

# Berührungslose Messung von Oberflächentemperaturen mittels der Infrarot-Thermometrie

Rech, Helmut  
(1969)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00014086>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Article

Division: 16 Department of Mechanical Engineering  
16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/14086>

---

# Berührungslose Messung von Oberflächentemperaturen mittels der Infrarot - Thermometrie

## 1. Allgemeines

Speziell bei der Messung der Oberflächentemperaturen beweglicher Objekte muß berührungsfrei gearbeitet werden. In einigen Sonderfällen wird das Konvektionsthermometer verwandt. Dieses Gerät, vornehmlich für spezielle Meßaufgaben (Temperaturmessung an blanken Metalloberflächen) entwickelt, ist im Prinzip ein Temperaturfühler (z. B. Thermoelement), der in einem zur Oberfläche hin offenen, sonst aber isolierten Gehäuse sehr nahe aber berührungsfrei dem zu messenden Körper gegenübersteht. Ein im Gehäuse sitzender Ventilator bewegt das Luftpolster zwischen dem Temperaturfühler und der heißen Oberfläche sehr intensiv und fördert die konvektive Wärmeübertragung [1]. Obwohl dieses Meßverfahren einige Vorzüge aufweist, besitzt es doch eine Reihe von Mängeln (schwierige Eichung, Geschwindigkeits- und Abstandabhängigkeit), so daß in den meisten Fällen ein Infrarotstrahlungsthermometer mit größerem Vorteil angewandt werden kann.

## 2. Physikalische Grundlagen

Die Strahlungsthermometrie schließt von der von einem Objekt ausgesandten Strahlungsdichte auf seine Temperatur. Obwohl dieses Meßverfahren schon lange bekannt ist zur Überwachung der Glüh- und Schmelzprozesse in der Metallindustrie, ist es erst seit einigen Jahren möglich, auch die Strahlung von Objekten relativ niedriger Temperatur zu ermitteln. Um das Meßprinzip zu erläutern, ist es erforderlich, die wichtigsten physikalischen Grundlagen anzudeuten.

## 2.1 Das Planck'sche Gesetz

Der Zusammenhang der spektralen Energiestrahlung (Emissionsvermögen  $W$ ) eines schwarzen Körpers bei verschiedenen Wellenlängen  $\lambda$  und Temperaturen  $T$  wird vom Planck'schen Gesetz wiedergegeben, das die Grundlage für alle anderen Strahlungsgesetze ist. Es lautet:

$$W(\lambda, T) = \frac{2\pi \cdot C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} - 1} \quad \frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2 \text{ Fläche} \cdot \text{cm Wellenlänge}} \quad (1)$$

## 2.2 Das Wien'sche Verschiebungsgesetz

Die spektrale Energieverteilung eines schwarzen Strahlers zeigt ein Maximum, welches sich mit zunehmender Energie in das Gebiet kleinerer Wellenlängen verschiebt. Es gilt die von Wien gefundene Näherungsgleichung:

$$\lambda(W_{\max}) = \frac{2900}{T} \quad \begin{array}{l} \lambda \text{ in } \mu\text{m} \\ T \text{ in } ^\circ\text{K} \end{array} \quad (2)$$

Das Maximum der Energieverteilung eines Strahlers, dessen Oberflächentemperatur  $17^\circ\text{C} = 290^\circ\text{K}$  beträgt, befindet sich dann bei einer Wellenlänge  $\lambda(W_{\max}) = 10 \mu\text{m}$ , beträgt hingegen die Oberflächentemperatur  $2627^\circ\text{C}$  bzw.  $2900^\circ\text{K}$ , so befindet sich das Maximum der Energieverteilung bei einer Wellenlänge von  $\lambda(W_{\max}) = 1 \mu\text{m}$ . Daraus ist zu ersehen, daß beim Bau von Strahlungsthermometern Strahlungsempfänger verwandt werden müssen, welche in einem sehr weiten Bereich des Infrarotgebietes eine hohe Empfindlichkeit besitzen.

## 2.3 Das Stefan-Boltzmann'sche Gesetz

Die Energie, die von  $1 \text{ cm}^2$  Oberfläche eines schwarzen Körpers je Zeiteinheit in den Halbraum emittiert wird, ergibt sich

durch Integration des Planck'schen Gesetzes über alle Wellenlängen. Es gilt somit:

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad \text{Watt/cm}^2 \quad (3)$$

Die Boltzmann-Konstante  $\sigma$  besitzt den Wert  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12}$  Watt/cm<sup>2</sup>·°K<sup>4</sup>. Nichtschwarze Körper weisen eine Abstrahlung auf, die um einen von den Oberflächeneigenschaften abhängigen Emissionsfaktor  $\epsilon$  geringer ist. Es gilt dann für solche Oberflächen:

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \text{Watt/cm}^2 \quad (4)$$

Die Temperatur einer Oberfläche kann somit über eine Strahlungsmessung bestimmt werden, wenn der Emissionsfaktor  $\epsilon$  bekannt ist.

### 3. Aufbau eines Infrarotstrahlungsthermometers

Ein Teil der von dem Meßobjekt emittierten Strahlung durchläuft zunächst die Optik des Meßkopfes, welche im IR-Gebiet gute Durchlässigkeit besitzen muß, bevor sie zu einem Strahlungsempfänger gelangt.

Dieser Strahlungsempfänger kann als thermoelektrischer Strahlungsempfänger ausgebildet sein. In diesem Falle besteht er praktisch aus einem Thermoelement und einem Vergleichselement oder aus einer Anzahl von hintereinandergeschalteten Thermoelementen [2]. Daneben werden zur Registrierung der einfallenden Strahlung auch photoelektrische Strahlungsempfänger verwandt. Solche können Photozellen, Sekundärelektronen-Vervielfacher oder auch Photowiderstände sein, welche alle im Infrarotgebiet eine möglichst breite Empfindlichkeitsverteilung besitzen müssen. Es gibt auch seit kurzem Sekundärelektronen-Vervielfacher, die einen sehr weiten Empfindlich-

keitsbereich besitzen ( $1 \dots 20 \mu\text{m}$ ). Alle diese Strahlungsempfänger verwandeln die einfallende Strahlung in eine elektrische Größe (Bild 1).

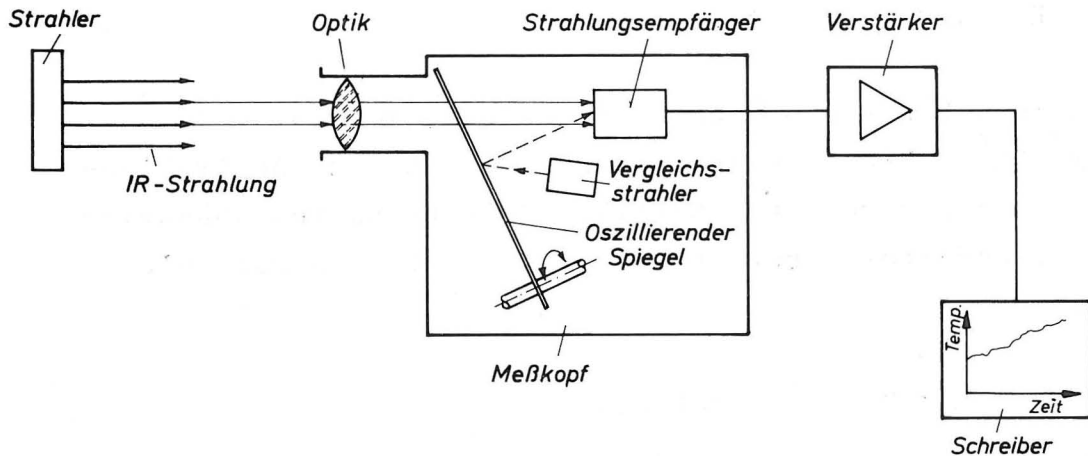


Bild 1 Prinzip des IR-Strahlungsthermometers

Das erzeugte Signal muß dann meistens noch verstärkt werden, damit es auch von einfacheren Registriergeräten zur Anzeige gebracht werden kann. Zu Stabilisierungszwecken wird häufig noch eine von einem im Meßkopf eingebauten Vergleichsstrahler gelieferte Vergleichsstrahlung unter Zuhilfenahme eines oszillierenden Spiegelsystems dem Strahlungsempfänger zugeführt. Auf den Strahlungsempfänger fallen dann abwechselnd die Meßstrahlung und die Vergleichsstrahlung. Dadurch ist es möglich, ein solches Gerät ausreichend zu stabilisieren. Ferner muß noch darauf hingewiesen werden, daß die meisten Infrarotstrahlungsthermometer recht träge arbeiten, da sie massebehaftete Strahlungsempfänger als Aufnehmer besitzen (Bolometer, Thermokette, Thermoelement). Zur Messung von Aufheizvorgängen in Farbwerken sind diese Geräte jedoch ausreichend schnell.

#### 4. Eichung des Gerätes

Wird mit dem Infrarotstrahlungsthermometer die Oberflächentemperatur eines grauen Strahlers gemessen, so wird das Meßergebnis einmal dadurch verfälscht, daß die Oberfläche nur einen Bruchteil  $\epsilon$  der maximal möglichen Energie  $E_0$  aussendet und zum anderen

auch dadurch, daß die Strahlung  $E_u$  welche von den Wänden der Umgebung stammt, durch Reflektion an der Oberfläche zur Anzeige gebracht wird. Der Instrumentenausschlag  $E_a$  setzt sich also aus zwei Anteilen zusammen:

$$E_a \approx \epsilon \cdot E_o + (1 - \epsilon) \cdot E_u \quad (5)$$

$$E_a \approx \epsilon \cdot T_o^4 + (1 - \epsilon) \cdot T_u^4 \quad (6)$$

Je kleiner der Emissionsfaktor ist, desto stärker wird sich auch der Umgebungseinfluß bemerkbar machen.

Die eigentliche Eichung zerfällt in zwei Abschnitte. Der erste Abschnitt befaßt sich mit der Eichung des Gerätes unter Zuhilfenahme eines schwarzen Körpers. Der zweite Abschnitt dient der Ermittlung des Emissionsfaktors eines zu untersuchenden Materials. Definierte Verhältnisse erhält man bei Verwendung eines Prüfstrahlers, wie er vom Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren entwickelt wurde (Bild 2).

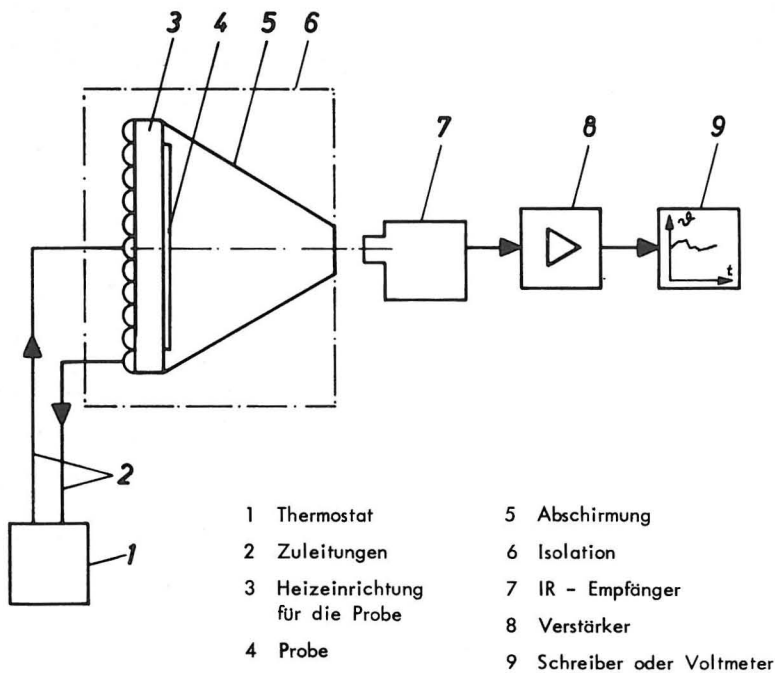


Bild 2 Eicheinrichtung

Im ersten Abschnitt der Eichung wird der Prüfstrahler als schwarzer Strahler verwandt. Dies geschieht, indem man eine berußte dünne Metallfolie auf die Heizplatte aufbringt. Erhöht man schrittweise die Strahlertemperatur, so erhält man die Eichkurve für den schwarzen Strahler ( $\epsilon = 1$ ). Um jedoch die Eichkurve nicht als Parabel vierter Ordnung, sondern als Gerade darzustellen, empfiehlt sich die Darstellung nach Bild 3.

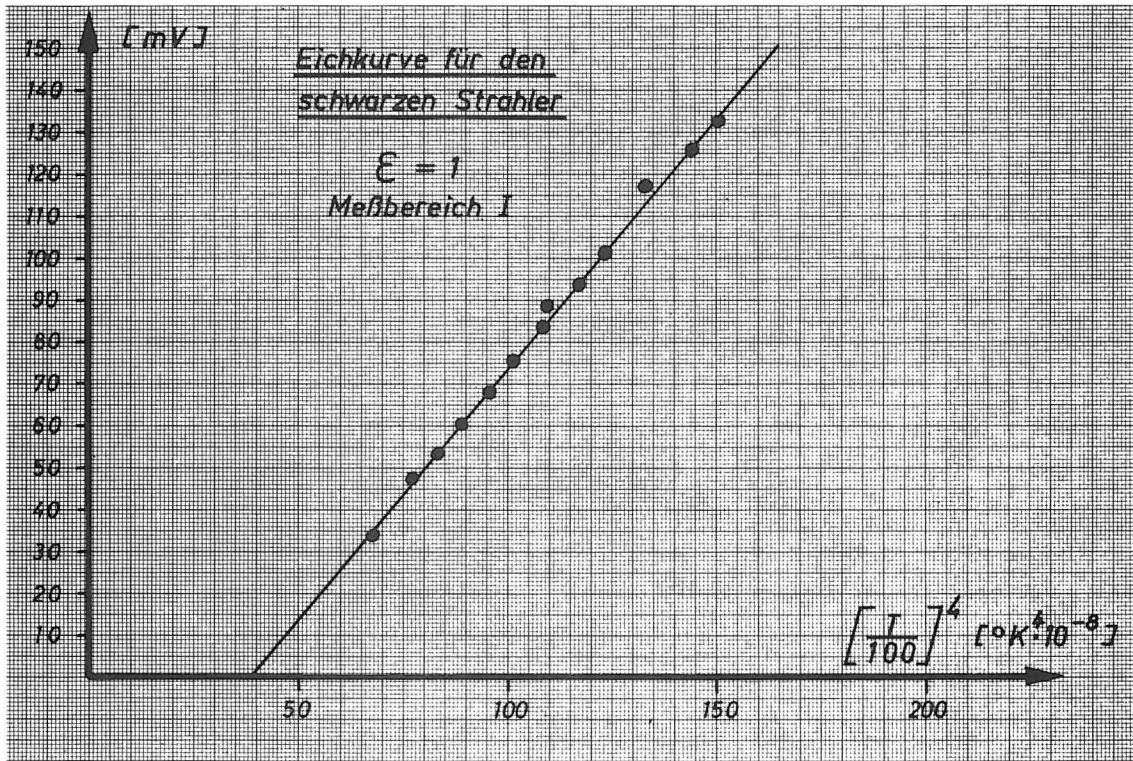


Bild 3 Eichkurve für den schwarzen Strahler

Die Steigung der Geraden entspricht der Gerätekonstanten. Werden andere Objekte anstelle des schwarzen Strahlers untersucht, so erhält man eine von der Geraden des schwarzen Strahlers abweichende Gerade, deren Steigerung das Produkt aus Emissionsfaktor und der Gerätekonstanten ist. Damit ist der Emissionsfaktor bestimmt. In der Regel genügt es, zwei Kurvenpunkte bei zwei Temperaturen zu ermitteln.

### 5. Zusammenfassung

Zur Messung der Oberflächentemperatur der Massewalzen von Walzenfarbwerken wird vorzugsweise ein Infrarotstrahlungsthermometer verwandt. Zur Eichung des Gerätes wurde eine spezielle

Apparatur entwickelt, die auch die Ermittlung der Emissionsfaktoren der zu untersuchenden Materialien gestattet.

Dipl.-Ing. Helmut Rech, TH Darmstadt

#### Literatur

- [1] Lück, W.: "Berührungslose Oberflächentemperaturmessung in der Verfahrensindustrie", VDI-Berichte No 112, 1966
- [2] Bauer, G.: "Strahlungsmessungen im optischen Spektralbereich", Viehweg & Sohn, Braunschweig, 1962