

Mit Schallgeschwindigkeit berührungslos hohe Gastemperaturen messen

M. DEUSTER

Die Gastemperatur ist die wichtigste Prozessgröße in Feuerungsanlagen, denn sie ist der direkte Indikator für eine wirtschaftliche und umweltfreundliche Verbrennung. Verbesserungen sind häufig nur möglich, wenn die Temperatur prozessnah, z.B. in der Flamme, erfasst wird und die Temperaturverteilung im Feuerraum bekannt ist. Diese Messaufgabe ist mit konventioneller Messtechnik nicht zu lösen. Hier bietet die „Schallpyrometrie“ einen eleganten und zuverlässigen Lösungsweg.

Das Prinzip der akustischen Gastemperaturmesstechnik - auch Schallpyrometrie genannt - ist bestechend einfach. Es gilt: Die Quadratwurzel der absoluten Temperatur ist proportional zur Schallgeschwindigkeit. Die Realisierung dieses Messprinzips zur Messung hoher Temperaturen in Feuerräumen ist mit dem Messsystem agam elegant gelöst.

Aus der gemessenen Schalllaufzeit eines Druckluftimpulses zwischen einem Sender- und Empfängsort ergibt sich der integrale Temperaturmittelwert - ohne Strahlungseinfluss und driftfrei. Zwischen mehreren kombiniert wirkenden Sender-/Empfängereinheiten erhält man ein Netz von Pfadtemperaturen. Dadurch eignet sich das Verfahren insbesondere zur Ermittlung von zweidimensionalen Temperaturprofilen mittels Tomographie.

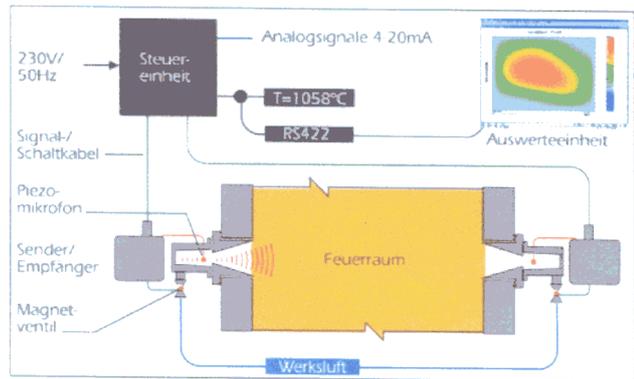
Die akustische Messtechnik hat sich im Dauerbetrieb auch unter extremen Bedingungen, beispielsweise direkt in der Flamme eines Müllrostes, bewährt.

Der Schall kennt keine Grenzen

Die Vorteile der Schalltemperaturmessung liegen auf der Hand, wenn man die relevanten Einsatzgrenzen der unterschiedlichen Verfahren zur Gastemperaturmessung gegenüberstellt.

Dipl.-Ing. M. Deuster ist Mitarbeiter der Bonnenerby + Drescher Ingenieurgesellschaft mbH in Aldenhoven

1: Aufbau des akustischen Gastemperaturmesssystems



Berührungsmessungen erfassen die Temperatur nur punktförmig im Randbereich von großen Feuerräumen. Der gebräuchliche Messbereich (1300 °C für PtRh-Pt-Thermoelemente), hoher Verschleiß, Alterung und Drift schränken den Einsatz von Thermoelementen zusätzlich ein. Für sehr hohe Temperaturen und bei stark aggressiver Messatmosphäre kommen nur berührungslose Messverfahren, wie das Strahlungsmessverfahren oder die Schallpyrometrie, in Frage.

Da heiße Gase Volumenstrahler mit selektiven Emissionseigenschaften sind, können strahlungs-pyrometrische Verfahren nur eingeschränkt in Feuerräumen eingesetzt werden. Wie bei den Berührungsmessungen (mit Ausnahme sog. Durchflussthermometer, die für den stationären Betrieb nicht eingesetzt werden) ist auch bei der Strahlungsmessung der Einfluss der Umgebungstemperatur (Flammen, Partikel, Ofenwände) zu beachten, wenn diese von der Temperatur des Messobjektes abweicht. Der hierdurch verursachte Messfehler kann sehr hoch sein und schließt u.U. den Einsatz von Strahlungspyrometern grundsätzlich aus.

Die akustische Gastemperaturmesstechnik nutzt eine verlässliche physikalische Eigenschaft des Gases. Das Messergebnis ist deshalb die „fühlbare“ Gastemperatur ohne Strahlungseinfluss. Der resultierende Messwert ist ein eindeutiger integraler Mittelwert zwischen festen Anfangs- und Endkoordinaten.

Theorie

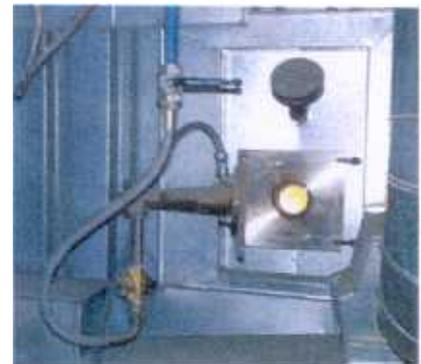
Die Geschwindigkeit, mit der sich Schallimpulse im Gas ausbreiten, hängt im wesentlichen von der Temperatur des Gases ab. Es gilt der Zusammenhang:

$$C = \left(\frac{\kappa \cdot R}{M} \cdot T \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

C = Schallgeschwindigkeit
R = allgemeine Gaskonstante
κ = Adiabatenkoeffizient
M = Molekulargewicht
T = Gastemperatur (Pfadtemperatur)

In der praktischen Anwendung ergibt sich die Schallgeschwindigkeit dadurch, dass man die „Flugzeit“ eines Schallimpulses über einen bekannten Abstand zwischen einem Sender und einem Empfänger misst und die Temperatur aus Gleichung 1 berechnet.

Die in der Gleichung aufgeführten Parameter (κ , M) sind in der Praxis aufgrund der schwankenden Gaszusammensetzung nicht konstant. Die hieraus resultierende Messunsicherheit ist bekannt. In fossilen Feuerungsanlagen ist sie $< 1\%$, in Abfallverbrennungsanlagen, in denen die Gaszusammensetzung stark variiert, beträgt die Messunsicherheit $\pm 1-2\%$.



2: Robuste pneumatische Sender-/Empfängereinheit (geschwenkt) mit Blick in den Feuerraum