



**L. Holborn, F. Kurlbaum**

---

## **Über ein optisches Pyrometer**

In:

Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. –  
Berlin: Verlag der Königlich Akademie der Wissenschaften (in Commission bei Georg  
Reimer)

Jahrgang 1901 : Erster Halbband (Januar bis Juni)

S. 712-719

Persistent Identifier: [urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-40849](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-40849)

---

Die vorliegende Datei wird Ihnen von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften unter einer  
Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz zur Verfügung gestellt.



# Über ein optisches Pyrometer.

VON L. HOLBORN und F. KURLBAUM

in Charlottenburg.

(Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Vorgelegt von  
Hrn. KOHLRAUSCH.)

Bei der Messung sehr hoher Temperaturen versagen die meisten Methoden, bei denen das Thermometer mit dem erhitzten Körper in Berührung gebracht werden muss. Am weitesten kommt man mit dem Thermoelement, dessen Benutzung aber schon über  $1200^{\circ}$  hinaus wegen ungenügender Isolation oder wegen der leicht möglichen chemischen Änderung der Drähte so grossen Schwierigkeiten begegnet, dass genaue Ergebnisse jenseits der Grenze von  $1500^{\circ}$  ausgeschlossen zu sein scheinen. Auch das Luftthermometer, die Grundlage unserer Temperaturmessung, wird kaum höher hinauf grosse Zuverlässigkeit beanspruchen dürfen, so dass wir uns vor die Aufgabe gestellt sehen, für die extremen Temperaturen eine besondere Scale zu schaffen, von der man zunächst verlangen wird, dass sie mit einer gewissen Genauigkeit reproducirbar ist.

Das passendste Mittel hierfür bietet die Strahlungsmessung, die auf beliebig hohe Temperaturen ausgedehnt werden kann, weil die Anwendung der Messverfahren durch physikalische und chemische Änderungen nicht begrenzt wird. Dabei wird man zweckmässig die leuchtende Strahlung vorziehen, für deren Untersuchung einfachere Methoden vorliegen als bei der Gesamtstrahlung.

In verschiedener Richtung ist diese Aufgabe schon in Angriff genommen. So hat zuerst DRAPER<sup>1</sup> versucht, die Ausdehnung des sichtbaren Spectrums eines Körpers bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmen. Diese Erscheinung, die neuerdings u. A. von HEMPEL<sup>2</sup> wiederum zu pyrometrischen Zwecken verworther worden ist, kann wegen der unscharfen Grenzen des Spectrums und der veränderlichen Empfindlichkeit des Auges nur unsichere Ergebnisse liefern. Ferner hat CROVA<sup>3</sup> die Temperatur mit dem Spectralphotometer aus dem Ver-

<sup>1</sup> DRAPER, Phil. Mag. 30, 345. 1847.

<sup>2</sup> W. HEMPEL, Zeitschrift f. angew. Chemie 14, 237. 1901.

<sup>3</sup> CROVA, Annales de Chim. et de Phys. (5) 19, 472. 1880.

hältniss der Helligkeiten zweier Farben zu bestimmen unternommen, während zuerst E. BECQUEREL<sup>1</sup> und später LE CHATELIER<sup>2</sup> eine homogene Strahlung bei verschiedenen Temperaturen photometriert haben. Beide haben das Gesetz, nach dem die Intensität einer homogenen Strahlung mit der Temperatur fortschreitet, auf empirischem Wege zu ermitteln gesucht und es auf die Bestimmung von Schmelzpunkten und Flammentemperaturen angewendet.

Nachdem alsdann neuerdings PASCHEN und WANNER<sup>3</sup>, sowie LUMMER und PRINGSHEIM<sup>4</sup> gezeigt haben, dass das von W. WIEN aufgestellte Gesetz innerhalb des leuchtenden Theiles der Strahlung des schwarzen Körpers im Wesentlichen gültig ist, hat die Methode der Temperaturmessung auf photometrischem Wege an Bedeutung gewonnen.

Der grösste Vorzug des Verfahrens besteht darin, dass an die Genauigkeit der photometrischen Messung nur geringe Ansprüche gestellt werden, weil die Helligkeit sehr schnell mit der Temperatur ansteigt.<sup>5</sup> Aus demselben Grunde bringt auch ein geringer Mangel in der Schwärze des strahlenden Körpers keinen grossen Unterschied in der leuchtenden Strahlung hervor. Schon BECQUEREL fand, dass die Lichtstärke nicht sehr von der Beschaffenheit des glühenden Körpers abhängt, und LUMMER und PRINGSHEIM (a. a. O. S. 44) haben gezeigt, dass bei gleicher Helligkeit der Temperaturunterschied sogar zwischen dem schwarzen Körper und dem blanken Platin bei 800° nicht 50° und bei 1500° nicht 130° übersteigt.

Eine Unbequemlichkeit der Methode liegt in der Verwendung einer constanten Vergleichsflamme. Denn da deren Helligkeit bekanntlich in ihren einzelnen Theilen sehr variiert, so pflegt man das hellste Stück durch ein Diaphragma herauszuschneiden, was eine sehr sorgfältige Justirung erfordert.

Deshalb haben wir als Vergleichslichtquelle zunächst einen elektrisch geglühten Platiniridiumdraht gewählt, dessen Temperatur sich leicht durch den benutzten Heizstrom variiren lässt. Dies bietet zugleich die Möglichkeit für eine neue photometrische Anordnung, welche bei grosser Einfachheit eine ausserordentliche Empfindlichkeit giebt.

Versuchsordnung. Die Figur zeigt die Versuchsordnung schematisch in einem Horizontalschnitt.

<sup>1</sup> E. BECQUEREL, *Annales de Chim. et de Phys.* (3) 68, 49. 1863.

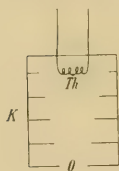
<sup>2</sup> H. LE CHATELIER, *Comptes rendus* 114, 214 und 470. 1892.

<sup>3</sup> F. PASCHEN und H. WANNER, *Sitzungsber. d. Berl. Akad. d. Wiss.* 1899, 5 und H. WANNER, *Ann. d. Phys.* 2, 141. 1900.

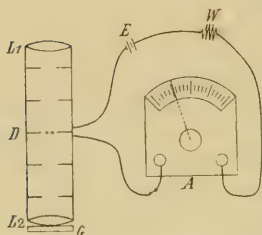
<sup>4</sup> O. LUMMER und E. PRINGSHEIM, *Verhandl. d. Deutschen phys. Ges.* 3, 36. 1901.

<sup>5</sup> O. LUMMER und F. KURLBAUM, *ebenda* 2, 89. 1900.

$K$  ist ein elektrisch geheizter schwarzer Körper mit grosser Öffnung, welcher schon bei einer früheren Arbeit benutzt wurde.<sup>1</sup> Von der leuchtenden Öffnung  $O$  entwirft die Linse  $L_1$  ein Bild, welches



in die Öffnung des Diaphragmas  $D$  fällt; an derselben Stelle befindet sich ein Bügel aus Platiniridiumdraht, dessen Horizontalchnitt durch die beiden Punkte angegeben ist. Durch die Linse  $L_2$  mit dem vorgeetzten rothen Glase  $G$  wird das Bild der leuchtenden Öffnung betrachtet, von welcher sich der Drahtbügel zunächst schwarz abhebt.<sup>2</sup>



Wird der Bügel durch Strom erhitzt und erreicht die Intensität seiner rothen Strahlen die des schwarzen Körpers, so verschwindet der Bügel vollständig, während sich seine durch Wärmeableitung gekühlten Schenkel noch deutlich von der gleichmässig leuchtenden Fläche abheben.

Diese photometrische Anordnung ist sehr empfindlich, weil sie die Bedingung erfüllt, dass die Grenzkaeten der zu vergleichenden Flächen vollkommen verschwinden; in der That ist man bei richtiger Einstellung nicht im Stande, den Ort des Kohlebügels anzugeben. Es macht den Eindruck, als löse sich der Drahtbügel in einer feurigen Flüssigkeit auf, während die kälteren Schenkel noch auf die Stelle hinweisen, auf welche die Aufmerksamkeit zu lenken ist.

Durch Änderung des Widerstandes  $W$  kann man diese Erscheinung stets leicht hervorrufen. Notirt man bei jeder am Strommesser  $A$  abgelesenen Stromstärke die durch das Thermoelement  $Th$  angegebene Temperatur des schwarzen Körpers, so hat man ein leicht zu handhabendes Pyrometer mit directer Ablesung.

Es sei hervorgehoben, dass an die optischen Eigenschaften der Linsen keine Anforderungen gestellt werden. Denn erstens wird homogenes Licht benutzt, zweitens kommt von den Linsen nur das mittelste Stück, ungefähr von der Grösse der Pupille, zur Verwendung. Deshalb genühten in diesem Falle als Objectiv und Ocular Brillengläser mit den Brennweiten 12 und 20<sup>cm</sup>. Ferner ist es nicht nöthig, die Objectivlinse scharf auf den schwarzen Körper einzustellen, da die

<sup>1</sup> H. RUBENS und F. KURLBAUM. Sitzungsber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1900, S. 929.

<sup>2</sup> Das Kupferrubinglas wurde von dem Glaswerk Schott und Genossen freundlichst zur Verfügung gestellt und gab ein homogeneres Licht als Goldrubinglas.

Flächenhelligkeit für das beobachtende Auge hiervon nicht abhängt. Dagegen ist es natürlich vortheilhaft, ein deutliches Bild des Bügels zu sehen.

Leider verträgt der Platiniridiumdraht keine sehr hohe Temperatur, weil er schon bei  $1200^{\circ}$  durch Zerstäubung seine Oberfläche verändert und rauh wird. Wir sind deshalb zu kleinen 4 Volt-Glühlämpchen mit bügelförmigem Kohlefaden übergegangen. Die Befürchtung, dass die Erscheinung unter der kugelförmigen Glashülle leiden werde, hat sich nicht bestätigt. Es zeigte sich nämlich, dass auch in diesem Falle der Bügel sich von einer ziemlich gleichmässig hell erscheinenden Fläche gut abhebt. Dies liegt wohl daran, dass die vorhandenen Helligkeitsdifferenzen bei ihrem kontinuierlichen Übergange nicht auffallen, allerdings erscheint jedes im Glase eingeschlossene Luftbläschen als schwarzes Pünktchen auf hellem Grunde. Auf das Photometrieren selbst ist dies jedoch ohne Einfluss, da es hierbei nur auf die Grenzlinie zwischen Bügel und leuchtender Fläche ankommt.

Eine Glühlampe bildet daher innerhalb ihrer normalen Beanspruchung, also etwa bis  $2000^{\circ}$  eine bequeme, variable Vergleichslampe. Da das Auge nur innerhalb gewisser Lichtintensitäten Differenzen leicht wahrnimmt, so ist es nöthig, bei hohen Temperaturen noch ein zweites rothes Glas vor das Auge zu setzen, während es bei Temperaturen unter  $800^{\circ}$  vortheilhaft ist, ohne rothes Glas zu photometrieren. Die beiden Lichtquellen sind hier hinreichend homogen, und das rothe Glas beeinträchtigt nur die Empfindlichkeit der Einstellung.

Aus den Messungen, die zwischen  $600$  und  $1500^{\circ}$  angestellt wurden, ergiebt sich, dass die Stromstärke bei dem Platiniridiumdraht eine lineare, bei der Glühlampe eine quadratische Function der Temperatur ist. Dieser Unterschied wird wahrscheinlich durch die Verschiedenheit im Temperaturcoefficienten des elektrischen Leitvermögens von Kohle und Metall verursacht. Jedenfalls ist es überraschend, dass eine Erscheinung, bei der die Veränderungen vieler Eigenschaften des erhitzten Körpers, wie der Strahlung, des elektrischen und des Wärme-Leitvermögens, in's Spiel kommen, so einfachen Gesetzen folgt.

Beziehung zwischen Temperatur und Stärke des Heizstroms eines elektrisch geheizten Körpers. Von einer gewissen Temperatur an gelten diese einfachen Beziehungen nicht nur für einen elektrisch geglühten Draht oder Faden, sondern auch im Allgemeinen für elektrische Öfen, die durch JOULE'sche Wärme gespeist werden. Als Beispiel möge hier der schwarze Körper angeführt werden, welchen wir bei unserer Untersuchung ständig benutzt haben. Er besteht aus einem horizontal liegenden inneren Rohr von  $8^{\text{cm}}$  äusserem Durchmesser

und  $0^{\text{cm}}4$  Wandstärke mit mehrfachen Diaphragmen und einem concentrischen äusseren Schutzrohr von  $11^{\text{cm}}$  äusserem Durchmesser und  $0^{\text{cm}}5$  Wandstärke. Das innere Rohr wird durch eine Spule aus Platinband geheizt, ebenso die Vorder- und Rückwand von spiralig eingelegten Metallbändern. Die Rückwand ist geschlossen bis auf zwei kleine Löcher für die Drähte des Thermoelements, welches die Temperatur im Innern des Körpers anzeigt, während die Vorderwand eine  $3^{\text{cm}}$  weite Öffnung für den Austritt der Strahlung besitzt. Die  $12^{\text{cm}}$  langen Rohre bestehen aus MARQUARDT'scher Masse und können ohne zu schnelle Abnutzung bis auf  $1500^{\circ}$  geheizt werden.

Tabelle I enthält die Werthe des Heizstromes  $J$  für verschiedene Temperaturen  $t$ , die an zwei Beobachtungstagen am Thermoelement während des stationären Zustandes abgelesen wurden. Dieser tritt wegen der geringen zu erwärmenden Masse verhältnissmässig schnell ein.

Tabelle I.

$J$ (Amp.)	beobachtet	$t$ berechnet
3.49	128°	—
4.28	236	—
6.54	387	—
8.01	536	532°
10.06	775	777
13.15	1127	1127
9.92	756	754
11.62	948	945
13.00	1103	1096
14.57	1303	1315
16.21	1478	1478

Zwischen  $J$  und  $t$  besteht von  $500^{\circ}$  aufwärts die Beziehung

$$J = 3.300 + 0.008728 t.$$

Die letzte Spalte der Tabelle I enthält die aus dieser Formel berechneten Werthe von  $t$  für die beobachteten Zahlen von  $J$ .

Ein zweites Beispiel gewährt keine so grosse Genauigkeit der Beobachtung, weil die Herstellung des stationären Zustandes wegen der viel grösseren Masse des Ofens eine ungleich längere Zeit beansprucht. Wir führen es hier an, um die angenäherte Gültigkeit derselben Beziehung unter ganz anderen Bedingungen zu zeigen. Es handelt sich um einen  $80^{\text{cm}}$  langen Ofen, der für die Bestimmung der Ausdehnung von  $0^{\text{cm}}5$  langen Stäben dient. Er besteht aus drei concentrischen dicken Porzellan- bez. Chamotteröhren, von denen die innerste durch eine Nickelspule elektrisch geheizt wird. Tabelle II gibt die Stärke  $J$  des Heizstromes für verschiedene Werthe der Temperatur  $t$ , welche in der Mitte des Heizrohres gemessen wird.

Tabelle II.

$J$ (Amp.)	$t$
13.5	250°
16.5	375
20.3	500
24.2	625
27.5	750
31.2	875
34.5	1000

Im Mittel bewirkt also eine Vermehrung der Stromstärke um je 2.8 Amp. mit nur 0.4 Amp. Abweichung eine Temperaturerhöhung um 100°.

Photometrische Messungen. Wir kommen nun auf unsere photometrische Vergleichen zurück. Tabelle III enthält die Beobachtungen mit einem Platiniridiumdraht von 0<sup>mm</sup>.3 Durchmesser, der horizontal in einer freien Länge von 5<sup>cm</sup>.5 quer, durch das Gesichtsfeld gespannt war. Störend war bei dieser Anordnung, dass sich der Draht in Folge der Ausdehnung in hoher Temperatur stark durchbog, so dass er an den Rand des Gesichtsfeldes kam. Man kann diesen Nachtheil durch eine bügelförmige Anordnung vermeiden, muss aber dann grössere Unregelmässigkeiten durch den aufsteigenden Luftstrom in Tausch nehmen.

Tabelle III.

$$i = 1.321 + 0.003513 t.$$

$i$ (Amp.)	beobachtet	$t$ berechnet
3.56	635°	633°
3.93	745	747
4.30	848	852
4.64	946	948
5.17	1100	1104
5.25	1114	1110

Die Abweichungen zwischen den beobachteten und berechneten Zahlen von  $t$  für die einzelnen Werthe der Stromstärke  $i$  fallen in die Grenze der Beobachtungsfehler.

Von den Beobachtungen mit der Glühlampe theilen wir in Tabelle IV bis VI einige Beispiele mit, bei denen überall derselbe Typus einer 4 Volt-Lampe zur Verwendung kam. Die ersten beiden Tabellen beziehen sich auf je ein Paar Lampen von nahezu gleichem Widerstande, die sich in ihrer Stromstärke bei den verschiedenen Temperaturen nur um wenige Milliampere unterscheiden. Die Zahlen sowie die Formel sind für das Mittel gültig. Die letzte Tabelle enthält mehrere Beobachtungsreihen, die mit einer Lampe an verschiedenen Tagen angestellt wurden.

Tabelle IV.

$$i \cdot 10^3 = 157.2 + 0.21643 t + 0.00011574 t^2.$$

<i>i</i> (Amp.)	<i>t</i> beobachtet	<i>t</i> berechnet
0.388	757°	755°
0.466	946	945
0.538	1104	1106
0.628	1293	1298
0.730	1477	1476

Tabelle V.

$$i \cdot 10^3 = 166.0 + 0.16288 t + 0.00013045 t^2.$$

<i>i</i> (Amp.)	<i>t</i> beobachtet	<i>t</i> berechnet
0.364	756°	755°
0.440	947	940
0.505	1103	1102
0.591	1294	1304
0.692	1478	1477

Tabelle VI.

$$i \cdot 10^3 = 169.6 + 0.14456 t + 0.00014015 t^2.$$

	<i>i</i> (Amp.)	<i>t</i> beobachtet	<i>t</i> berechnet
Mai 13.	0.344	718°	723°
	0.425	929	929
	0.507	1115	1111
	0.614	1348	1358
	0.685	1468	1466
Mai 15.	0.353	735	731
	0.515	1135	1133
Mai 21.	0.515	1135	1133
	0.705	1507	1508
Juni 3.	0.364	774	775
	0.507	1127	1132

Extrapolirt man die Formel für die Glühlampe über die bei 1500° liegende Beobachtungsgrenze hinaus, so kann man bis zu der Temperatur des normalen Glühens, die bei den benutzten Lampen zwischen 1850 und 2000° liegt, dieselbe Anordnung für die Messung benutzen. Höher darf man die Lampen nicht beanspruchen, ohne ihre Constanz zu gefährden, obwohl das Durchbrennen des Kohlefadens erst bei 2800 bis 2900° erfolgte. Ferner wird man sich vor der Wahl einer Glühlampe von ihrer Haltbarkeit überzeugen müssen. Die Abnutzung wird nicht so gross sein wie bei anderen photometrischen Messungen, da nur kurze Brennzeiten in Frage kommen. Die grösste Zeit beansprucht vor jeder Einstellung das Abwarten des stationären Zustandes, der aber selbst bei den tiefsten Temperaturen 2 Minuten nach dem Schliessen des Stromes eintritt.



Da man mit Hilfe des WIEN'schen Gesetzes für jede Intensität des rothen Lichts die zugehörige Temperatur berechnen kann, so ist die Anwendbarkeit der Methode nicht durch die Temperatur der Glühlampe begrenzt, sondern man kann bei einer passenden Schwächung der Strahlungsquelle, etwa durch Reflexion an Glasplatten, dem Strommesser eine zweite Scala für höhere Temperaturen beifügen. Wir beabsichtigen, diese Untersuchung mit Heizquellen für höchste Temperaturen fortzuführen.