	0,404	550	0,414
740	0,995	698	0,967	683	0,850	715	0,935	705	0,958
900	2,180	910	2,168	865	1,934	890	2,157	882	2,147

Apparat III.

Nr. 1 $t' = 0^\circ$		Nr. 2 $t' = 0^\circ$		Nr. 3 $t' = 100^\circ$		Nr. 4 $t' = 100^\circ$	
t	$I^2 w$	t	$I^2 w$	t	$I^2 w$	t	$I^2 w$
16°	0,0077 . 10 ⁷	11°	0,0073 . 10 ⁷	110°	0,0087 . 10 ⁷	106°	0,0085 . 10 ⁷
38	0,0203	34	0,0189	121	0,0221	115	0,0214
94	0,0622	84	0,0531	155	0,0634	148	0,0585
228	0,265	195	0,199	259	0,273	223	0,195
403	0,934	364	0,733	441	1,097	384	0,780
585	2,494	540	2,028	590	2,530	546	2,077

Nr. 5 $t' = 200^\circ$		Nr. 6 $t' = 200^\circ$		Nr. 7 $t' = 14^\circ$	
t	$I^2 w$	t	$I^2 w$	t	$I^2 w$
211°	0,0105 . 10 ⁷	210°	0,0098 . 10 ⁷	—	—
221	0,0255	220	0,0239	—	—
242	0,0670	239	0,0630	421°	1,087 . 10 ⁷
311	0,275	302	0,243	559	2,333
450	0,999	431	0,859	676	4,160
603	2,432	585	2,252	803	7,330

7. Um zu prüfen, ob sich die beobachteten Werthe der Ausstrahlung dem Stefan'schen Gesetze unterordnen, bieten unsere Versuche zwei Wege dar.

Der Wärmeverlust des Drahtes pro Secunde ist der Ueberschuss der von dem Draht ausgestrahlten Wärme über die von ihm absorbirte. Die absorbirte Wärme besteht aus zwei Antheilen: der eine rührt her von einem Theil derjenigen Strahlen, welche ursprünglich vom Draht ausgehend denselben nochmals treffen durch regelmässige oder diffuse Reflexion an der Umhüllung; der andere rührt her von Strahlen, welche die Umhüllung auf den Draht sendet. Im allgemeinen wird daher der Wärmeverlust $I^2 w$ des Drahtes sowohl von seiner

eigenen Temperatur T , als von der Temperatur T' der Umhüllung abhängen. Stellt man I^2w als Function der absoluten Temperatur T des Drahtes graphisch dar, so erhält man, je nachdem die Umhüllung die Temperatur $T' = 273^\circ$ (0°), $T' = 373^\circ$ (100°), oder $T' = 473^\circ$ (200°) besitzt, drei verschiedene Curven, vgl. Fig. 19. Damit die gleich zu besprechenden Verhältnisse bei dem kleinen Maasstab der Zeichnung besser hervortreten, habe ich statt I^2w und T , $\log I^2w$ und $\log T$ aufgetragen. Die drei Curven verlaufen bei sämtlichen Apparaten je oberhalb einer gewissen Temperatur T_1 in eine einzige. Hieraus muss man schliessen, dass der in den Wärmeverlust des Drahtes eingehende Theil, welcher von der Umhüllung geliefert wird, oberhalb der Temperaturen T_1 verschwindend klein ist gegenüber der vom Draht ausgestrahlten Wärme. Oberhalb der Temperaturen T_1 liefert also die Abhängigkeit, in welcher I^2w steht von T , direct das Gesetz der Wärmestrahlung für die hier untersuchten Körper. Denn für die vom Draht ausgestrahlte Wärme muss sowohl derjenige Theil, welcher von der Umhüllung absorbirt wird, als auch derjenige, welcher von der Umhüllung auf den Draht reflectirt und von diesem absorbirt wird, in Bezug auf die Abhängigkeit von der Temperatur des Drahtes das gleiche Gesetz befolgen. Die Intensität der Strahlen des letztgenannten Antheils wird nämlich bei der Reflexion an der Umhüllung bei verschiedenen Temperaturen derselben stets in merklich gleichem Maasse geschwächt werden.

Da die Curven für $T' = 373^\circ$ und $T' = 273^\circ$ sich schon unterhalb der Temperaturen T_1 vereinigen, so darf man schliessen, dass die Beobachtungszahlen der Reihen für $T' = 373^\circ$ und besonders für $T' = 273^\circ$ auch noch unterhalb der Temperaturen T_1 das Gesetz der Wärmestrahlung unabhängig von der Temperatur der Umhüllung darstellen.

Nach dem Stefan'schen Gesetz ist die von der Oberflächeneinheit ausgestrahlte Wärme gleich $\Sigma \cdot T^4$, wo Σ eine Constante bedeutet; der Quotient I^2w/T^4 müsste also oberhalb T_1 eine Constante liefern. Dies zeigt sich jedoch bei keinem der drei Drähte bestätigt: es steigt bei allen der Werth I^2w/T^4 beträchtlich mit wachsender Temperatur. In

Bezug auf eine Zusammenstellung dieser Werthe verweise ich auf p. 302.

Eine zweite Prüfung des Stefan'schen Gesetzes ergibt sich, wenn man die Beobachtungen mit der auf Grund dieses Gesetzes entwickelten Theorie der Versuche vergleicht. Ich benutze hierzu die von Hrn. Christiansen¹⁾ für seine Versuche entwickelte Gleichung. Es sei L ein Körper von der Oberfläche s ; M ein Körper von der Oberfläche s' , welcher L vollständig einschliesst. Ferner seien α und α' die Absorptionsvermögen der beiden Körper, und die von der Einheit ihrer Oberfläche ausgestrahlten Wärmemengen nach dem Stefan'schen Gesetz $\Sigma \cdot T^4$ und $\Sigma' \cdot T'^4$, wo T und T' die absoluten Temperaturen der beiden Körper bedeuten. Diese Temperaturen seien constant; dann ist die dem Körper L durch Ausstrahlung entzogene, hier mit I^2w bezeichnete Wärmemenge pro Secunde:

$$I^2w = \frac{s \cdot \alpha' \cdot \Sigma}{\alpha' + (1 - \alpha') \cdot \alpha \frac{s}{s'}} \cdot \{T^4 - T'^4\}.$$

Diese Gleichung ist mit Rücksicht auf wiederholte Reflexionen der Strahlen an Umhüllung und Draht entwickelt. Sie beruht auf der Annahme, dass die Absorptionsvermögen α und α' unabhängig sind von der Temperatur. Eine strenge Theorie unserer Versuche hätte noch Rücksicht zu nehmen auf die zwischen den Electroden und den Enden befindlichen Theile des Drahtes, welche sich auf unbestimmbarer Temperatur befinden. Wärmestrahlen, welche von diesen Theilen ausgehen, werden, wenn Draht und Umhüllung nicht genau coaxial sind, den mittleren Theil des Drahtes nur durch diffuse Reflexion an der Umhüllung treffen. Da die an Glas oder Russ diffus reflectirten Strahlen nur eine sehr geringe Intensität im Verhältniss zur Intensität der auffallenden Strahlen besitzen, halte ich es für erlaubt, diese Endtheile des Drahtes ganz ausser Betracht zu lassen.

Gemäss der angeführten Gleichung müsste der Quotient $Q = I^2w / (T^4 - T'^4)$ eine Constante sein.

1) Christiansen, Wied. Ann. 19. p. 270. 1883.

Tabelle II.

 T' absolute Temperatur der Umhüllung. T absolute Temperatur des Drahtes.

$$Q = I^2 w / (T^4 - T'^4).$$

Apparat I.

Nr. 1 $T' = 273^\circ$		Nr. 2 $T' = 273^\circ$		Nr. 3 $T' = 373^\circ$		Nr. 4 $T' = 473^\circ$	
T	Q	T	Q	T	Q	T	Q
408°	$7,02 \cdot 10^{-6}$	399°	$6,90 \cdot 10^{-6}$	454°	$6,63 \cdot 10^{-6}$	543°	$4,68 \cdot 10^{-6}$
473	7,00	467	6,97	506	6,79	580	5,34
610	7,17	600	7,25	626	6,92	663	6,43
854	7,84	845	7,88	844	8,14	866	7,78
1099	9,31	1087	9,37	1082	9,64	1071	9,86

Apparat II.

Nr. 1 $T' = 273^\circ$		Nr. 2 $T' = 273^\circ$		Nr. 3 $T' = 373^\circ$		Nr. 4 $T' = 473^\circ$		Nr. 5 $T' = 468^\circ$	
T	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	Q
338°	$8,56 \cdot 10^{-6}$	334°	$9,32 \cdot 10^{-6}$	422°	$6,17 \cdot 10^{-6}$	530°	$3,12 \cdot 10^{-6}$	508°	$4,61 \cdot 10^{-6}$
383	8,69	393	9,19	457	7,64	544	5,80	536	6,01
505	8,43	501	8,88	538	8,18	599	7,32	590	7,52
656	8,88	653	9,43	671	8,83	703	8,59	688	8,99
813	9,47	811	9,80	816	9,60	820	10,04	823	10,09
1013	9,50	971	10,94	956	10,37	988	10,36	978	11,06
1173	12,09	1183	11,86	1138	11,67	1163	11,85	1155	12,40

Apparat III.

Nr. 1 $T' = 273^\circ$		Nr. 2 $T' = 273^\circ$		Nr. 3 $T' = 373^\circ$		Nr. 4 $T' = 373^\circ$	
T	Q	T	Q	T	Q	T	Q
289°	$54,5 \cdot 10^{-6}$	284°	$77,0 \cdot 10^{-6}$	383°	$40,5 \cdot 10^{-6}$	379°	$66,8 \cdot 10^{-6}$
311	53,5	307	56,6	394	46,7	388	64,7
367	49,4	357	50,2	428	45,1	421	48,5
501	46,1	468	46,9	532	44,9	496	47,4
676	46,0	637	46,1	714	45,6	657	46,7
858	46,5	813	47,0	863	47,3	819	48,2

Nr. 5 $T' = 473^\circ$		Nr. 6 $T' = 473^\circ$		Nr. 7 $T' = 287^\circ$	
T	Q	T	Q	T	Q
484°	$21,8 \cdot 10^{-6}$	483°	$22,5 \cdot 10^{-6}$	—	—
494	26,8	493	26,5	—	—
515	33,0	512	34,3	695°	$48,1 \cdot 10^{-6}$
584	41,5	575	41,1	832	49,4
723	44,8	704	43,9	949	51,7
873	46,9	858	45,8	1076	55,0

Die Werthe von Q finden sich in der Tab. II a. v. S. mit den zugehörigen Temperaturen T des Drahtes zusammengestellt. Es bietet diese Tabelle zugleich die Belege für die zuerst angeführte, directe Prüfung des Stefan'schen Gesetzes, da es einen hier unwesentlichen Fehler ausmacht, wenn bei höheren Temperaturen I^2w , statt durch T^4 , durch $T^4 - T'^4$ dividirt wird.

Aus der Zusammenstellung ergibt sich, dass der Quotient $I^2w/(T^4 - T'^4)$ durchaus nicht constant ist, sondern bei höheren Temperaturen T mit steigender Temperatur wächst. Bei niederen Temperaturen ändern sich die Werthe in verschiedener Weise mit T , je nachdem die Umhüllung die Temperaturen $T' = 273^\circ$, 373° , oder 473° besitzt. Doch zeigen hier die drei Apparate, abgesehen von einzelnen Abweichungen, die wohl Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden müssen, wesentlich das gleiche Verhalten. Für $T' = 273^\circ$ scheinen die Quotienten anfänglich mit steigender Temperatur T des Drahtes abzunehmen, erreichen ein Minimum und steigen alsdann wieder an. Für $T' = 473^\circ$ dagegen sind die Anfangswerthe sehr klein, und es beginnt sofort eine starke Zunahme mit der Temperatur T . Für $T' = 373^\circ$ findet sich bei den Apparaten I und II gleich anfangs eine Zunahme, doch schwächer, als für $T' = 473^\circ$. Bei Apparat III zeigt sich zuerst eine Abnahme, dann Zunahme. Die Quotienten verändern sich hier also ähnlich, aber in geringerem Grade, als für $T' = 273^\circ$.

8. Es fragt sich nun, ob die Abweichungen von dem Stefan'schen Gesetz, welche unsere Beobachtungszahlen sowohl für höhere, als für niedere Temperaturen der Drähte zeigen, durch Beobachtungsfehler erklärt werden könnten. Solche Beobachtungsfehler müssten jedoch, da die Abweichungen bei den drei Apparaten der Hauptsache nach im selben Sinne verlaufen, aus einer constanten Fehlerquelle entsprungen sein. Ich will daher die hier in Betracht kommenden, constanten Fehlerquellen besprechen.

Es ist zunächst zu erwähnen die Temperaturbestimmung, da dieselbe auf den an den drei Drähten gemeinsam ausgeführten Messungen mit den Luftthermometern beruht. Damit

die Quotienten $I^2 w / (T^4 - T'^4)$, resp. $I^2 w / T^4$ constante Werthe erhalten, müsste man bei den höchsten vorkommenden Temperaturen Fehler von etwa 80° annehmen. So grosse Fehler halte ich, selbst bei 900° C., für durchaus unwahrscheinlich. Bei weniger hohen Temperaturen sind natürlich die anzunehmenden Fehler geringer, aber auch in demselben Maass die Temperaturbestimmungen sicherer.

Eine andere Fehlerquelle könnte darin gesucht werden, dass die innere und die äussere Wand der Apparate nicht die gleiche Temperatur, nämlich die des Bades, besessen haben. Es lässt sich jedoch aus den Dimensionen der Apparate, den durch die Versuche bekannten Wärmemengen, welche der Umhüllung pro Secunde zugeführt werden, und der Wärmeleitungsfähigkeit des Glases leicht berechnen, dass die Temperaturen der inneren und der äusseren Wand der Apparate höchstens $\frac{1}{30}^\circ$ C. voneinander abweichen.¹⁾ Ueberdies kann diese Fehlerquelle nur auf die Beobachtungen bei niedrigerer Temperatur Einfluss haben.

Schliesslich wäre daran zu denken, dass die Oberfläche des Drahtes, um deren Temperatur es sich bei der Strahlung handelt, eine andere Temperatur hat, als diejenige, welche durch den Widerstand des Drahtes angegeben wird. Einem ähnlichen Einwand ist bei einer anderen Gelegenheit bereits von Hrn. Edlund²⁾ begegnet worden. Nach seiner Berechnungsweise ergibt sich, wenigstens für die blanken Platindrähte, aus den Dimensionen der Drähte, aus den ausgestrahlten Wärmemengen, sowie aus dem Wärmeleitungsvermögen des Platins, dass der Unterschied der Temperatur der Drahtaxe gegen die Temperatur der Oberfläche im ungünstigsten Fall $0^\circ,04$ C. beträgt.

Somit glaube ich aus den vorliegenden Beobachtungen schliessen zu müssen, dass die Wärmestrahlung von Platin und von Kupferoxyd in stärkerem Maass mit der Temperatur wächst, als es das Stefan'sche Gesetz verlangt. Es ist danach zu vermuthen, dass auch andere Körper Abweichungen von dem Stefan'schen Gesetze zeigen werden.

1) Vgl. Lehnebach, Pogg. Ann. 151. p. 100. 1874.

2) Edlund, Pogg. Ann. 158. p. 153. 1876.

9. Wenn man in dem von Hrn. Christiansen entwickelten Ausdruck:

$$I^2w = \frac{s \cdot a' \cdot \Sigma}{a' + (1-a') \cdot a \frac{s}{s'}} \cdot \{T^4 - T'^4\}$$

Zähler und Nenner mit a' dividirt und beachtet, dass bei unseren Versuchen s/s' kleiner als 0,005; $1 - a'$ ebenfalls ein (ziemlich kleiner) echter Bruch ist, so kann man mit genügender Annäherung setzen:

$$I^2w = s \cdot \Sigma \cdot \{T^4 - T'^4\}.$$

Der Quotient $I^2w/s \{T^4 - T'^4\}$ würde die „Strahlungsconstante“ des Stefan'schen Gesetzes darstellen. Die Werthe für Σ ergeben sich aus den in Tabelle II angeführten Werthen für $I^2w/(T^4 - T'^4)$ durch Division mit s , dem Oberflächeninhalt des Drahtes. Ich will nur diejenigen Werthe von Σ hier angeben, welche unabhängig von dem Einfluss der Umhüllung ermittelt werden können, nämlich diejenigen Werthe, welche die Beobachtungen bei den höchsten Temperaturen liefern. Zur Vergleichung mit den von anderen Beobachtern angegebenen Strahlungsconstanten sind dieselben nicht auf absolute Arbeitseinheiten, sondern auf Grammc calorien bezogen, indem 1 Volt-Ampère gleich 0,24 g Cal. pro Secunde gesetzt wurde.¹⁾

Platindraht I	für $T = 1085^\circ$	$\Sigma = 0,185 \cdot 10^{-12}$	(g cal/qcm sec)
Platindraht II	„ $T = 1150^\circ$	$\Sigma = 0,177 \cdot 10^{-12}$	„
Kupferoxyd	„ $T = 850^\circ$	$\Sigma = 0,600 \cdot 10^{-12}$	„
Kupferoxyd	„ $T = 1080^\circ$	$\Sigma = 0,701 \cdot 10^{-12}$	„

Hr. Grätz²⁾ findet die Strahlungsconstante des Glases für $T = 400^\circ$ $\Sigma = 1,0846 \cdot 10^{-12}$. Nach Hrn. Christiansen³⁾ ist die Strahlungsconstante eines absolut schwarzen Körpers (für $T = 300^\circ$) $\sigma = 1,21 \cdot 10^{-12}$.

Hieraus geht hervor, dass Platin und Kupferoxyd weniger Wärme ausstrahlen, als Glas bei niederer Temperatur. Dass die Strahlungsconstante für den Platindraht II kleiner

1) Es ist das mechanische Wärmeäquivalent gleich 425 Meterkilogramm angenommen.

2) Grätz, Wied. Ann. 11. p. 927. 1880.

3) Christiansen, l. c. p. 279.

ist, als für den Platindraht I, dürfte darin seinen Grund haben, dass die Oberfläche des ersteren Drahtes dem Anschein nach besser polirt war.

10. Zum Schluss erlaube ich mir noch einige Bemerkungen anzufügen, welche die Theorie der Strahlung betreffen.

Es findet sich öfters die Behauptung ausgesprochen, dass wenn ein Körper bei irgend einer Temperatur Strahlen einer gewissen Gattung absorbiert, er die gleichen Strahlen bei derselben Temperatur nach dem Kirchhoff'schen Satze auch emittiren müsse.¹⁾ Aus der von Hrn. Kirchhoff²⁾ entwickelten Beziehung zwischen dem Emissions- und Absorptionsvermögen scheint mir jedoch nur das Folgende hervorzugehen.

Besitzt der Körper für die betrachteten Strahlen von der Wellenlänge λ und bei der Temperatur T das Absorptionsvermögen $A_{\lambda,T}$, so ist sein zugehöriges Emissionsvermögen $E_{\lambda,T} = A_{\lambda,T} \cdot e_{\lambda,T}$, wenn $e_{\lambda,T}$ das Emissionsvermögen eines absolut schwarzen Körpers für dieselben Strahlen und Temperatur bedeutet. Wäre nun aber $e_{\lambda,T}$ bei der betrachteten Temperatur $= 0$, so würde auch der betreffende Körper kein Emissionsvermögen für die Strahlen von der Wellenlänge λ besitzen, trotzdem er dieselben absorbiren kann.

Dieselbe Behauptung würde demgemäss für einen absolut schwarzen Körper fordern, dass dieser bei jeder Temperatur Strahlen aller Wellenlängen aussendet. Hr. Kirchhoff weist jedoch gerade darauf hin, dass über das Emissionsspectrum eines schwarzen Körpers vorläufig nichts bekannt ist, und erwähnt, dass dieses Spectrum sich mit wachsender Temperatur des strahlenden Körpers auszudehnen scheine, indem bei höherer Temperatur Strahlen von Wellenlängen erscheinen, welche letztere bei niedriger Temperatur nicht vertreten sind.

Die in der oben angeführten Behauptung enthaltene Ansicht, dass die von einem Körper bei verschiedenen Temperaturen ausgestrahlte Wärme sich nur durch die Inten-

1) Lecher, Wied. Ann. 17. p. 495. 1882. H. Kayser, Lehrb. der Spectralanalyse p. 153.

2) Kirchhoff, Pogg. Ann. 109. p. 275. 1860.

sität, nicht durch die Gattung der in ihr enthaltenen Strahlen unterscheidet, ist neuerdings mehrfach ausgesprochen worden. Wenn insbesondere das Intensitätsverhältniss zweier Strahlen von verschiedener Wellenlänge bei allen Temperaturen das gleiche wäre, so würde sich hieraus eine wesentliche Vereinfachung für die Theorie der Strahlung ergeben.

Es scheint mir darum wichtig, hervorzuheben, dass ein Beweis für diese Ansicht bis jetzt nicht vorliegt. So kann z. B. der von Hrn. Christiansen¹⁾ auf Grund des Stefan'schen Gesetzes gegebene Beweis nicht als stichhaltig anerkannt werden. Hr. Christiansen stellt die bei der absoluten Temperatur T von dem Oberflächenelement ds eines Körpers ausgestrahlte Wärme dW durch die Gleichung dar $dW = \pi \cdot ds \int_0^\infty h d\lambda$; worin h eine Function der Wellenlänge λ und der absoluten Temperatur T bedeutet (entsprechend dem von Hrn. Kirchhoff definirten Emissionsvermögen). Dann heisst es: „Nach Stefan sind die ausgestrahlten Wärmemengen prop. T^4 “, „es muss dasselbe von h gelten“, also wird $h = T^4 f(\lambda)$ und $dW = \pi ds T^4 \int_0^\infty f(\lambda) d\lambda$. — Daraus folgt, dass die bei jeder Temperatur ausgestrahlte Wärme von derselben Natur ist.“ — Es wird jedoch nicht allgemein zugegeben werden können, dass, wenn dW proportional T^4 ist, dann auch h prop. T^4 sein muss, da sich Functionen $\varphi(\lambda, T)$ bilden lassen, welche von 0 bis ∞ nach λ integrirt den Werth Const. T^4 liefern, ohne dass $\varphi(\lambda, T)$ prop. T^4 ist.

Wenn wir trotzdem einmal annehmen, dass nicht nur die gesammte ausgestrahlte Wärme, sondern auch die Wärme jeder einzelnen Strahlengattung dem Stefan'schen Gesetze folgt, womit zugleich die Annahme verbunden ist, dass die spectrale Vertheilung der Energie bei allen Temperaturen dieselbe bleibt, so gelangen wir hierdurch zu der folgenden Bedingung. Nach dem Kirchhoff'schen Satze ist $E_{\lambda, T} / A_{\lambda, T} = e_{\lambda, T}$; es soll nach dem Stefan'schen Gesetz sein $E_{\lambda, T} = \Sigma_\lambda \cdot T^4$; $e_{\lambda, T} = \sigma_\lambda \cdot T^4$, wo Σ_λ und σ_λ die von der Temperatur unabhängigen Strahlungsconstanten für die betrachtete

1) Christiansen, l. c. p. 268.

Strahlengattung bedeuten. Hieraus folgt $A_{\lambda,T} = \Sigma_{\lambda}/\sigma_{\lambda}$ und für eine andere Temperatur T' : $A'_{\lambda} = \Sigma_{\lambda}/\sigma_{\lambda} = A_{\lambda}$; d. h. dem Stefan'schen Gesetz, wenn es sowohl für die Gesamtstrahlung, als auch für die einzelnen Strahlengattungen gilt, folgen nur diejenigen Körper, welche ein von der Temperatur unabhängiges Absorptionsvermögen besitzen.

Möglicherweise liegt in diesem Satze der Grund, warum die Wärmestrahlung von Platin und Kupferoxyd von dem Stefan'schen Gesetze abweicht. Für Platin gibt Hr. Nichols¹⁾ das Absorptionsvermögen bei gewöhnlicher Temperatur = 0,823, bei 1650° C. = 0,7597 an. Ebenso wachsen die aus den vorliegenden Beobachtungen auf Grund des Stefan'schen Gesetzes berechneten Strahlungsconstanten Σ für Platin und für Kupferoxyd beträchtlich mit der Temperatur (und, wie es scheint, bei höheren Temperaturen stärker, als bei niederen). Es könnte daher immerhin die Bedingung erfüllt sein, dass $\Sigma_{\lambda} \cdot T^2/A_{\lambda} = \sigma_{\lambda} \cdot T^4$ ist, worin alsdann σ_{λ} , die Strahlungsconstante eines absolut schwarzen Körpers, thatsächlich eine Constante wäre, Σ_{λ} jedoch in gleichem Maass wie A_{λ} mit der Temperatur wachsen müsste.

Diese Betrachtungen sind also damit vereinbar, dass für einen vollkommen schwarzen Körper das Stefan'sche Gesetz der Wärmestrahlung gilt, was neuerdings Hr. Boltzmann²⁾ durch die Ableitung dieses Gesetzes aus dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie und aus der electromagnetischen Lichttheorie sehr wahrscheinlich gemacht hat. Dagegen sind sie auch damit verträglich, dass andere, als absolut schwarze Körper, wie nach den vorliegenden Beobachtungen Platin und Kupferoxyd, Abweichungen von dem Stefan'schen Gesetz zeigen. Ob die den Betrachtungen zu Grunde gelegten Annahmen richtig sind, darüber müssen Versuche entscheiden, welche sowohl Emissions- als Absorptionsvermögen für einzelne Strahlengattungen bei verschiedenen Temperaturen zum Gegenstand der Messung haben.

1) Nichols, Ref. in Beibl. 3. p. 864. 1879.

2) Boltzmann, Wied. Ann. 22. p. 291. 1884.