

Ueber die Lichtemission des glühenden Platins.

Von

Dr. J. Stössel.

Von fundamentaler Bedeutung für die Theorie der Strahlung ist die Beantwortung der Frage: »Wie ändert sich die Intensität einer homogenen Strahlung mit der Temperatur des strahlenden Körpers?»

Zur Untersuchung können für den ganzen Umfang der Strahlung das Bolometer oder die Thermosäule, für das Bereich der leuchtenden Strahlung das Spectralphotometer verwendet werden.

Nach Duboué und Petit ist die Menge des von einem Körper mit der Temperatur t emittirten homogenen Lichtes $J = Aa^t$. A ist ein dem betrachteten Körper eigenthümlicher Coefficient, a eine für alle Körper constante Grösse.

J. L. Soret ¹⁾ hat gefunden, dass dieses Gesetz für hohe Temperaturen nicht gültig sein kann.

Becquerel fand zwischen der Intensität r des homogenen Lichtes und der Temperatur die Relation:

$$r = a \left[e^{\frac{h}{\lambda T - \theta}} - 1 \right].$$

h ist der Wellenlänge umgekehrt proportional, und θ gibt die Temperatur an, bei welcher die betrachtete Strahlung entsteht.

¹⁾ Arch. d. Genève 1879.

E. L. Nichols ¹⁾ zeigte, dass für dieselbe Spectralregion mit steigender Temperatur eine fortdauernde Intensitätszunahme stattfindet, ohne dass indess die isochromatische Curve zur Bildung eines Maximums oder Minimums hinneigt.

W. Jacques ²⁾ glaubt aus seinen Messungen schliessen zu dürfen, dass die Abhängigkeit der Strahlungsintensität von der Wellenlänge bei allen Temperaturen dieselbe sei.

Violle fand in einer ersten Abhandlung ³⁾, dass, wenn er die Intensität des vom Platin bei 954° C. ausgestrahlten rothen Lichtes als Einheit nahm, die Intensität derselben Strahlung bei der Temperatur t dargestellt ist durch die Formel

$$\log J = - 8.24493 + 0.011475 t - 0.00000297 t^2.$$

In einer weitem Arbeit ⁴⁾ stellt er seine Resultate dar durch die Formel:

$$J = m T^b a^{\frac{T}{a}}$$

J ist die Intensität einer einfachen Strahlung. T die absolute Temperatur. m eine Constante. b die Zahl 0,9999938. $a = 1.03550 - 13 \lambda$, wo λ die Wellenlänge in mm angibt.

H. F. Weber ⁵⁾ hat für die von der Strahlung mit der Wellenlänge λ von der ganzen Oberfläche f des strahlenden Körpers nach allen Richtungen in der Ein-

¹⁾ Wied. Beiblätter 1879.

²⁾ Wied. Beibl. 3.

³⁾ Violle, Sur la radiation du platine incandescent. C. r. LXXX. VIII.

⁴⁾ Violle, Expériences. J. ch. ph. t. 3. 1883.

⁵⁾ Sitzungsberichte d. Acad. d. Wiss. Berlin. XXXVII. 1888.

heit der Zeit ausgesandte Energiemenge den Ausdruck geben:

$$E = \frac{c \cdot F \cdot \lambda^4}{\lambda^2} = \frac{c \cdot F}{\lambda^2} T^4$$

λ bedeutet die Wellenlänge, T die absolute Temperatur, c eine allen festen Körpern gemeinsame Constante, nämlich 0,0043, b und e hingegen sind Constanten, deren Werthe von Substanz zu Substanz variiren.

Im Sommer 1886 begann ich im physicalischen Institut der Universität Berlin eine Experimentaluntersuchung, die den Zweck hatte, einen weitem Beitrag zu liefern zur Kenntniß des Zusammenhangs, der besteht zwischen dem Widerstand, resp. der Temperatur des glühenden Platins und der Intensität des ausgesandten Lichtes von bestimmter Wellenlänge. Hieran anschließend führte ich nachher im physicalischen Institut des eidg. Polytechnikums noch weitere Bestimmungen aus, die im fernern Verlauf ein Mittel ergeben sollten, das Weber'sche Strahlungsgesetz genau zu prüfen. Da sich jedoch verschiedener Umstände halber der Abschluss der Arbeit verzögert, so veröffentliche ich hienit denjenigen Theil derselben, welcher in der Hauptsache schon im Frühjahr 1887 vollendet war.

Es sei mir gestattet, an dieser Stelle den Herren Prof. H. v. Helmholtz und Dr. A. König für die freundliche Unterstützung, die sie mir während meines Aufenthaltes in Berlin angelehnen ließen, meinen besten Dank auszusprechen.

Für die photometrischen Messungen benützte ich das Spectralphotometer von A. König¹⁾. Um die Inten-

¹⁾ Verhandlgn. der phys. Gesellschaft in Berlin, 22. V. 85 u. 19. III. 85.

sität bestimmter Stellen des Spectrums messen zu können, müsste das Instrument statirt werden, d. h. es müsste bei unversetzter Stellung von Collimatorrohr und Prisma die Lage des Ocularrohrs gesucht werden, für welche Licht einer bestimmten Wellenlänge vom Spalt des Diaphragma nur dem Spectrum herausgeschitten wird. Zu dem Zwecke setzte ich an Stelle des Nicol im Ocularrohr die Ocularlinse ein, beobachtete den Collimatorspalt mit Licht von genau bekannter Wellenlänge und bestimmte ab dann an der vorhandenen Theilung die Stellung des Ocularrohrs, für welche die Lichtlinie in der möglichst schmal gemessenen Spalte des Diaphragma erschien.

Es ergab sich so:

Lichtquelle	Wellenlänge	Einstellung
K _α	404 $\mu\mu$	47.20
Sr	460.7	45.58
Tl	534.9	44.32
Na	589.2	43.72
Li	670.6	43.13
K β	768.0	42.65

Trägt man die Wellenlänge als Abscisse, die Stellung des Ocularrohrs als Ordinate auf, so erhält man mit Hilfe der so bestimmten Punkte eine Curve, welche gestattet, die einer beliebigen zwischen 404 $\mu\mu$ und 768 $\mu\mu$ gelegenen Wellenlänge zugehörige Einstellung zu finden.

Um den Fehler zu vermeiden, der daraus hervorgeht, dass der aus dem Nicol austretende Strahl nicht mit der Axe des Apparates coincidirt, so dass der Winkel, um welchen man den Nicol gedreht hat, nicht genau den Winkel misst, um welchen die Polarisationssebene gedreht worden ist, wurde nach Bakhuyzen das Mittel

aus zwei in entgegengesetzten Quadranten gemachten Beobachtungen genommen.

Eine Schwierigkeit bot die genaue Bestimmung der Nulllage. Nach vielen Versuchen bestimmte ich dieselbe am genauesten in folgender Weise: Ich drehte von der Stellung grösster Verdunkelung aus den Nicol etwas nach rechts, bis eben die Umrisse des halbkreisförmigen Feldes hervortraten, und machte das Gleiche nach der entgegengesetzten Seite. Aus beiden Stellungen nahm ich das Mittel. Eine grosse Zahl von Beobachtungen ergaben einen wahrscheinlichen Fehler der Nullstellung von $3,3'$ bis $5,1'$.

Der wahrscheinliche Fehler der Messresultateschwankte zwischen $1''$ bis $14''$. Diese verhältnissmässig geringe Empfindlichkeit kann übrigens so lange nicht als wesentlicher Nachtheil betrachtet werden, als es nicht gelingt, eine Lichtquelle herzustellen, für welche die Variation der Strahlungsintensität selbst unterhalb dieser Grenze liegt.

Bei der Messung kleiner Lichtstärken, besonders im äussersten Roth und äussersten Violett, erschienen die Felder glänzend und waren bedeckt mit kleinen Spectren.

Es mag hier wohl auch die Fluorescenz der Prismen und Linsen mitwirken.

Ein wesentlicher Vorzug des Photometers ist seine Einfachheit, sowie die Leichtigkeit der Justirung. Die zu vergleichenden Fehler sind gross und völlig gleichmässig gefärbt.

Man hat ferner die Einstellung nur für eine einzige Wellenlänge zu machen, indem dieselbe dann für alle Strahlen passt.

Experimentaluntersuchung über den Zusammenhang zwischen der Lichtemission und dem Widerstand des glühenden Platins.

1. Versuchsanordnung.

Das Platin wurde benützt in Form eines Drahtes von 0.2 mm Dicke. Derselbe war an einer Schraube befestigt, ging durch eine im Boden eines Quecksilbernapfes angebrachte feine Oeffnung und trug an seinem untern Ende ein kleines Gewicht. Die Glühtemperaturen wurden mit Hilfe eines von 4 Bunsen'schen Elementen erzeugten electricischen Stromes hervorgebracht. In den Stromkreis waren ausser dem zu glühenden Draht noch eine Wippe, eine Tangentenboussole und ein veränderlicher Widerstand eingeschaltet.

Um den Glühdraht waren nahe an den Enden schlingenförmig zwei sehr dünne Platindrähte gelegt und mit einem Widerstande von 3000 QE., sowie einem Wiedemann'schen Galvanometer verbunden.

Durch eine Linse wurde auf der untern Spaltheilfte des Photometers von A. König ein scharfes Bild des Drahtes entworfen, während die obere mit dem total reflectirenden Prisma bedeckte Hälfte von einer Amylacetatlampe beleuchtet wurde.

Als Einheit der Lichtstärke für irgend eine Wellenlänge wurde die Intensität der betreffenden Strahlung der Lampe von F. v. Hefner-Alteneck benützt, d. h. die Leuchtkraft einer frei brennenden Flamme, welche aus dem Querschnitt eines massiven mit Amylacetat gesättigten Doctes aufsteigt, der ein kreisrundes Dochtröhrchen aus Neusilber von 8 mm innerem, 8.2 äusserem Durchmesser und 25 mm freistehender Länge vollkom-

men ausfällt, bei einer Flammhöhe von 40 Millimeter von dem Rande des Döchtes bis zur Flammenspitze, und wenigstens 10 Minuten nach dem Anzünden gemessen¹⁾.

Die Constanz der Lampe war befriedigend. Sie verlangt jedoch fleissige Begehrung und ist sehr empfindlich gegen die kleinsten Luftströmungen. Da verschiedene Theile der Flamme ganz verschiedenes Emissionsvermögen besitzen, musste dafür Sorge getragen werden, dass die Flamme ihre Stellung zum Spalte, resp. zum reflectirenden Prisma nicht veränderte. Ebenso war nöthig, dass für eine Versuchsreihe Draht, Linse und Collimatorspalte immer dieselbe Lage zu einander behielten. Brach der Draht, so konnte die frühere Stellung nie mehr völlig erreicht werden, und diess zeigte sich dann in einer Verschiedenheit des relativen Werthes der gemessenen Lichtstärke. Durch die Art der Befestigung des Glühdrahtes wurde erreicht, dass die Erwärmung und die davon herührende Ausdehnung des Drahtes keine Schwankungen des Bildes auf der Collimatorspalte hervorbrachten.

Die Messungen wurden im vollkommen verdunkelten Zimmer vorgenommen, und die Reflexe an den Wänden durch Schirme unschädlich gemacht.

Mit Bezug auf das beobachtende Auge zeigte es sich, dass dasselbe am empfindlichsten war für die Intensitätsänderung im Grün.

Von eingetretener Ermüdung erholte es sich am besten, wenn es einige Zeit auf der gleichmässig beleuchteten grauen Wand ruhen blieb.

¹⁾ Siche Fortschritte der Chemie 1881, I. Heft.

2. Messung des Widerstandes des glühenden Drahtes.

Es wurden mit Fernrohr, Spiegel und Scale die Ausschläge am Galvanometer und der Tangentenboussole beobachtet. Sei s der Ausschlag am Potentialgalvanometer, D die Entfernung von Spiegel und Scale, so ist $\frac{s}{2D} \left\{ 1 - \left(\frac{s}{2D} \right)^2 \right\}$ proportional der Potentialdifferenz ΔP an den Befestigungspunkten der dünnen Platindrähte. Sind ferner s_1 und D_1 die entsprechenden Grössen für die Tangentenboussole, so ist $\frac{s_1}{2D_1} \left\{ 1 - \left(\frac{s_1}{2D_1} \right)^2 \right\}$ proportional der Stromstärke i , welche durch den Draht fliesst, und der Quotient der beiden Grössen ist ein relatives Mass für den Widerstand des Glühdrahtes. Die Bestimmung von s und s_1 sollte gleichzeitig geschehen, da beständig Schwankungen der Potentialdifferenz und der Stromstärke vorkommen. Ich beobachtete die beiden Grössen möglichst rasch nach einander.

Um den Widerstand des Drahtes bei 0° zu erhalten, wurde derselbe für Zimmertemperatur bestimmt und sodann die Reduction auf 0° vorgenommen. Für die Messung bei Zimmertemperatur brachte ich den Draht in Wasser und nahm die Stromstärke möglichst klein.

Der Temperaturcoefficient hatte zwischen 0° und 100° den Werth $\alpha = 0.003529$.

Die Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Strahlungsintensität und Widerstand des Drahtes hat dadurch Bedeutung, dass es möglich ist, aus dem letztern einen Schluss zu ziehen auf die jeweiligen im Draht vorhandene Temperatur. Dieser Schluss ist jedoch nur dann berechtigt, wenn der Glühzustand über den ganzen Draht hin

genau derselbe ist. Diess wurde dadurch erreicht, dass die Enden des untersuchten Stückes durch 2 sehr dünne mit dem Glühdraht fest verbundene Platindrähte markirt wurden. Die von diesen letztern fortgeführte Wärme war so gering, dass kaum eine Abnahme in der Helligkeit an jenen Stellen wahrnehmbar war.

Der Zusammenhang zwischen dem Widerstande des Platins und der Temperatur ist von Siemens angegeben worden, welcher denselben zur Construction eines Pyrometers benutzte.

Auch Benoit hat eine diessbezügliche Formel aufgestellt. Nach ihm ist

$$W_1 = W_0 (1 + 0,002445 t + 0,000000572 t^2)$$

Es folgt daraus die folgende Tabelle:

$\frac{W_1}{W_0}$	T	$\frac{W_1}{W_0}$	T
4,0	995,3	4,7	1184,9
4,1	1023,1	4,8	1211,1
4,2	1050,6	4,9	1237,1
4,3	1077,9	5,0	1262,9
4,4	1105,0	5,1	1288,5
4,5	1131,8	5,2	1313,9
4,6	1158,5		

$\frac{W_1}{W_0}$ kann folglich als Temperaturmass benützt werden.

Bei den Ablesungen wurde folgende Reihenfolge inne gehalten:

- 1) Ablesung an Galvanometer und Tangentenboussole bei bestimmter Stromrichtung.

- 2) Ablesung bei entgegengesetzter Stromrichtung an beiden Instrumenten.
- 3) Einstellung des Photometers.
- 4) Wiederholung von 1 und 2.

3. Resultate.

Der Zusammenhang zwischen Strahlungsintensität J und Widerstand des Glühdrahtes wurde bei 5 verschiedenen Wellenlängen gemessen.

Tabelle I.

$$\lambda = 495 \mu\mu.$$

$\frac{W}{W_0}$	J beobachtet	J_1 berechnet	$J - J_1$
4.084	0.0536	0.144	- 0.0904
4.300	0.386	0.379	+ 0.007
4.432	0.66	0.68	- 0.02
4.603	1.39	1.46	- 0.07
4.725	2.61	2.53	+ 0.08
4.899	5.55	5.49	+ 0.06

Die Intensität des blauen Lichtes $\lambda = 495 \mu\mu$ lässt sich zwischen $\frac{W}{W_0} = 4.3$ und $\frac{W}{W_0} = 4.9$ darstellen durch den Ausdruck:

$$J_1 = 17.8 \times 10^{-10} \times e^{4.46 \frac{W}{W_0}}$$

Die daraus sich ergebenden Werthe von J_1 sind in Columne 3 aufgeführt, Columne 4 enthält die Differenzen zwischen Beobachtung und Rechnung. Für kleinere als

die angeführten Werthe von $\frac{W^*}{W}$ werden die berechneten Werthe zu gross, während die 2 letzten Werthe anzudeuten scheinen, dass für dieses kurzwellige Licht die Intensität bei noch mehr wachsender Temperatur rascher ansteige, als obiger Exponentialform entspricht.

Tabelle II.

$$\lambda = 530 \mu\mu.$$

a					b			
$\frac{W^*}{W}$	J beob.	J_1 ber.	J	J_1	$\frac{W^*}{W}$	J beob.	J_1 ber.	$J - J_1$
3.320	0.064	0.199	0.036		3.517	0.046	0.082	- 0.036
4.331	0.187	0.317			4.070	0.250	0.245	+ 0.05
4.463	0.208	0.332	0.084		4.194	0.410	0.418	- 0.008
4.550	1.351	1.351			4.331	0.68	0.510	+ 0.17
4.695	2.85	2.85	0.025		4.477	1.40	1.416	- 0.016
4.837	3.21	3.208	0.062		4.585	2.30	2.25	+ 0.05
5.086	0.74	0.897	0.187		4.761	4.85	4.81	+ 0.04
					4.826	0.65	0.65	+ 0.01

Die Werthe J_1 in Tabelle a folgen der Gleichung

$$J_1 = 46.0 \cdot 10^{-10} \cdot e^{-4.31 \frac{W^*}{W}}$$

Diejenigen in Tabelle b der Gleichung

$$J_1 = 59 \cdot 10^{-10} \cdot e^{-4.31 \frac{W^*}{W}}$$

Auch hier decken sich die berechneten mit den beobachteten Werthen nicht mehr für $\frac{W^*}{W} = 4.0$.

Die beiden Tabellen *a* und *b* wurden mit verschiedenen Drähten erhalten, weil der zuerst benützte gebrochen war. Daher kommt die Verschiedenheit des ersten Factors, die von der Verschiedenheit der Stellung von Draht, Linse und Photometer in den beiden Versuchen herrührt. Die Uebereinstimmung der Exponenten in den beiden Gleichungen zeigt, dass dieselben nur von der Wellenlänge abhängig sind.

Die Tabelle *b* ist auch insofern interessant, als daraus hervorgeht, dass der Fehler, welcher dadurch entsteht, dass vom glühenden Platindraht Theilchen beständig fortgeschleudert werden, keinen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit der Messungen ausgeübt hat. Die für kleine Werthe von $\frac{W_1}{W_0}$ am Anfang und am Schluss der Reihe gefundenen Intensitäten stimmen befriedigend überein.

Tabelle III.
 $\lambda = 600 \mu\mu.$

$\frac{W}{W_0}$	<i>J</i> beobachtet	<i>J</i> ₁ berechnet	<i>J</i> - <i>J</i> ₁
3.821	0.039	0.0685	- 0.0295
4.228	0.360	0.386	- 0.026
4.439	0.923	0.947	- 0.024
4.615	2.008	2.001	+ 0.007
4.807	4.750	4.52	+ 0.23
4.964	8.66	8.82	- 0.16

Die Werthe von *J*₁ sind berechnet aus der Gleichung

$$J_1 = 60.7 \times 10^{-10} \times e^{4.25 \frac{W}{W_0}}$$

Tabelle IV.

$$\lambda = 670 \mu\mu.$$

W^* W_{λ}	J beobachtet	J_1 berechnet	$J - J_1$
3.895	0.122	0.129	- 0.007
4.259	0.189	0.115	+ 0.074
4.559	0.281	0.227	+ 0.054
4.826	0.382	0.293	+ 0.089
5.143	1.10	1.44	- 0.34
5.473	2.45	2.34	+ 0.11
5.806	3.83	3.85	- 0.02
6.109	6.49	6.12	+ 0.37
6.682	16.61	16.77	- 0.16
7.225	3.25	3.37	- 0.11
7.611	1.95	1.86	+ 0.09

Die Werte von J_1 sind berechnet aus der Gleichung

$$J_1 = 631 \cdot 10^{-10} \frac{W^*}{W_{\lambda}}^{0.73}$$

Tabelle V.

$$\lambda = 705 \mu\mu.$$

W^* W_{λ}	J beobachtet	J_1 berechnet	$J - J_1$
3.773	0.061	0.1216	- 0.06
4.054	0.10	0.33	- 0.23
4.319	0.17	0.78	- 0.61
4.567	1.58	1.55	+ 0.03
4.825	2.81	2.87	- 0.06
5.045	5.09	4.83	+ 0.26
5.308	6.79	6.89	- 0.10

Für $\frac{W}{W_0} = 4$ folgt J der Gleichung

$$J = 2618 \times 10^{-10} \times e^{3.46 \frac{W}{W_0}}$$

Die obigen Zusammenstellungen zeigen, dass für irgend eine homogene Strahlung des auf 1000°—1300° erhitzten Platins die Intensität mit befriedigender Annäherung dargestellt wird durch die Form:

$$J = A \cdot e^{\alpha m},$$

wo m den Quotienten aus dem Widerstand des Drahtes bei der betreffenden Temperatur und bei 0° bedeutet, m ist nur abhängig von der Temperatur; α hingegen ändert sich mit der Wellenlänge, und zwar so, dass er mit abnehmender Wellenlänge wächst.

Sinkt λ von 705 $\mu\mu$ bis auf 495 $\mu\mu$, so steigt α von 3.46 auf 4.46; mit andern Worten: die Intensität des Lichtes von kurzer Wellenlänge steigt mit wachsender Temperatur rascher als diejenige des Lichtes von grosser Wellenlänge.

Dieses Resultat bestätigt, entgegen den Versuchen von Jacques, dass die Stelle maximaler Intensität im Spectrum des glühenden Platins sich mit steigender Temperatur gegen violett hin verschiebt, wobei die Frage offen bleibt, ob diese Erscheinung im Wesen der Strahlung begründet sei, oder aber nach der Ansicht des Hrn. Lecher ¹⁾ nur einer verschiedenen Aenderung des Reflexionsvermögens des Platins für verschiedene Wellenlängen ihr Entstehen verdanke.

Die verhältnissmässig bedeutenden Unterschiede zwischen Beobachtung und Rechnung für diejenigen

¹⁾ Wied. Ann. 1882.

Werthe der Intensität, welche den kleinsten noch angewandten Temperaturen entsprechen, dürften zum Theil daraus zu erklären sein, dass in diesen Fällen sich jene schon früher erwähnte störende Allgemeinbeleuchtung im Photometer geltend machte.

Da die Abhängigkeit des Widerstandes des Platins von der Temperatur ausgedrückt wird durch einen Ausdruck von der Form

$$m = \frac{W}{W_0} = 1 + \beta_1 t + \gamma_1 t^2 \text{ u. s. w.},$$

so ist der Zusammenhang zwischen der Temperatur des glühenden Platins und der Intensität homogener Lichtstrahlen zwischen 1000° und 1300° gegeben durch die Gleichung

$$J = A e^{\frac{W}{W_0} + \alpha t + \beta t^2}$$

Der Umstand, dass hier der Coefficient von t^2 positiv wird, während er in der Formel von Vielle, welcher die Temperaturen direct bestimmte, einen negativen Werth hat, scheint darauf hinzuweisen, dass der Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand des Platins für hohe Temperaturen durch die Formel von Benoit nicht mehr genau dargestellt wird.

³⁾ Siehe auch L. Callender Proc. Roy. Soc. 41, p. 231—238. 1887.