

| t     | e in Millivolt |
|-------|----------------|
| 700°  | 6,20           |
| 800°  | 7,27           |
| 900°  | 8,37           |
| 1000° | 9,50           |
| 1100° | 10,67          |
| 1200° | 11,88          |
| 1300° | 13,11          |
| 1400° | 14,38          |
| 1500° | 15,69          |

wobei die Temperatur der kalten Drahtenden mit 0° angenommen ist.

Beim Gebrauch werden die freien Enden der Drähte mittels der Klemmschrauben und starker Kupferdrähte mit einem Galvanometer verbunden und dann die heiße Lötstelle auf die zu messende Temperatur gebracht. Das Galvanometer besitzt gewöhnlich 2 Skalen, so daß die Temperatur unmittelbar abgelesen werden kann. Da es zu umständlich ist, die kalten Drahtenden auf 0° abzukühlen, wird die Galvanometernadel vor der Messung auf die Temperatur des Beobachtungsraumes eingestellt.

Die Pyrometer werden übrigens auch mit Registriervorrichtungen geliefert. Da sich der Widerstand der Drähte mit der Temperatur ändert, werden Meßinstrumente mit sehr hohem Widerstande verwendet, die den Einfluß der Widerstandsänderung auf einen nicht in Betracht kommenden Betrag herabdrücken.

Außer dem Le Chatelierschen sind auch andere Metallpaare zur Konstruktion von thermoelektrischen Pyrometern, besonders zur Messung niederer Temperaturen vorgeschlagen worden; sie besitzen aber für die Technik geringere Bedeutung.

Ein großer Vorteil des thermoelektrischen Pyrometers besteht darin, daß die Meßapparate in eigenen Beobachtungsräumen, fern von der Wärmequelle aufgestellt werden können; es ist hierbei nur darauf zu achten, daß der Gesamtwiderstand der Zuleitungsdrähte nicht zu groß (kleiner als 1 Ohm) ist.

#### d) Strahlungs-pyrometer.

a. Optische Pyrometer. Wird ein nicht flüchtiger Körper auf höhere Temperatur erhitzt, so beginnt er bei etwa 500° Licht auszusenden und zwar leuchtet er zunächst mit roter Farbe. Bei weiterer Temperatursteigerung tritt Licht von kleinerer Wellenlänge hinzu, bis schließlich alle Strahlen des sichtbaren Spektrums vertreten sind, und der Körper weißglühend erscheint. Mit Hilfe dieser Glühfarben läßt sich die Temperatur annähernd schätzen und man findet in der Technik

auch heute noch darauf bezügliche Angaben, wie Rotglut, Orangeglut, Gelbglut und Weißglut. Manche Physiker sind in dieser Hinsicht noch weiter gegangen und haben auch für Zwischenstufen, wie dunkelrot, kirschrot, hellrot u. dgl. Temperaturangaben gemacht, die aber bei verschiedenen Beobachtern ziemlich verschieden sind, da die Empfindlichkeit der verschiedenen Augen für die Unterschiede in der Farbe sehr in Betracht kommt.

So finden wir z. B. Angaben für Kirschrot mit 700° C (Howe), 746° (White und Taylor) und 900° (Pouillet). Folgende Werte für die Hauptglühfarben dürften der Wahrheit am nächsten kommen:

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| Dunkelrot . . . . .     | 550°—600°   |
| Helle Rotglut . . . . . | gegen 900°  |
| Gelbglut . . . . .      | gegen 1000° |
| Weißglut . . . . .      | gegen 1200° |

Mit der Höhe der Temperatur ändert sich aber nicht nur die Farbe des glühenden Körpers, sondern auch die Helligkeit, besonders der roten Strahlen und da diese Helligkeitsänderungen bei hohen Temperaturen sehr groß sind, kann man hierauf genaue Methoden der Temperaturmessung gründen.

Bei rotem Licht (entsprechend einer Wellenlänge von 6563 Å) steigt beispielsweise die Lichtintensität bei einer Temperaturzunahme von 1000° C auf 1200° C um das zehnfache, auf 1800° C. auf das 804-fache und auf 2000° um das 2134fache.

Wie n hat folgende Formel für die Beziehungen zwischen der Wellenlänge des Lichtes und der absoluten Temperatur aufgestellt:

$$J = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

wobei  $c_1$  und  $c_2$  Konstanten,  $e$  die Basis der natürlichen Logarithmen,  $\lambda$  die Wellenlänge des beobachteten Lichtes und  $T$  die absolute Temperatur bedeuten.

Für die Vergleichung zweier Lichtintensitäten, entsprechend zwei verschiedenen Temperaturen, ist dann:

$$\frac{J}{J_1} = e^{-\frac{c_2}{\lambda} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)}$$

so daß unter Zugrundelegung einer bestimmten Lichtintensität und der dazu gehörigen Temperatur die der gemessenen Lichtintensität entsprechende Temperatur gefunden werden kann.

Das Wiensche Gesetz gilt eigentlich nur für den absolut schwarzen Körper, der also Licht jeder Wellenlänge aus-

strahlt. Da sich aber Ofenräume mit kleiner Schauöffnung ziemlich genau wie absolut schwarze Körper verhalten, kann auch ihre Temperatur auf dieser Grundlage ermittelt werden.

Bei den im Gebrauch befindlichen Instrumenten wird die Lichtstärke mit jener eines kleinen Glühlämpchens verglichen, wobei eine der beiden Lichtintensitäten solange abgeändert wird, bis beide gleich geworden sind.

Beim optischen Pyrometer von Wanner geschieht dies durch Polarisisation, beim Instrumente von Holborn und Kurlbaum durch Änderung der Stärke des die elektrische Glühlampe speisenden Stromes.

Fig. 13 zeigt das optische Pyrometer von Wanner von außen, Fig. 14 und 15 seine Inneneinrichtung sowie den Gang der Lichtstrahlen darin.

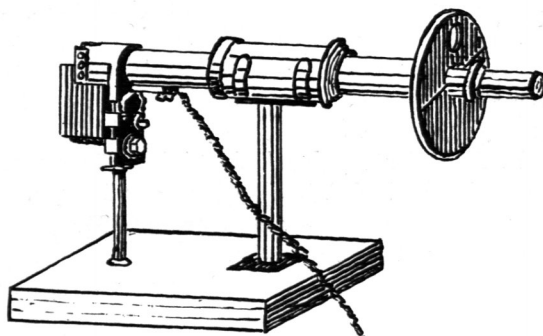


Fig. 13. Optisches Pyrometer von Wanner.

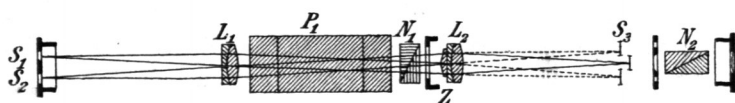


Fig. 14. Gang der Lichtstrahlen im optischen Pyrometer von Wanner.

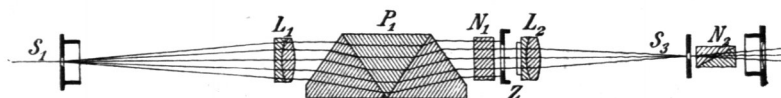


Fig. 15. Gang der Lichtstrahlen im optischen Pyrometer von Wanner.

Die durch die beiden vertikal übereinander liegenden Spalte  $S_1$  und  $S_2$  eintretenden Lichtstrahlen, die einerseits von der im Rohre untergebrachten Glühlampe von 6 Volt Spannung, andererseits von dem glühenden Körper oder Ofen stammen, deren Temperatur gemessen

werden soll, werden zunächst durch eine Linse  $L_1$  parallel gemacht. Hierauf treffen sie auf ein geradsichtiges Prisma  $P_1$ , das ein Spektrum erzeugt, von dem jedoch durch geeignete Blenden nur ein ganz schmaler Streifen roten Lichtes weitergelassen wird. Ein Nicolsches Prisma  $N_1$  zerlegt dieses Licht in 2 senkrecht zueinander polarisierte Strahlenbündel, die vorerst durch das Prisma  $Z$  gegen die Axe abgelenkt und hierauf durch die Linse  $L_2$  gesammelt werden. Die optische Einrichtung des Apparates ist nun so beschaffen, daß unmittelbar vor dem Spalt  $S_3$  je ein Bild der beiden Lichtquellen zusammenfällt und zwar sind die beiden Bilder zueinander senkrecht polarisiert. Blickt das Auge nun durch das zweite Nicolsche Prisma  $N_2$ , so erscheint das rote Gesichtsfeld in 2 Hälften geteilt, deren Lichtintensität durch Drehen von  $N_2$  gleich gemacht werden kann. Aus dem Drehungswinkel ergibt sich dann die zu messende Temperatur.

Da die Intensität der Vergleichsglühlampe infolge von Spannungsänderung der Betriebsakkumulatoren sich mit der Zeit ändert, muß der Apparat öfters unter Zuhilfenahme einer Hefnerschen Amylacetalampe richtig eingestellt werden, was durch eine kleine Verschiebung der Glühlampe mittels einer Regulierschraube leicht möglich ist.

Weniger gut für die Technik ist das optische Pyrometer von Holborn und Kurlbaum geeignet, das in Fig. 16 schematisch dargestellt ist.

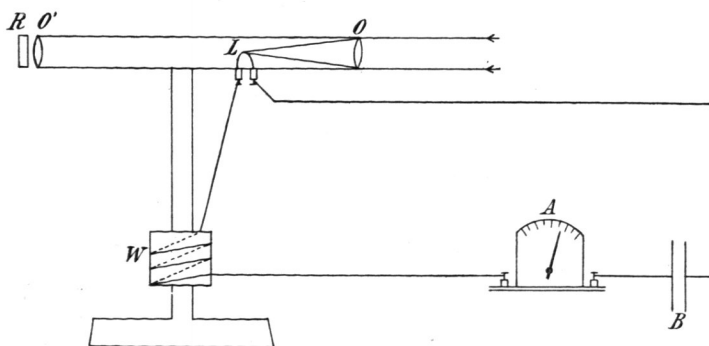


Fig. 16. Optisches Pyrometer von Holborn mit Kurlbaum.

Es gleicht äußerlich ebenfalls einem Fernrohr. Das durch die Objektivlinse  $O$  eintretende Licht erzeugt genau an der Stelle ein Bild, an der sich die Spitze des Fadens der Vergleichsglühlampe  $L$  befindet. Das Okular  $O'$  ist nun so eingestellt, daß man sowohl den Glühlampenfaden als auch das Bild des strahlenden Körpers deutlich sieht. Mit Hilfe des

Widerstandes  $W$  wird die Intensität der Glühlampe solange geändert, bis gleiche Lichtstärke vorhanden ist, der Faden der Lampe (eigentlich dessen Spitze) also unsichtbar wird. Die Temperatur des strahlenden Körpers kann dann am Amperemeter  $A$  direkt abgelesen werden. Um nur möglichst homogenes Licht in das Auge gelangen zu lassen, ist vor dem Okular eine Scheibe aus rotem Glas  $R$  angebracht.

Zur Messung besonders hoher Temperaturen wird bei beiden Instrumenten eine entsprechende Schwächung der Lichtstärke z. B. durch Rauchglasplatten vorgenommen.

### $\beta$ . Pyrometer von Féry.

Auch dieses vielgebrauchte Pyrometer beruht auf der Strahlungsintensität und zwar wird hierbei die Gesamtstrahlung herangezogen. Nach dem Gesetze von Boltzmann-Stefan ist die ausgestrahlte Energiemenge der vierten Potenz der absoluten Temperatur proportional. Um das Gesetz zur Eichung eines Pyrometers verwenden zu können, ist die Bedingung zu erfüllen, daß die Linse, welche die Strahlen sammelt, für alle sichtbaren und unsichtbaren Strahlen gleich durchlässig ist. Am besten genügt dieser Bedingung eine Flu spatlinse, da Flußspat oberhalb  $900^\circ \text{C}$  keine wesentliche Veränderung der durchgehenden Strahlen herbeiführt, so daß das Verhältnis der durchgehenden und der absorbierten Strahlen für die verschiedenen Wellenlängen konstant bleibt.

Fig. 17 (a und b) zeigt die Einrichtung des Pyrometers von Féry.

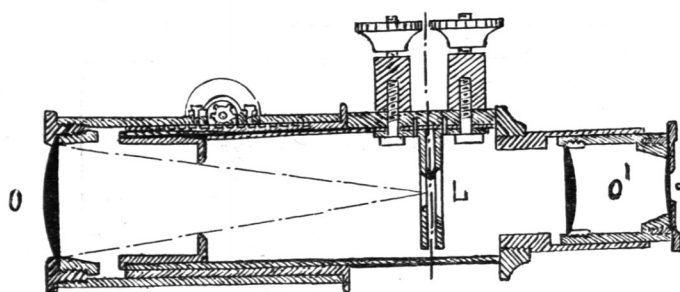
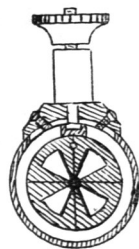


Fig. 17 a.  
Pyrometer von Féry (Durchschnitt).



Lötstelle des  
Pyrometers  
von Féry.

Die von der Objektivlinse  $O$  im Brennpunkte vereinigten Strahlen treffen dort auf die Lötstelle  $L$  eines Thermoelementes, das mit einem empfindlichen Galvanometer, das gleichzeitig die Temperatur anzeigt, verbunden ist. Damit das Bild des glühenden Körpers genau auf die

Lötstelle fällt, muß das Pyrometer mittels des Okulars O' entsprechend eingestellt werden. Durch Ablendung eines Teiles der eintretenden Strahlen kann das Instrument für verschiedene Temperaturintervalle benützt werden.

Die Genauigkeit der Messungen ergibt sich aus folgender Tabelle, die einen Vergleich mit dem thermoelektrischen Pyrometer von Le Chatelier gestattet.

| Art des Pyrometers | Gemessene Temperatur in ° C. |     |     |      |      |      |      |      |
|--------------------|------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Le Chatelier       | 884                          | 914 | 990 | 1054 | 1120 | 1260 | 1328 | 1458 |
| Féry               | 860                          | 925 | 990 | 1060 | 1120 | 1250 | 1320 | 1450 |

Wegen des hohen Preises der Flußspatlinsen werden für technische Zwecke bestimmte Instrumente mit Linsen aus Spezialgläsern erzeugt; die Eichung geschieht aber mittels Flußspatlinsen.

#### e) Schmelzpunktpyrometer.

Da reine Stoffe sehr scharfe Schmelzpunkte aufweisen, können Schmelzpunktbeobachtungen zu sehr genauen Temperaturmessungen dienen. Eine praktische Anwendung findet diese Methode aber nur zur Kontrolle der Richtigkeit von Pyrometern durch Schaffung von leicht erhältlichen Fixpunkten.

Um Schmelzpunktsbestimmungen zur Messung der Temperatur für technische Zwecke heranziehen zu können, müßte eine genügend große Zahl von praktisch verwendbaren Substanzen von genau bekanntem Schmelzpunkt zur Verfügung stehen und auch dann wäre die Durchführung solcher Messungen noch sehr umständlich.

Man hat früher versucht, in der Technik sogenannte Schmelzpyrometer zu verwenden, indem man reine Metalle und Legierungen verschiedener Metalle, besonders von Edelmetallen, zur Bildung einer Temperaturskala heranzog. Abgesehen davon, daß die Verwendung edler Metalle schon mit Rücksicht auf die möglichen Verluste kostspielig ist, zeigen Metallegierungen nur in ganz bestimmten Fällen einen konstanten Schmelzpunkt; sehr häufig, besonders bei langsamem Erhitzen, tritt

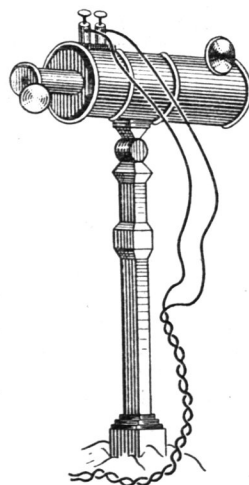


Fig. 17 b.  
Pyrometer von Féry.