

Bei Durchschnittsfeuerungen mit Steinkohle betragen die durch die heißen Verbrennungsgase entstehenden Wärmeverluste etwa 19%, entsprechend einem Kohlendioxydgehalt der Rauchgase von 8,5%, die gesamten Verluste etwa 30%; bei sehr schlechten Feuerungen können aber die gesamten Verluste die Hälfte des Heizwertes der Kohle betragen, wobei auf die Rauchgase etwa 40% entfallen, bei einem Kohlendioxydgehalt von 5%.

✓ 4. Messung hoher Temperaturen für technische Zwecke.

In verschiedenen Zweigen der Technik ist für den richtigen Verlauf der Operationen die Einhaltung bestimmter Temperaturen nötig und es müssen demnach Instrumente zur Verfügung stehen, die auch hohe Temperaturen mit hinreichender Genauigkeit zu messen gestatten; man nennt solche Instrumente gewöhnlich **Pyrometer**.

Jede Temperaturmessung beruht darauf, eine physikalische Zustandsänderung mit der Temperaturänderung in Beziehung zu bringen. Dabei ist es nötig, daß beide Änderungen in bekannter **gesetzmäßiger** Beziehung zueinander stehen und daß beim Sinken der Temperatur auf den normalen Stand auch die zur Messung dienende Zustandsänderung wieder verschwindet, beziehungsweise die betreffende physikalische Größe wieder den **ursprünglichen** Wert erreicht.

Da zur Eichung der Pyrometer nur verhältnismäßig wenige Fixpunkte zur Verfügung stehen, muß gefordert werden, daß die Beziehung zwischen Temperatur und einer bestimmten Zustandsänderung wiedergebende Kurve einen möglichst **stetigen** Verlauf zeigt. Am besten eignet sich für diesen Zweck die Änderung des Volumens, beziehungsweise des Druckes eines möglichst idealen Gases, so daß Pyrometer am besten mittels des **Gasthermometers** geeicht werden. Allerdings ist dies schon mit Rücksicht auf die Gefäßfrage nur bis zu einer gewissen Grenze — etwa 1600° C — genau möglich. Für die Messung höherer Temperaturen können aber die **Strahlungsgesetze**, die ebenfalls sehr genau bekannt sind, herangezogen werden.

Technische Pyrometer beruhen gewöhnlich auf folgenden physikalischen Erscheinungen:

1. Der Ausdehnung der Stoffe in der Wärme.
2. Der Änderung des elektrischen Leitungswiderstandes.
3. Der Thermoelektrizität.
4. Der Strahlungsintensität erhitzter Körper.
5. Dem Wärmeaustausch eines erhitzten Hilfskörpers mit Wasser, das sich in einem Kalorimeter befindet.

Überdies werden in manchen Industriezweigen Schmelzpunktsbestimmungen zur Temperaturmessung herangezogen.

Kein Pyrometer ist für alle Temperaturgrade mit gleicher Genauigkeit verwendbar, so daß für jeden Meßbereich besondere Instrumente in Betracht kommen.

a) Pyrometer, die auf der Ausdehnung der Stoffe in der Wärme beruhen.

Die Ausdehnung fester Stoffe durch die Wärme ist vielfach als Grundlage für die Konstruktion von Pyrometern versucht worden, ohne daß es gelungen ist, ein Instrument zu konstruieren, das halbwegs Anspruch auf Genauigkeit machen könnte. Da die in Betracht kommenden festen Stoffe nach dem Erhitzen eine bleibende Änderung des Volumens zeigen, bedürfen solche Instrumente einer häufigen Nach-eichung, was ihre Anwendung umständlich macht. Von den Flüssigkeiten ist am besten das Quecksilber geeignet und durch Anwendung besonderer Glassorten oder auch von Quarz zur Herstellung der Gefäße, sowie durch Füllung mit Wasserstoff, Stickstoff oder Kohlendioxyd unter Druck, konnte der Meßbereich bis 600° erweitert werden.

Quecksilberthermometer, die zur Temperaturmessung in Feuerungsanlagen benützt werden, besitzen meist ziemlich beträchtliche Länge, um sie genügend tief einsenken zu können. Sie sind dann von einem Schutzrohr umgeben, das nur soweit aufgeschlitzt ist, daß die Skala abgelesen werden kann. Diese Thermometer dürfen auch nicht allzurasch eingesenkt werden, damit sie nicht infolge plötzlicher Erwärmung springen.

Thermometer mit Stahlgefäßen zur Aufnahme des Quecksilbers, wie die sogenannten Kapillarthermometer, bei denen die Ausdehnung des Quecksilbers an der Streckung eines (ebenfalls mit Quecksilber gefüllten) stählernen, spiralförmig gewundenen Kapillarrohres erkannt wird, müssen öfters nachgeeicht werden, wenn sie halbwegs genaue Angaben liefern sollen.

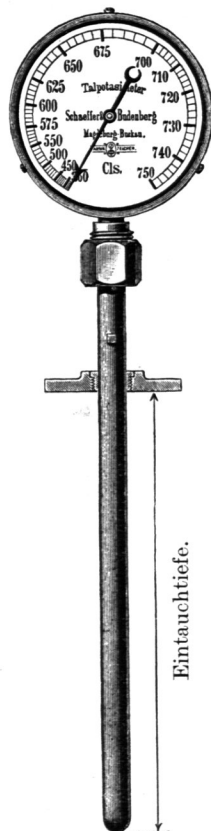


Fig. 8. Talpotasimeter.

Die Ausdehnung von Gasen in der Wärme und die dadurch bedingte Druckänderung wird in den sogenannten Gasthermometern verwertet. Diese sind sehr genau, finden aber nur für die Eichung anderer Pyrometer Anwendung, da sie für technische Zwecke zu kompliziert sind.

Eine Art Gasthermometer für technische Messungen ist das sogenannte Talpotasimeter von Klinghammer.

Es besteht aus einem stählernen Tauchrohre, das mit einer Flüssigkeit, gewöhnlich Äther oder Quecksilber gefüllt ist und mit einem Manometer in Verbindung steht; meist besitzt das Rohr Winkelform. Fig. 8 zeigt ein Instrument mit geradem Tauchrohr.

Das Tauchrohr, das beträchtliche Länge besitzen kann, wird der zu messenden Temperatur ausgesetzt und die Dampfspannung der Flüssigkeit mit dem Manometer gemessen.

Nachstehende Tabelle zeigt die Spannkraft von Äther und Quecksilber bei verschiedenen Temperaturen.

Druck in Atmosphären	Temperatur bei	
	Ätherfüllung	Quecksilberfüllung
1	35° C	357° C
2	56°	397°
3	70°	423°
4	80°	442°
5	89°	458°
6	96°	472°
7	103°	484°
8	109°	494°
9	114°	504°

Mit Quecksilber gefüllte Talpotasimeter können bis zu Temperaturen von etwa 700° verwendet werden, doch dürfen sie nicht lange der hohen Temperatur ausgesetzt werden. Zu rasches Erhitzen des Tauchrohres ist in allen Fällen zu vermeiden.

b) Widerstandspyrometer.

Diese Pyrometer beruhen auf der Abhängigkeit des elektrischen Leitungswiderstandes von der Temperatur. Ein brauchbares Instrument dieser Art wurde von W. Siemens konstruiert und kommt heute meistens in der von der Firma Heräus in Hanau angegebenen Ausführung zur Anwendung. Fig. 9.

Ein dünner Draht aus chemisch reinem Platin ist auf ein kleines Stäbchen aus Quarzglas von 60 mm Länge und 4 mm Durchmesser, das sich in einem dünnwandigen Rohr aus Quarzglas befindet, gewickelt.

Für technische Messungen ist das Quarzrohr von einem Schutzrohr aus Stahl umgeben. Die Enden des Platindrahtes sind mittels Zuleitungsdrähten¹⁾ an Klemmschrauben angeschlossen.

Die Messung des Widerstandes geschieht gewöhnlich mittels der Wheatstoneschen Brücke, für Messungen, die keinen besonderen Anspruch auf Genauigkeit machen, z. B. in der in Fig. 10 angedeuteten Weise; hierbei bedeutet S die Stromquelle, P einen Prüf-widerstand, A einen Ausgleichswiderstand, G das Galvanometer.

Das Instrument liefert nur dann richtige Werte, wenn sich die Spannung an der Brücke nicht ändert. Da dies praktisch nicht erreichbar ist, muß von Zeit zu Zeit eine Korrektur vorgenommen werden. Zunächst wird an Stelle des Pyrometers der Prüf-widerstand P eingeschaltet; die Nadel des Galvanometers muß dann auf den roten Strich der Skala zeigen, wenn die Angaben noch richtig sein sollen. Ist dies nicht der Fall, so wird durch den Ausgleichwiderstand A die entsprechende Regulierung durchgeführt.

Beim Gebrauche wird der untere Teil des Pyrometerrohres der zu messenden Temperatur ausgesetzt und diese unmittelbar am Galvanometer abgelesen.

Die Beziehung zwischen Tem-

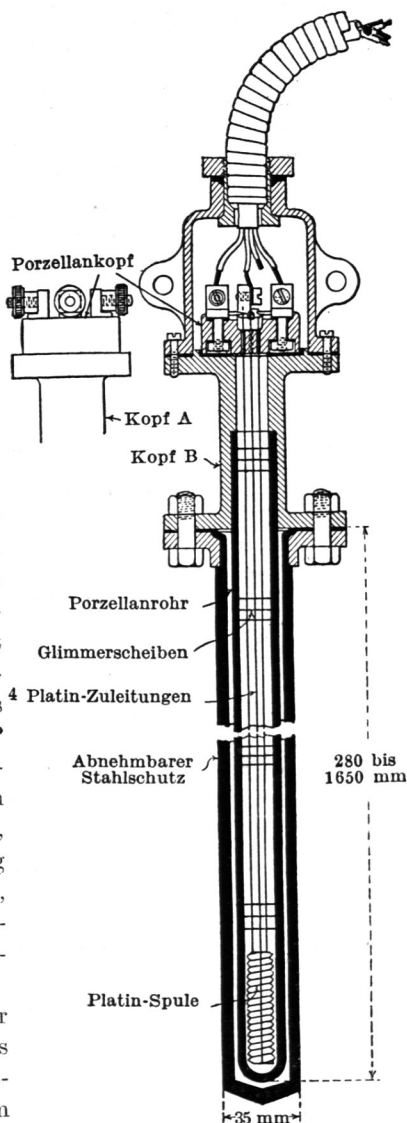


Fig. 9. Siemens Widerstandspyrometer für Temperaturen in Schornsteinen.

¹⁾ Für genaue Messungen muß eine Kompensation für die Pyrometer-zuleitungen vorgenommen werden, was auf verschiedene Weise möglich ist.

peratur und Widerstand des Platins ergibt sich aus der Gleichung:

$$W_t = W_0 (1 + \alpha t - \beta t^2),$$

wobei α und β Konstanten sind.

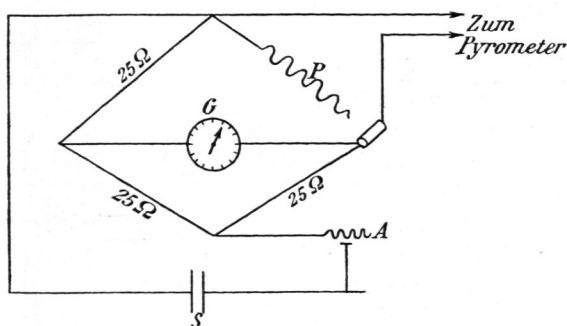


Fig. 10. Wheatstone'sche Brücke.

Die Angaben dieses Pyrometers sind, wie der Vergleich mit dem Gasthermometer zeigt, sehr genau, wenn über die Temperatur von 900°C nicht wesentlich hinausgegangen wird; bei höheren Temperaturen treten dauernde Widerstandsänderungen des Platins ein, die eine Nacheichung nötig machen.

Auch sonst ist es empfehlenswert, die Richtigkeit des Pyrometers von Zeit zu Zeit durch die Beobachtung von Schmelz- oder Siedepunkten reiner Stoffe zu kontrollieren.

Nachstehende Tabelle gibt einen Vergleich der Angaben des Widerstandspyrometers mit dem Gasthermometer.

Temperatur in Graden Celsius	
Gasthermometer	Widerstandspyrometer
523,1°	524,39°
641,1°	641,75°
820,0°	818,31°
875,0°	875,24°
959,8°	955,47°
1005,0°	1004,37°

c) Thermoelektrische Pyrometer.

Da für Temperaturen bis 900° das Widerstandspyrometer gut verwendbar ist und bei sehr hohen Temperaturen die Strahlungspyrometer genaue Werte liefern, war für das Temperaturintervall von 900° bis

etwa 1300° ein gutes Meßinstrument erforderlich. Dieses wurde von Le Chatelier in seinem thermoelektrischen Pyrometer geliefert.

Es besteht aus zwei 0,6 mm starken und 500—1000 mm langen Drähten, von denen der eine aus reinem Platin, der andere aus einer Legierung von Platin und Rhodium (90% Pt., 10% Rh.) besteht. Die beiden Drähte sind auf einer Seite zu einer kleinen Kugel, der „heißen Lötstelle“, verschmolzen, während die beiden anderen Enden mit Klemmschrauben verbunden sind. Die Drähte sind durch Röhrchen aus feuerfestem Ton von einander isoliert und zum Schutze gegen Feuergase und andere schädliche Einflüsse in ein Rohr aus Porzellan, beziehungsweise Eisen, eingeschlossen.

Fig. 11 und 12 zeigt den Bau des Instrumentes.

Die elektromotorische Kraft des Elementes Pt — PtRh ergibt sich nach Le Chatelier aus der Gleichung:

$$e = -0,15 + 0,115 t$$

während Holborn und Wien die Formel

$$e = -310 + 8,084 t + 0,00172 t^2$$

angeben.

Die Formel soll bis 1600° Gültigkeit haben, doch sind für so hohe Temperaturen die Strahlungs-pyrometer vorzuziehen.

Nach dieser Formel ist:

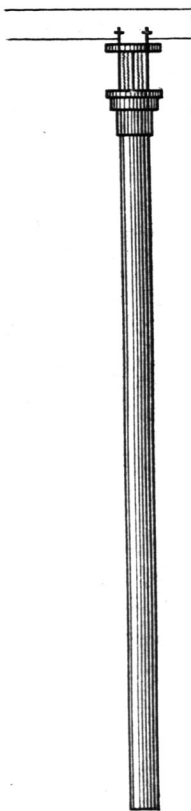


Fig. 11.
Thermoelektrisches
Pyrometer von Le
Chatelier
(Aussenansicht).

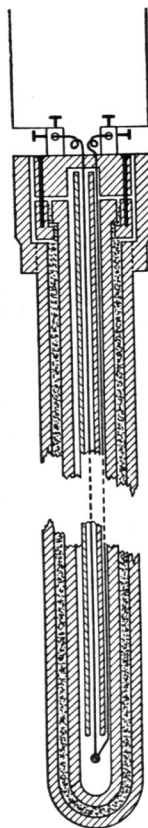


Fig. 12.
Thermoelektrisches
Pyrometer von Le
Chatelier
(Durchschnitt).

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 Registrirvorrichtungen 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, λ 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 Polarisation, 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.

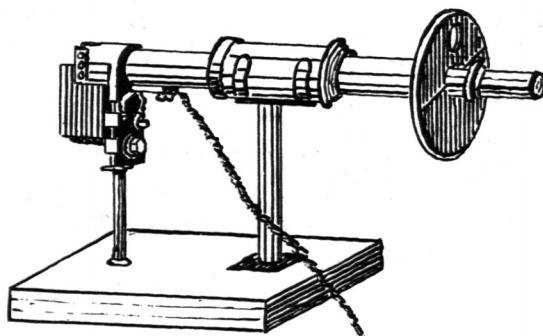


Fig. 13. Optisches Pyrometer von Wanner.

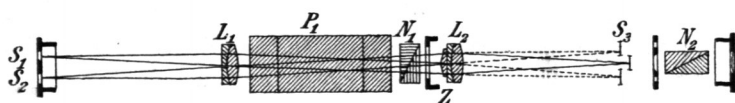


Fig. 14. Gang der Lichtstrahlen im optischen Pyrometer von Wanner.

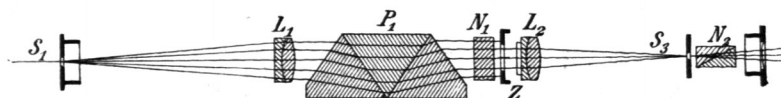


Fig. 15. Gang der Lichtstrahlen im optischen Pyrometer von Wanner.

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.

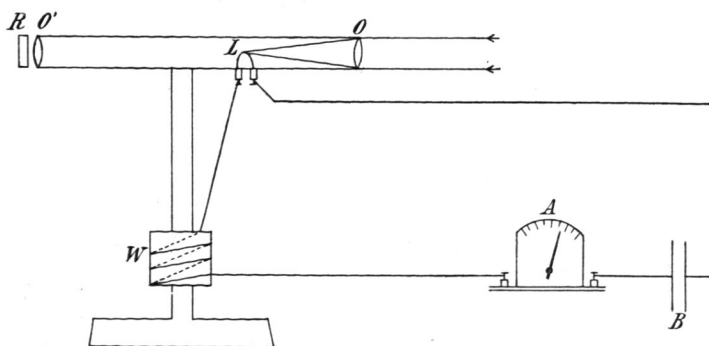


Fig. 16. Optisches Pyrometer von Holborn mit Kurlbaum.

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.

β . 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°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.

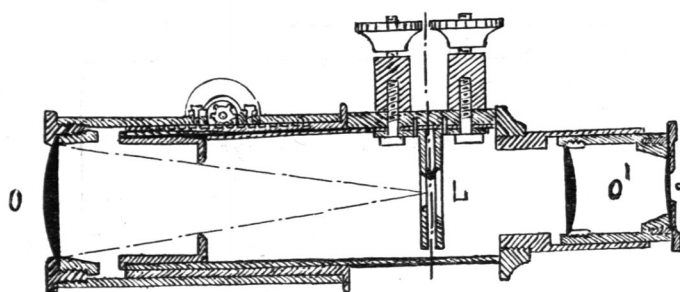
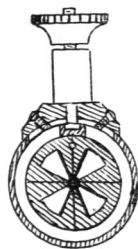


Fig. 17 a.
Pyrometer von Féry (Durchschnitt).



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

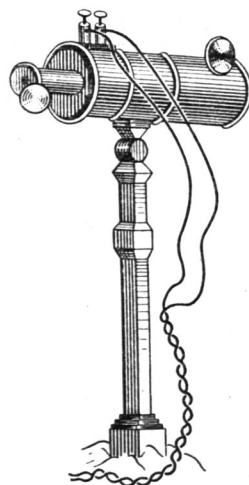


Fig. 17 b.
Pyrometer von Féry.

Entmischung (Seigerung) ein, was eine halbwegs genaue Bestimmung der Schmelztemperatur unmöglich macht. Schließlich ist auch eine chemische Einwirkung der Feuergase möglich, so daß entsprechende Schutzmaßnahmen getroffen werden müssen.

Nur in einer einzigen Form haben sich Schmelzpyrometer in der Industrie eingebürgert, nämlich als sogenannte *Seigerkegel*, wobei aber von einer genauen Temperaturmessung keine Rede sein kann.

Diese Seigerkegel sind kleine abgestumpfte, dreiseitige Pyramiden von 6 cm Höhe und 1,5 cm Basiskantenlänge, die aus *Silikatmischungen* von verschiedenem Erweichungspunkt hergestellt sind. Sie werden von 022 bis 42 gezählt. Aus nachstehender Tabelle sind die Erweichungspunkte einiger dieser Seigerkegel ersichtlich.

Nummer	Erweichungspunkt	Nummer	Erweichungspunkt
022	600° C	10	1300° C
015 a	790°	15	1435°
010 a	900°	20	1530°
05 a	1000°	30	1670°
01 a	1080°	35	1770°
1 a	1100°	38	1850°
5 a	1180°	42	2000°

Nr. 35 besteht aus einer bestimmten Kaolinsorte, Nr. 40 aus reinem Aluminiumoxyd. Die dazwischen liegenden Nummern werden aus Mischungen von Aluminiumoxyd und Kaolin erzeugt, die niedrigeren enthalten zunächst noch Quarz, wozu fernerhin noch Feldspat und Marmor treten; die niedrigsten sind auch borsäurehältig.



Fig. 18. Seigerkegel.

Die Seigerkegel werden auf Schamotteunterlagen in den Raum gebracht, dessen Temperatur zu messen ist; die höchste Nummer, deren Spitze nach Einwirkung der Hitze die Unterlage berührt, gibt die Temperatur an. Siehe Figur 18.

Um die Seigerkegel gegen die Wirkung der Feuergase und auch vor Stichflammen zu schützen, werden sie in Schamottegefäßen (Haubenlerchen) untergebracht (Fig. 19).

Obgleich diese Methode der Temperaturmessung schon aus dem Grunde keine genauen Werte liefern kann, weil die Dauer des Erhitzens

von Einfluß ist, ist sie doch besonders in der Tonwarenindustrie für vergleichende Beobachtungen von großer praktischer Bedeutung, wie schon die dort üblichen Temperaturangaben, wie beispielsweise „wird bei Segerkegel 12 bis 16 gar gebrannt“ beweisen.

f) Temperaturmessung auf kalorimetrischem Wege (Wasseryprometer).

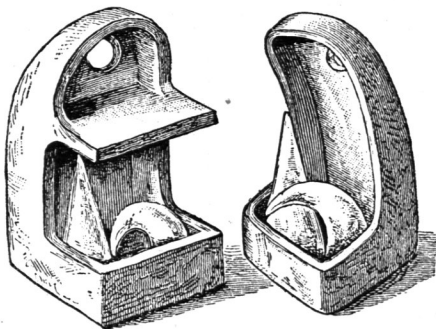


Fig. 19. Segerkegel in Schutzgefäßen.

Diese Methode besteht darin, daß ein Metallstück der zu messenden Temperatur ausgesetzt, hierauf rasch in das Kalorimeter gebracht und die Temperatursteigerung des darin befindlichen Wassers gemessen wird.

Ist g das Gewicht des Metallkörpers, s seine spezifische Wärme, T seine Temperatur, W das Gewicht des Wassers im Kalorimeter (einschließlich des Wasserwertes), t_1 dessen Temperatur vor und t_2 nach dem Einwerfen des Metalles, so ist

$$T = t_2 + \frac{W(t_2 - t_1)}{g \cdot s}.$$

Bedingung ist dabei, daß die spezifische Wärme des Metallkörpers bei den in Betracht kommenden Temperaturen gleich bleibt. Da dies nicht der Fall ist, bestimmt man T zunächst unter Annahme einer mittleren spezifischen Wärme, setzt hierauf die diesem T entsprechende spezifische Wärme in die Formel ein und berechnet die Temperatur neuerdings.

Fehlerquellen der Methode bestehen ferner darin, daß der Metallkörper am Wege vom Ofen zum Kalorimeter Wärme abgibt und beim Einwerfen in das Kalorimeter das Verdampfen des Wassers nicht ganz zu vermeiden ist.

Für die Metallkörper kommen praktisch nur Nickel und (besonders für hohe Temperaturen) Platin in Betracht; diese beiden Metalle zeigen keine allzu großen Änderungen der spezifischen Wärme mit der Temperatur, wie aus nachstehender Tabelle ersichtlich ist.

Temperatur ° C	Wärmekapazität Kalorien		Temperatur ° C	Wärmekapazität Kalorien	
	Platin	Nickel		Platin	Nickel
100°	3,23	12,0	900°	33,39	117,5
200°	6,58	24,0	1000°	37,70	134,0
300°	9,75	37,0	1100°	42,13	—
400°	13,64	50,0	1200°	46,65	—
500°	17,35	63,5	1300°	51,35	—
600°	21,18	75,0	1400°	56,15	—
700°	25,13	90,0	1500°	61,05	—
800°	29,20	103,0			

Die Metallkörper haben entweder Zylinder- oder Kugelform und sind nach 3 aufeinander senkrechten Richtungen durchbohrt, um die Wärme rascher abzugeben.

Zum Halten und Tragen der Metallstücke zum Kalorimeter sind eigene Vorrichtungen erdonnen worden. Fig. 20.

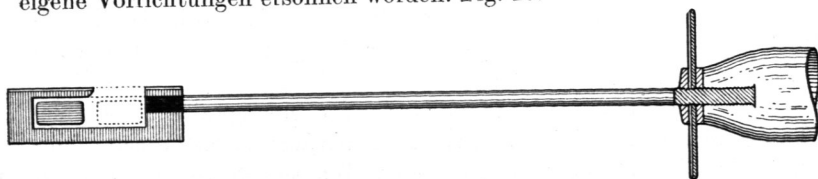


Fig. 20. Vorrichtung zum Tragen der Metallstücke zum Kalorimeter.

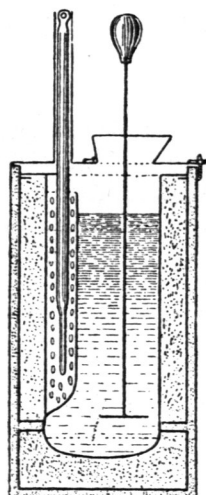


Fig. 21. Kalorimeter von F. Fischer.

Die Einrichtung des Kalorimeters zeigt Fig. 21. Über die Durchführung kalorimetrischer Versuche ist bei der Bestimmung des Heizwertes der Brennstoffe alles Nähere mitgeteilt worden (siehe Seite 14). Hier sei nur auf die Abweichungen, die im allgemeinen auf Vereinfachung abzielen, hingewiesen. So sei erwähnt, daß manche Kalorimeter mit Thermometern ausgestattet sind, die die gesuchte Temperatur direkt ablesen lassen, wenn die (verschiebbare) Skala vor dem Versuch auf den Nullpunkt eingestellt wird.

Die Temperatur kann aber auch mittels nachstehender Tabellen I und II berechnet werden, wobei die gesuchte Temperatur τ die Summe aus der Temperatur des Kalorimeterwassers nach dem Einwerfen des Metallkörpers (t) und einem aus Tabelle II zu entnehmenden Wert T ist, der sich wieder aus der Tabelle I ergibt.

$$\tau = t + T.$$

I.

(für 120 g Wasser und 20 g Platin)

T	$t - t_1$ (t_1 = Temp. des Wassers vor dem Einwerfen des Platins)
400°	2,19
500°	2,77
600°	3,35
700°	3,94
800°	4,55
900°	5,16
1000°	5,78

II.

(für 120 g Wasser und 20 g Platin)

$t - t_1$	T	T für $\frac{1}{10}$ ($t - t_1$)
2	366°	17
3	540°	17
4	710°	16
5	874°	16
6	1034°	16
7	1190°	16

z. B.

es seien: $t_1 = 12^0$, $t = 18,3^0$ also: $t - t_1 = 6,3^0$

Hieraus folgt:

$$\begin{array}{rcl} 6^0 & \text{entspricht} & T = 1034^0 \\ 0,3^0 & „ & T = 48^0 \\ & & t = 18^0 \\ \hline \text{somit} & & \tau = 1100^0. \end{array}$$

C. Brennstoffe.

1. Feste Brennstoffe.

a) **Holz.** Das Holz besteht aus zwei Hauptbestandteilen, der Zellulose und dem Lignin (den inkrustierenden Substanzen), deren Mengenverhältnis vom Alter der holzliefernden Pflanzen abhängig ist. Altes Holz kann bis zur Hälfte aus Lignin bestehen. Während die Zellulose ($C_6H_{10}O_5$) eine chemische Verbindung aus der Klasse der Kohlenhydrate ist, müssen wir im Lignin eine Mischung mehrerer Stoffe annehmen, die hauptsächlich zur Klasse der zyklischen Verbindungen gehören.

Die Einteilung des Holzes in hartes und weiches Holz beruht auf der Anordnung und Lagerung der Pflanzenzellen.

Die chemische Zusammensetzung des Holzes ist im Durchschnitt folgende (auf vollkommen trockenes Holz bezogen):

$$C = 50\%; \quad H = 6\%; \quad O = 43\%; \quad N + \text{Asche} = 1\%.$$

Im nicht künstlich getrockneten Holze sind beträchtliche Mengen Wasser enthalten; im frischen (grünen) Holz bis zu 50%, aber auch im