

Prinzip, Vorteile, Grenzen und Einsatzmöglichkeiten von Quotienten-Pyrometern in thermischen Prozessen

von **Albert Book**

Quotienten-Pyrometer sind in heutigen Anwendungen von Infrarot-Thermometern nicht mehr wegzudenken. Der folgende Artikel erläutert die physikalischen Grundlagen, Vorteile, funktionellen und analytischen Möglichkeiten sowie die Grenzen der Quotienten-Pyrometrie. Anhand praktischer Anwendungen werden typische Einsatzbereiche vorgestellt.

Messprinzip

Ein Quotienten-Pyrometer erfasst die Wärmestrahlung eines Messobjektes in zwei unterschiedlichen Wellenlängenbereichen. Der Quotient der beiden spektralen Strahldichten ϕ ändert sich näherungsweise proportional zur Temperatur. Verbunden mit den spektralen Strahldichten ist der jeweilige Emissionsgrad ϵ der Messoberfläche für die beiden Wellenlängen (**Bild 1**).

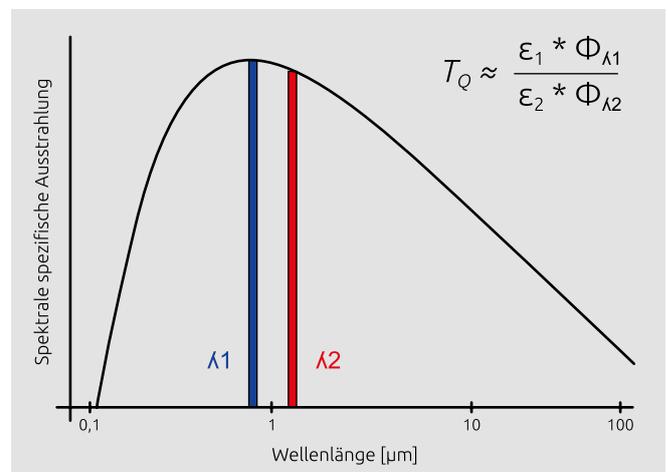


Bild 1 Quotienten-Pyrometer messen in zwei Wellenlängenbereichen die Strahlung und ermitteln aus dem Verhältnis der Strahldichten die Temperatur.

Um den wellenlängenabhängigen Einfluss des Emissionsgrades der Messoberfläche gering zu halten, werden Wellenlängenbereiche ausgewählt, die nahe beieinander liegen. Dies bedeutet jedoch andererseits, dass sich die beiden Strahldichten kaum unterscheiden. Der Quotient aus zwei nahezu identischen Werten ändert sich in Abhängigkeit der Objekttemperatur nur sehr gering. Daher ist die kleinste messbare Temperatur eines Quotienten-Pyrometers auf ca. 300 °C begrenzt. Um diese kleinen Signaländerungen überhaupt auswerten zu

| | $\epsilon_1 = 0,95$ und $\epsilon_2 = 0,93$ $\Delta\epsilon = 0,02 / (\epsilon_1)/(\epsilon_2) = 1,022$ | | $\epsilon_1 = 0,4$ und $\epsilon_2 = 0,38$ $\Delta\epsilon = 0,02 / (\epsilon_1)/(\epsilon_2) = 1,053$ | | $\epsilon_1 = 0,4$ und $\epsilon_2 = 0,3$ $\Delta\epsilon = 0,1 / (\epsilon_1)/(\epsilon_2) = 1,33$ | |
|---------------------------|--|-----------------------|---|-----------------------|--|-----------------------|
| Messkanal | angezeigte Temperatur | Abweichung ΔT | angezeigte Temperatur | Abweichung ΔT | angezeigte Temperatur | Abweichung ΔT |
| Spektralkanal λ_1 | 796 °C | -4 °C | 731 °C | -69 °C | 731 °C | -69 °C |
| Spektralkanal λ_2 | 794 °C | -6 °C | 723 °C | -77 °C | 706 °C | -94 °C |
| Quotient | 823 °C | +23 °C | 856 °C | +56 °C | 1164 °C | +364 °C |

Tabelle 1 Einfluss bei einer emissionsgradabhängigen Schwächung für das Spektral- und Quotienten-Messverfahren.

können, bedarf es einer großen Verstärkung. An die Qualität der Sensoren, elektronischen Verstärker und A/D-Wandler werden daher höchste Ansprüche gestellt, um einen hohen Signal/Rauschabstand bzw. einen kleinen NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) und damit die für eine genaue Messung erforderliche hohe Temperaturauflösung zu erreichen. Zur Kontrolle des NETD ist das Gerät am Messbereichsanfang mit der kürzesten Einstellzeit zu betreiben und dabei die Stabilität des Messsignals zu überprüfen.

Vorteile des Quotienten-Pyrometers

Der große Vorteil des Quotienten-Messverfahrens ist, dass bei einer wellenlängenunabhängigen Signalschwächung die korrekte Temperatur ermittelt wird. Kommt es z.B. durch ein verschmutztes Schauglas oder Dampf, Rauch und Staub im Sichtfeld des Pyrometers zu einer Signalminderung, bleiben der Quotient und damit die angezeigte Temperatur konstant.

Bei gleichen Emissionsgraden $\epsilon_1 = \epsilon_2$ (grauer Strahler) für die beiden Wellenlängen kürzt sich der Term des Emissionsgrades in der Gleichung heraus und das Quotienten-Pyrometer zeigt unabhängig vom Emissionsgrad des Messobjektes die wahre Temperatur an. Auch wenn sich der Emissionsgrad des Messobjektes für beide Wellenbereiche in gleichem Maße verändert, hat dies keinen Einfluss auf das Messergebnis. Abweichungen von der wahren Temperatur aufgrund konstanter Unterschiede der beiden Emissionsgrade können durch die Einstellung des Emissionsgradverhältnisses am Pyrometer korrigiert werden.

Einfluss einer wellenlängenabhängigen Signaländerung auf die Quotienten-Temperatur

Wie jedoch verhält sich ein Quotienten-Pyrometer, wenn sich bei der Messung an einem sogenannten bunten Strahler der

Emissionsgrad aufgrund der Oberfläche oder abhängig von der Temperatur für die beiden Wellenlängen unterschiedlich stark verändert?

Der gleiche selektive Effekt ergibt sich, wenn durch dünn-schichtige Ablagerungen (z.B. Ölfilme oder Bedampfungen) sich die Transmission des Schauglases wellenlängenabhängig verändert. Auch das Quotienten-Verfahren ist nicht völlig unabhängig von den Strahlungseigenschaften des Messobjektes wie manchmal in der Literatur zu lesen ist.

Anhand der drei Beispiele in **Tabelle 1** wird der unterschiedliche Einfluss bei einer emissionsgradabhängigen Schwächung für das Spektral- und Quotienten-Messverfahren deutlich. Bezogen auf eine Temperatur von 800 °C eines „Schwarzen Strahlers“ mit einem Emissionsgrad $\epsilon = 1$ ergeben sich aus dem Planck'schen Strahlungsgesetz für ein Quotienten-Pyrometer mit $\lambda_1 = 0,95 \mu\text{m}$ und $\lambda_2 = 1,05 \mu\text{m}$ bei einer unterschiedlichen Änderung der wellenlängenbezogenen Emissionsgrade folgende Temperaturwerte (siehe Tabelle 1).

Schon bei einem geringen Unterschied des Emissionsgrades ergibt sich bereits eine große Abweichung in der Quotienten-Temperatur. Die Abweichung steigt mit geringer werdendem Absolutwert des Emissionsgrades. Ein Quotienten-Pyrometer verhält sich bei wellenlängenabhängigen Signaländerungen um ein Mehrfaches empfindlicher als ein Spektral-Pyrometer je größer die Differenz und je geringer der absolute Wert des Emissionsgrades ist.

Wie in **Bild 2** zu erkennen ist, ist die Empfindlichkeit in Bezug auf das Emissionsgradverhältnis umso größer, je näher die Wellenlängenbereiche des Gerätes beieinander liegen.

Daraus ließe sich ableiten, dass Geräte mit einer größeren Differenz zwischen den beiden Wellenlängenbereichen stabilere Messwerte liefern. Andererseits gilt für Metalle die physikalische Gesetzmäßigkeit, dass mit steigender Wellenlänge

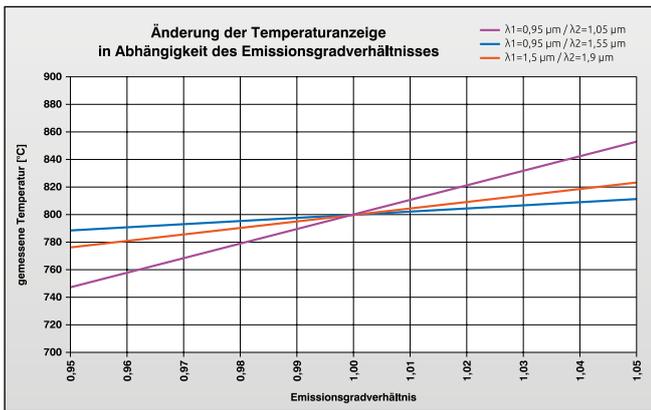


Bild 2 Einfluss auf die angezeigte Temperatur bei Änderung des Emissionsgradverhältnisses vom Messobjekt für verschiedene Messwellenlängen bezogen auf eine Objekttemperatur von 800 °C.

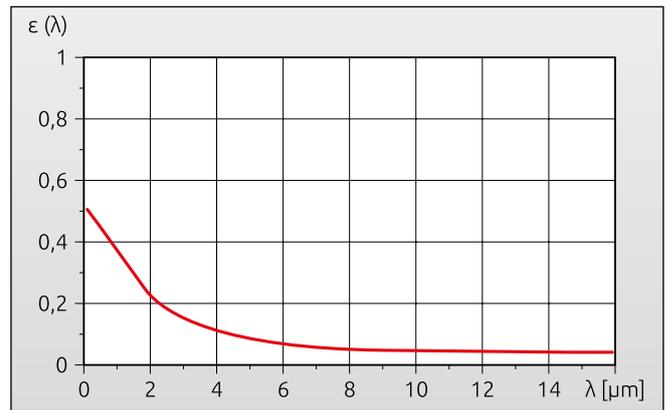


Bild 3 Bei Metallen verringert sich der Emissionsgrad mit steigender Messwellenlänge.

sich der spektrale Emissionsgrad des Messobjektes verringert (**Bild 3**).

Diese beiden konträren Zusammenhänge sind bei dem praktischen Einsatz der Geräte zu beachten. Tendenziell gilt auch für Quotienten-Pyrometer die Empfehlung, Geräte mit möglichst kurzen und nahe beieinander liegenden Wellenlängen einzusetzen. Insbesondere wenn Wasserdampf im Spiel ist, kann dies aufgrund der Absorptionsbande der Atmosphäre bei Geräten mit einer längeren Wellenlänge zu einer erheblichen Fehlmessung führen.

Ein Spektral- oder Einkanal-Pyrometer zeigt bei einer Signalchwächung immer eine zu niedrige Temperatur an. Anders verhält sich ein Quotienten-Pyrometer. Es kann sowohl eine zu hohe als auch eine zu niedrigere Temperatur anzeigen abhängig davon, ob sich der kurz- oder langwellige Kanal stärker verändert.

Die Ausrichtung des Gerätes auf die maximale Temperatur funktioniert daher nicht wie bei einem Spektral-Pyrometer. Moderne Quotienten-Pyrometer verfügen über die Möglichkeit, die Signalstärke auf dem Display anzuzeigen. Damit lässt sich dann das Gerät wie bei einem Spektral-Pyrometer auf das Maximum ausrichten.

Grundsätzlich ist immer Vorsicht geboten, wenn bei einer berührenden

Vergleichsmessung das Thermoelement einen höheren Wert als das Quotienten-Pyrometer anzeigt. Dann liegt ein wellenlängenabhängiger Einfluss vor. Welche Möglichkeit bietet sich dennoch für den Anwender, etwaige fehlerhafte Messwerte zu ermitteln? Dazu lässt sich die Signalstärke auf dem Display anzeigen oder per Schnittstelle parallel zu den Messsignalen aufzeichnen und auswerten. Je höher dieser Wert ist, desto zuverlässiger ist die Messung. Noch aussagefähiger ist die parallele Aufzeichnung und Auswertung der beiden Spektraltemperaturen und des Quotienten. Je geringer die Schwankungen der Temperaturdifferenz für die beiden Wellenlängen λ_1 und λ_2 sind, desto zuverlässiger ist der Quotienten-Wert. Die folgenden Messkurven zeigen das Verhalten der Messwerte bei ei-

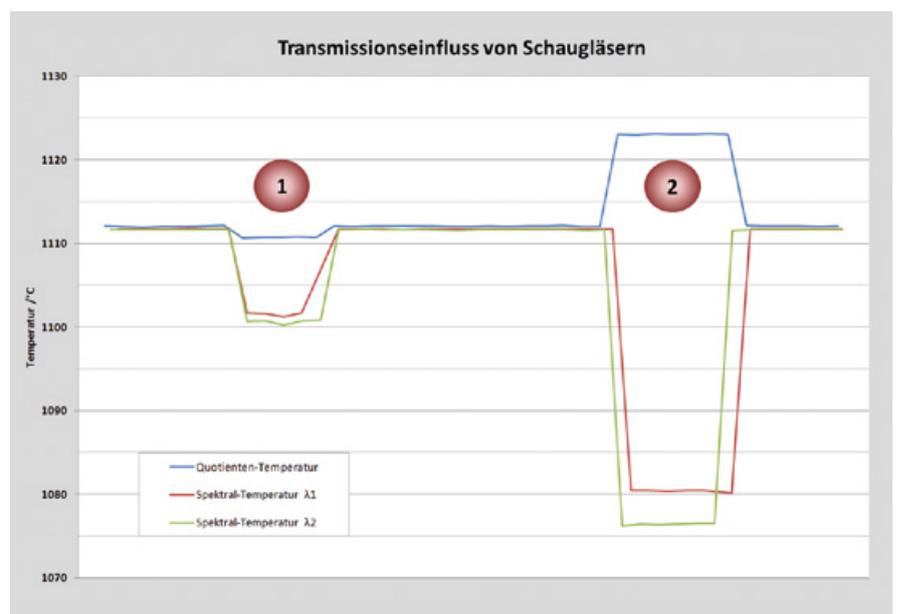


Bild 4 Vergleichsmessung der Temperaturänderung für ein hochwertiges Schutzglas (1) und ein minderwertiges Verbundglas (2).

ner neutralen Signalschwächung durch ein Schauglas mit einer Transmission von 93 % und einem Fensterverbundglas mit einer wellenlängenabhängigen Transmission (**Bild 4**).

Deutlich ist die Minderanzeige der spektralen Temperaturen für das Schutzglas (1) zu sehen. Dagegen bleibt der Quotienten-Wert nahezu konstant. Bei dem qualitativ minderwertigen Verbundglas (2) fallen die Spektralen noch erheblich stärker und zudem unterschiedlich stark ab. Dies führt auch für den Quotienten zu einer erheblichen Messabweichung.

Bei Quotienten-Pyrometern ist bei der Messung durch Schaugläser daher unbedingt darauf zu achten, dass die Gläser eine neutrale Transmissionskurve in dem Wellenlängenbereich des Pyrometers besitzen. Dies lässt sich auf sehr einfache Weise prüfen, indem während der Messung vor das Pyrometer eine Scheibe gehalten wird. Die Quotienten-Temperatur darf sich dabei nur unwesentlich verändern.

Betrieb des Quotienten-Pyrometers bei Teilausleuchtung

Ein weiter großer Vorteil der Quotienten-Pyrometrie ist, dass Messobjekte auch kleiner als das Messfeld sein dürfen. Bei einem Spektral-Pyrometer muss das Messobjekt stets größer als das Messfeld sein, da ein Spektral-Pyrometer den Mittelwert der Strahlung innerhalb des gesamten Messfeldes erfasst. Ansonsten wird bei einem kleinen Messobjekt vor einem kalten Hintergrund immer eine zu niedrige Temperatur ermittelt.

Ist bei einem Quotienten-Pyrometer das Messfeld vom Messobjekt nicht vollständig ausgeleuchtet (Teilausleuchtungseffekt), wirkt dies wie eine neutrale Schwächung der Infrarotstrahlung. Daher liefert ein Quotienten-Pyrometer auch noch korrekte Messwerte, wenn das Objekt um bis zu 80 % kleiner als das Messfeld des Pyrometers ist. Der Grad der minimalen Teilausleuchtung ist vom Emissionsgrad und der Temperatur des Messobjektes abhängig. Idealerweise sollte die Position des Objektes im Messfeld beliebig sein und den angezeigten Temperaturwert nicht beeinflussen. Jedoch gibt es diesbezüglich große Qualitätsunterschiede zwischen den am Markt angebotenen Geräten. Bei Pyrometern mit einem einfachen optischen Aufbau, einer geringeren Korrektur der optischen Abbildungsfehler der Objektivlinse und Sensoren mit inhomogener Empfindlichkeitsverteilung kann bei konstanter Objekttemperatur der Messwert um bis zu 20 - 30 °C ansteigen, wenn sich z.B. ein heißer Draht im Randbereich des Messfeldes befindet (**Bild 5**).

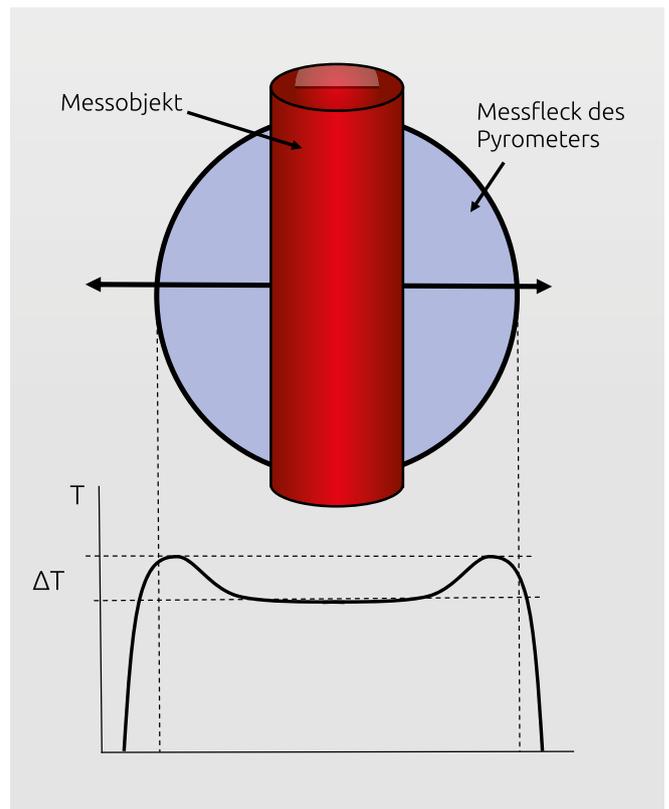


Bild 5 Fehlerhafter Temperaturanstieg bei einfachen Quotienten-Pyrometern, wenn sich das heiße Objekt im Randbereich des Messfeldes befindet.

Ein weiterer Vorteil bei der Messung an kleinen Objekten ist, dass ein Quotienten-Pyrometer deutlich unempfindlicher auf die optische Ausrichtung und korrekte Fokussierung reagiert. Dagegen muss ein Spektral-Pyrometer sehr genau auf das Messobjekt ausgerichtet und fokussiert werden, um Messfehler zu vermeiden, wenn das Messobjekt kaum größer als das Messfeld ist.

Die folgende Messkurve (**Bild 6**) wurde mit einem Quotienten-Pyrometer mit einem Messfeld von $\varnothing 8$ mm an einem Messobjekt mit ebenfalls $\varnothing 8$ mm aufgenommen. Parallel wurde eine Spektraltemperatur mit aufgezeichnet. Der fest eingestellte Fokusabstand betrug 500 mm (Messpunkt 1). Dann wurde der Messabstand auf 250 mm verringert (Messpunkt 2). Auf die Quotienten-Temperatur hat die Defokussierung nur einen geringen Einfluss, wohingegen die Spektraltemperatur um ca. 20 °C abweicht. Anschließend wurde der Messabstand auf 1000 mm eingestellt (Messpunkt 3). Das Messfeld des Pyrometers ist dabei doppelt so groß wie das Messobjekt. Wiederum bleibt die Quotienten-Temperatur nahezu auf gleichem Niveau. Dagegen fällt der Spektralwert aufgrund der Defokussierung und Teilausleuchtung stark ab.

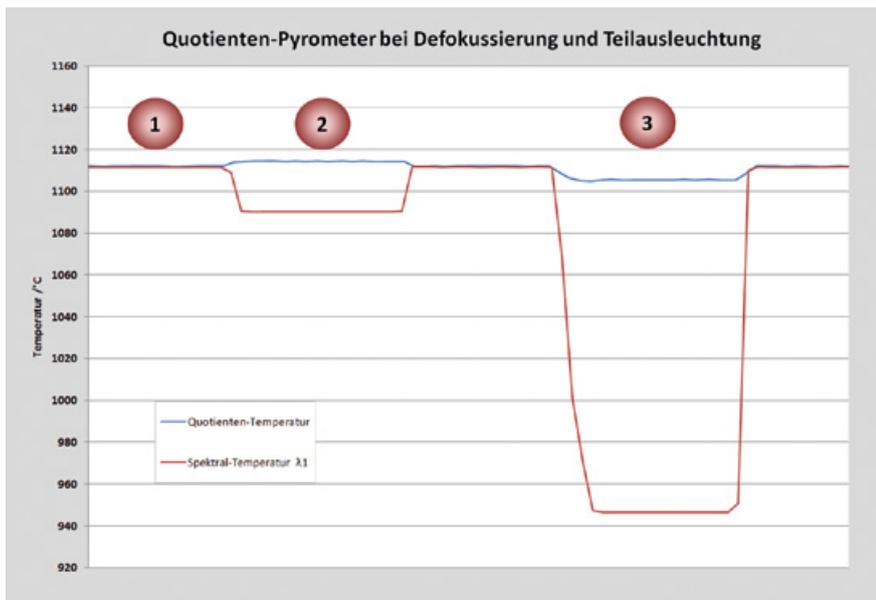


Bild 6 Einfluss des Messabstandes auf die Quotienten- und Spektraltemperatur.

Messfelddurchmesser in 20 Meter Abstand von 200 mm. Die Temperaturverteilung auf der Bramme ist aufgrund des Zunders extrem inhomogen. Bei einem Spektral-Pyrometer wird die Temperatur aus dem Mittelwert der gesamten im Messfeld empfangenen Strahlung ermittelt. Der Messwert ist daher von der Temperaturverteilung und dem Zunder abhängig. Da sich die Bramme auf dem Rollengang bewegt, würde dies bei ungefilterter Signalauswertung zu einem schwankenden Messwert führen. Seitens der Pyrometer Hersteller gibt es daher die Empfehlung, unter diesen Bedingungen ein Pyrometer mit einer sehr hohen optischen Auflösung von $> 200 : 1$ einzusetzen, um ein möglichst kleines Messfeld zu erzielen. Mittels des

Maximalwertspeichers wird die höchste Temperatur an den zunderfreien Stellen erfasst.

Verhalten von Quotienten-Pyrometer bei inhomogener Temperaturverteilung auf dem Messobjekt

Bei der Temperaturmessung von Blechen und Brammen im Walzgerüst tritt aufgrund der extremen Bedingungen immer wieder die Frage nach dem zu empfehlenden Messverfahren Spektral oder Quotient auf (**Bild 7**).

Aus konstruktions- und wärmetechnischen Gründen sind die Geräte in großer Messentfernung von mehreren Metern montiert. Bei Verwendung einer Standard-Optik mit einer optischen Auflösung von beispielsweise 100:1 ergibt sich ein

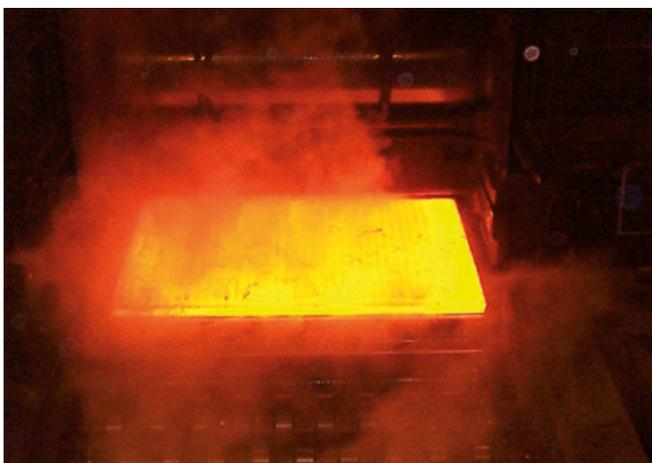


Bild 7 Im Walzgerüst herrschen extreme Messbedingungen durch Wasserdampf und Zunder.

Wie reagiert jedoch ein Quotienten-Pyrometer auf eine inhomogene Temperaturverteilung im Messfeld? Das Verhalten eines Quotienten-Pyrometers ist bei einer inhomogenen Temperaturverteilung komplexer. Es ist abhängig von der Gesamtfläche der „Hot Spots“ und der Temperaturunterschiede zwischen den heißen und kalten Stellen im Messfeld. Aufgrund des beschriebenen Teilausleuchtungseffektes ermittelt ein Quotienten-Pyrometer die Temperatur der heißesten Stelle im Messfeld unter der Voraussetzung eines signifikanten Temperaturunterschiedes von $> 200 \text{ °C}$ zwischen den heißen und kalten Bereichen.

Bei der Messung an einer Bramme können aufgrund des Zunders mehrere heiße Stellen im Messfeld auftreten. Ist der Temperaturunterschied gering, ermittelt das Quotienten-Pyrometer ebenfalls aus dem Mittelwert der empfangenen Strahlung die Temperatur. Daher gilt auch für ein Quotienten-Pyrometer die Empfehlung des Einsatzes von Geräten mit hoher optischer Auflösung und guten Abbildungsqualitäten, um mittels der Maximalwernerfassung den Einfluss von Inhomogenitäten zu minimieren.

Sofern mit Wasserdampf und Verschmutzungen beim Warmwalzprozess zu rechnen ist, ist vorzugsweise ein Quotienten-Pyrometer einzusetzen. Durch die Verwendung der Verschmutzungsüberwachung des Quotienten-Pyrometers lässt sich zudem die Betriebssicherheit der Messwernerfassung erhöhen.

Quotienten-Pyrometer zur Messungen von kälteren Objekten in heißer Ofenatmosphäre

Oft diskutiert wird die Thematik der Temperaturmessung von kälteren Objekten innerhalb eines heißen Ofens. Kalte Schmiedeteile werden zur Erwärmung in heiße Öfen gelegt oder kalte Brammen durchlaufen die verschiedenen Heizzonen eines Stoßofens. Aufgrund der hohen sogenannten Hintergrundstrahlung der heißen Ofenwand, die vom Messobjekt reflektiert und damit auch vom Pyrometer mit erfasst wird, zeigt das Pyrometer immer eine zu hohe Temperatur an. Je näher sich die Temperatur des Werkstücks an die des Ofens angleicht, desto geringer ist der Störeffekt. Die effektivste Lösung zur Eliminierung der Hintergrundstrahlung ist der Einsatz von wassergekühlten Visierrohren. Dies ist jedoch mit hohen Investitions- und permanenten Betriebskosten verbunden. Außerdem könnte der Einbau eines Rohres innerhalb eines Ofens, das bis nahezu zum Werkstück ragt, aus bautechnischen Gründen schwierig oder unmöglich sein.

Daher werden die Geräte oft ohne Visierrohr eingesetzt, wohlweislich der Kenntnis der mehr oder weniger starken Fehlmessung. Der Einfluss der Hintergrundstrahlung kann vermindert werden, wenn die Temperatur des Strahlungshintergrundes mit einem Thermoelement oder zweiten Pyrometer getrennt erfasst und die reflektierende Störstrahlung im Pyrometer rechnerisch korrigiert wird. Diese Korrektur kann mit einer Unsicherheit behaftet sein, insbesondere wenn der Emissionsgrad des Objektes klein ist, schwankt oder nicht genau bekannt ist.

Wenn für metallische Objekte aus physikalischen Gründen die Faustregel „So kurzweilig wie möglich messen“ gilt, um den Emissionsgradeinfluss so gering wie möglich zu halten, ist diese Betrachtung bei der Messung kälterer Objekte in heißer Atmosphäre genau umgekehrt.

Die Hintergrundstrahlung wirkt sich bei einem länger wellig messenden Gerätes geringer aus. Andererseits ist bei einer länger welligen spektralen Empfindlichkeit der Emissionsgrad ϵ von Metallen kleiner und damit der Reflektionsgrad σ größer ($\epsilon + \sigma = 1$). Dies führt wiederum zu einer größeren Abhängigkeit des Störeinflusses durch die heiße Ofenstrahlung bei wechselnden Emissionsgraden. Hersteller empfehlen daher Geräte mit einer spektralen Empfindlichkeit im Bereich $1 - 2 \mu\text{m}$ einzusetzen, um hier den besten Kompromiss zu erreichen.

Auch hier stellt sich die Frage, wie sich ein Quotienten-Pyrometer bei der Messung von kälteren Objekten in heißer



Bild 8 Bei modernen Quotienten-Pyrometern werden sowohl die Quotienten- und Spektralen-Messwerte als auch die Signalstärke angezeigt und ausgegeben.

Atmosphäre verhält. Grundsätzlich verhält sich ein Quotienten-Pyrometer vergleichbar wie ein Spektral-Pyrometer. Es erfasst sowohl die Objekt- als auch die Reflektionsstrahlung der Ofenwandung. Weniger empfindlich reagiert ein Quotienten-Pyrometer im Fall einer Verschmutzung des Schauglases oder Staub und Rauch im Sichtfeld des Pyrometers. Die Reaktion auf sich ändernde Emissionsgrade ist extrem von den örtlichen Gegebenheiten abhängig und daher schwer abzuschätzen. Empfehlenswert ist bei der Inbetriebnahme oder auch dauerhaft sowohl die Quotienten- als auch die Spektraltemperaturen parallel mit aufzunehmen und auszuwerten, um etwaige Analysen erstellen zu können. Moderne Quotient-Pyrometer bieten dazu zwei analoge Ausgänge an, um so die Messwerte des Quotienten und einer spektralen Temperatur direkt von der Steuerung erfassen zu können. Ein weiterer Vorteil des Quotienten-Pyrometers ist zudem noch die Möglichkeit der Auswertung der Signalstärke als Indiz für die Strahlungseigenschaft des Messobjektes (**Bild 8**).

Quotienten-Pyrometer in Kraftwerken und Verbrennungsanlagen

Aufgrund der extremen Messbedingungen durch Staub, Dampf und Rauch sind Quotienten-Pyrometer für den Einsatz in Kraftwerken und Verbrennungsanlagen messtechnisch und sicherheitstechnisch von Vorteil. Ein Pyrometer erfasst die Strahlung der Objekte im Messfeld. Bei einer Verbrennungsanlage wird die empfangene Energie sowohl von den heißen Partikeln im Luftstrom, als auch von der gegenüberliegenden Wand abgestrahlt. Der Messwert ist dabei abhängig von der Dichte der Partikel, der Inhomogenität der Temperaturverteilung und

der Temperatur der gegenüberliegenden Wand. Ist die Wand durch Wärmetauscher-Rohre deutlich kühler als die Partikel im Luftstrom, erfasst ein Spektral-Pyrometer aufgrund der Mittelwertbildung eine zu niedrige und abhängig vom Lastzustand schwankende Temperatur. Hier kommt wieder der Vorteil des Quotienten-Pyrometers in Bezug auf den Teilausleuchtungseffekt und der Maximalwerterfassung zum Tragen. Gegenüber den üblicherweise eingesetzten Thermoelementen sind Quotienten-Pyrometer daher eine echte Alternative, da sie keinem Verschleiß oder einer altersbedingten Drift unterliegen sind. Allerdings reagieren Quotienten-Pyrometer sehr empfindlich auf Flammen im Sichtfeld. Dies ist bei der Wahl des Montageortes unbedingt zu beachten.

Per Anzeige der Signalstärke lässt sich die Zuverlässigkeit der Messung überprüfen. Aufgrund der oft kleinen Ofenöffnungen mit Durchmessern von 20 -30 mm und Wandstärken von 200 – 400 mm sind optisch hoch auflösende Geräte mit guten Abbildungseigenschaften einzusetzen, um eine Einschnürung des Messfeldes zu vermeiden. Auch sollte die geometrische und optische Achse identisch und damit das Gerät parallaxefrei sein, um ein „Schielen“ des Gerätes auszuschließen. Je nach Ausstattungswunsch und Zugänglichkeit des Montageortes werden Kompaktgeräte oder Pyrometer mit einer Visierhilfe in Form einer Durchblick-Optik oder einer Videokamera eingesetzt, um die Ausrichtung und freie Sichtöffnung bei der Inbetriebnahme und im laufenden Betrieb einfach und schnell überprüfen zu können.

Aus sicherheitstechnischen Gesichtspunkten ist auch hier die Verwendung der Verschmutzungsüberwachung der Quotienten-Pyrometer zu empfehlen, um bei einer zu starken Verschmutzung oder beim Zuwachsen der Ofenöffnung automatisch einen Alarm zu generiert.

Quotienten-Pyrometer für induktive Erwärmungsanlagen

Bolzen durchlaufen einen Erwärmungssofen bevor sie anschließend zu Fittings gepresst werden. Um eine gleichbleibende Qualität zu erreichen, ist die Temperatur zu kontrollieren. In induktiven Erwärmungsanlagen werden dazu üblicherweise Pyrometer eingesetzt, um in Millisekunden und aus sicherer Entfernung die Temperatur des vorbeilaufenden Werkstücks unmittelbar hinter dem Induktionsofen zu erfassen. Die Temperatur wird als Regelgröße für die Prozesssteuerung und zum Aussortieren der Bolzen verwendet, deren Temperatur außerhalb des zulässigen Bereiches liegt (**Bild 9**).



Bild 9 Schleuse zum Aussortieren der Bolzen mit zu niedriger oder zu hoher Temperatur.

Zur Erfassung der Temperatur werden sowohl Spektral- als auch Quotienten Pyrometer eingesetzt. Die Geräte sind in größeren Abständen von 600 – 1200 mm montiert. Zwingende Voraussetzung ist eine Visierhilfe in Form einer Durchblickoptik oder eines Pilotlichtes. Nur so lässt sich der korrekten Fokusabstand und die exakte Ausrichtung einstellen, um etwaige Messfehler durch optische Einflüsse zu minimieren.

Gerade bei Geräten mit einem fixen Fokusabstand lässt sich dieser aufgrund der Maschinenkonstruktion nicht immer exakt einhalten. Bei fester Montage der Geräte und variierendem Bolzendurchmessern ändert sich der Messabstand ohnehin, so dass die Geräte teils nicht im Fokusabstand betrieben werden.

Bei Geräten mit fokussierbarer Optik wird, wie die Praxis zeigt, der Messabstand oft nicht korrekt eingestellt. Eine Nachjustierung bei ändernden Bolzendurchmessern erfolgt wohl kaum, so dass auch diese Geräte immer wieder außerhalb des Scharfpunktes eingesetzt sind.

Ein Quotienten-Pyrometer reagiert auf Änderungen des Messabstandes, des Bolzendurchmessers oder bei Betrieb der Geräte außerhalb des Fokusbereiches wie eingangs beschrieben bis zu gewissen Grenzen wesentlich unempfindlicher und ist somit für derartige Anwendungen gegenüber einem Spektral-Pyrometer von Vorteil.

Daher empfiehlt sich hier der Einsatz kompakter Quotienten-Pyrometer mit Pilotlicht (**Bild 10**), um die beiden wesentlichen Anforderungen der Messaufgabe an a) eine weitestgehend abstandsunabhängige und sichere Messung und b) eine einfache Ausrichtkontrolle optimal zu erfüllen.



Bild 10 Kompaktes Quotienten-Pyrometer mit LED-Pilotlicht zur Anzeige der exakten Größe, Position und des Fokusabstandes .

Fazit

Für Produktionsprozesse mit Temperaturen oberhalb von 300 °C sind Quotienten-Pyrometer mit den beschriebenen Vorteilen mehr als eine Alternative, um umgebungsbedingt und konstruktionsbedingt sichere und stabile Messwerte zu erzielen. Der Mehrpreis von rund 30 % ist gegenüber einem ausstattungstechnisch vergleichbaren Spektral-Pyrometer gut investiertes Geld und wird durch den geringeren manuel-

len Kontrollaufwand und die Reduzierung der Produktion von Fehlteilen schnell wieder refinanziert. Bei extremen Messbedingungen durch starken Dampf, Schmutz und Staub kommen die messtechnischen Vorteile des Quotienten-Pyrometers klar zum Tragen. Bei Anwendungen, in denen sich der Emissionsgrad der Messobjekte ändern kann, ist es empfehlenswert beim Einsatz des Quotienten-Messverfahrens die Zuverlässigkeit der Messung zu überprüfen.

Seitens der Gerätehersteller kann nur empfohlen werden, die zusätzlichen Schutz- und Analysemöglichkeiten des Quotienten-Pyrometers zu nutzen, um damit die Prozesssicherheit zu erhöhen und Erkenntnisse aus den zusätzlichen Temperaturinformationen zu gewinnen.



Autor

Dipl.-Ing. Albert Book
KELLER HCW GmbH · Germany
Infrared Thermometer Solutions
Tel. +49 54 51 85 320
albert.book@keller-msr.de
www.keller-msr.de/pyrometer