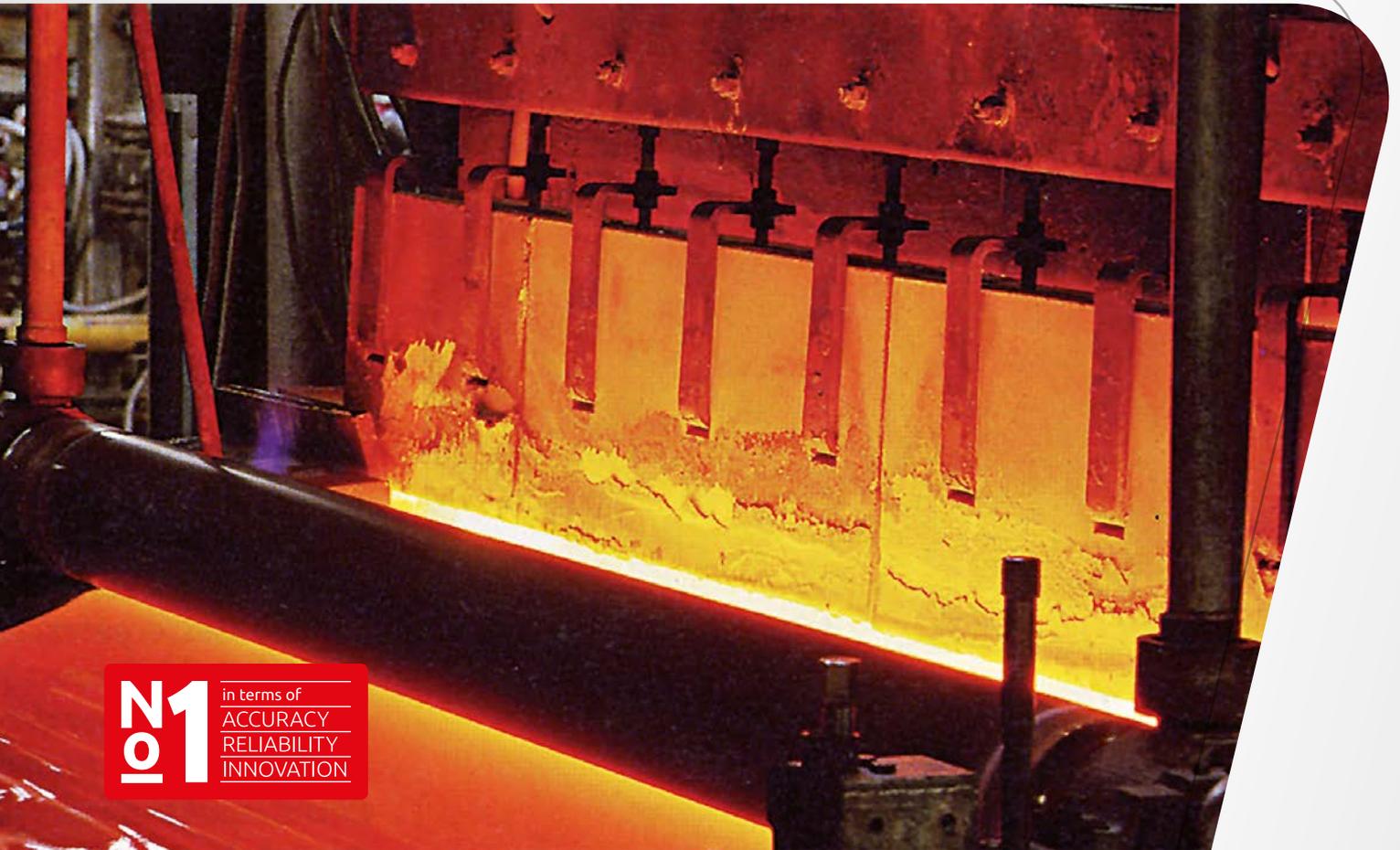


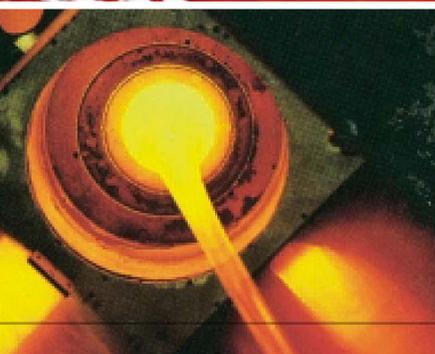
KELLER

*infrared
temperature
solutions*

ITS



no1 in terms of
ACCURACY
RELIABILITY
INNOVATION



Applikation Glas

Grundlagen und Anwendungen der pyrometrischen
Temperaturmessung in der Glasindustrie

Aufgrund der dominierenden Bedeutung der Temperatur als Messgröße zur Überwachung und Optimierung der energieintensiven Glasschmelzprozesse und zur Ermittlung der Glastemperatur als wichtigste Messgröße im Glasformungsprozess hat das berührungslose, pyrometrische Messverfahren eine große Bedeutung. Eine Temperaturveränderung von 1 % im Verarbeitungsbereich der meisten Glasarten bewirkt bereits eine Viskositätsänderung von ca. 1 %.

Beim Glasschmelzprozess erfolgt die Überwachung der Gewölbetemperatur häufig noch berührend mit Thermoelementen in keramischen Schutzrohren.

Aufgrund ihrer Alterung und begrenzten Standzeit müssen diese regelmäßig mit Handpyrometern kontrolliert werden. Im Glasbad von Wanne und Speiser kommen Thermoelemente mit Platin-Schutzrohren zum Einsatz. Mehr und mehr werden die Thermoelemente durch verschleißfrei messende Pyrometer abgelöst.

Im Glasformungsprozess kann zur Vermeidung von Beschädigungen nur die berührungslose Temperaturmessung eingesetzt werden.

Hierbei können sowohl Handpyrometer als auch stationäre Pyrometer hohe Rationalisierungseffekte erzielen.

Dies trifft besonders zu

- beim Einfahren und Betreiben von Glasproduktionslinien
- bei Sortimentsumstellungen
- bei der Qualitätskontrolle von Erzeugnissen
- bei der Fabrikation chemischtechnischer Hohlgläser
- bei der Lösung von Forschungsaufgaben in der Flachglas-, Behälterglas- und Wirtschaftsglasindustrie
- bei der Weiterver- und Weiterbearbeitung von Glaserzeugnissen, z. B. Ampullenfertigung, Verschweißen von Glas mit Metallteilen

Charakteristische Temperaturmessstellen

Die pyrometrischen Temperaturmessstellen in der Glasindustrie lassen sich nach ihren Strahlungseigenschaften einteilen in:

- Schwarze Strahler, bei denen das Pyrometer durch ein kleines Schauloch in einen nahezu gleichmäßig beheizten Raum „sieht“ (brennstoffbeheizte Schmelzwannen), in dessen Gewölbe oder Seitenwand sich ein zu kontrollierendes Thermoelement mit Schutzrohr befindet oder das Pyrometer „sieht“ in ein geschlossenes keramisches Glührohr.
- Undurchsichtige Strahler bzw. graue Strahler. Hier „sieht“ das Pyrometer auf metallische Flächen, z. B. auf die geöffneten Innenflächen von Formen. Die Messstrahlung wird hierbei nur von der Oberfläche der Form emittiert.
- Transparente Strahler bzw. Volumenstrahler, bei denen die Messstrahlung von der Oberfläche und aus tieferen Glasschichten emittiert wird. Die Sichttiefe des Pyrometers im Glas ist dabei vom spektralen Absorptionskoeffizienten des heißen Glases und vom wirksamen Spektralbereich des Pyrometers abhängig.

Schließlich ist nach Temperaturmessstellen mit kontinuierlicher und diskontinuierlicher Signalfolge (Tropfen-, Formen-, Artikeltemperatur) zu unterscheiden. Bei diskontinuierlichen Messungen werden Pyrometer mit kleinen Einstellzeiten und Maximalwertspeicherung eingesetzt.

Glas als transparenter Volumenstrahler

Während bei schwarzen und grauen Strahlern die Pyrometerauswahl hauptsächlich nach Messbereich, Messfleckdurchmesser, Messentfernung und Einstellzeit erfolgt, sind bei der Temperaturmessung am transparenten Messobjekt zusätzlich die am Messort vorhandene Glasdicke und die Sichttiefe des Pyrometers zu berücksichtigen. Diese ist abhängig vom Spektralbereich des Pyrometers, vom spektralen Absorptionskoeffizienten der Glasart und von der Glastemperatur.

Glas als grauer Strahler

Allgemein gilt für den Zusammenhang zwischen dem Reflexionsgrad ρ , dem Absorptionsgrad α und dem Transmissionsgrad τ :

$$\rho(\lambda, T) + \alpha(\lambda, T) + \tau(\lambda, T) = 1 \quad (1)$$

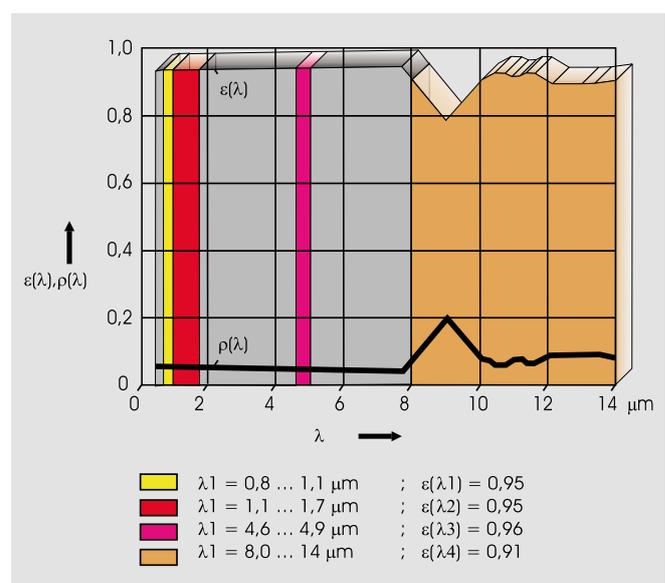
Wird das gläserne Objekt auf Grund seiner Dicke für bestimmte Anteile der IR-Strahlung undurchsichtig, d. h., der Transmissionsgrad wird für $\tau < 0,01$ vernachlässigbar klein, so gilt nach dem Kirchhoffschen Gesetz für den Emissionsgrad ϵ :

$$\epsilon(\lambda, T) = 1 - \rho(\lambda, T) \quad (2)$$

In diesen Fällen wird das gläserne Messobjekt zum grauen Strahler. Man kann aus dem spektralen Verlauf des Reflexionsgrades nach Gleichung (2) allgemein den Emissionsgrad als Funktion der Wellenlänge λ angeben.

Grafik 1 zeigt den gemessenen spektralen Reflexionsgrad $\rho(\lambda)$ für Borosilikatglas¹⁾ und den, unter der Bedingung des vernachlässigbaren Transmissionsgrades $\tau(\lambda) < 0,01$, nach Gleichung (2) berechneten spektralen Emissionsgrad $\epsilon(\lambda)$ als Funktion der Wellenlänge.

Des Weiteren sind einige Spektralbereiche der Pyrometer mit dem für Borosilikatglas einzustellenden Emissionsgrad $\epsilon(\lambda)$ dargestellt.



Grafik 1: Spektraler Reflexionsgrad $\rho(\lambda)$ für Borosilikatglas 3.3, unter der Bedingung des vernachlässigbaren Transmissionsgrades $\tau(\lambda) < 0,01$ nach Gleichung 2, berechneter spektraler Emissionsgrad $\epsilon(\lambda)$, sowie Spektralbereiche der Pyrometer mit dem für Borosilikatglas einzustellenden Emissionsgrad $\epsilon(\lambda)$.

Bei Wellenlängen zwischen 0,5 und 7,8 µm ist der Emissionsgrad von 0,95 bis 0,96 nahezu konstant.

Für den Bereich 8 - 14 µm ist als Mittelwert ein Emissionsgrad $\epsilon = 0,91$ einzustellen.

Gegenüber metallischen Körpern, deren spektraler Emissionsgrad mit steigender Wellenlänge abnimmt, selektiv schwanken und sich temperatur- und zeitabhängig ändern kann, können blanke Glasoberflächen bei vernachlässigbarem Transmissionsgrad im Spektralbereich 0,5 - 7,8 µm als graue Strahler betrachtet werden. Die blanke Glasoberfläche unterliegt keinen merklichen Veränderungen wie z. B. bei Metalloberflächen infolge Oxidation.

¹⁾ Borosilikatglas 3.3 (ISO-3585) ist für thermisch hoch beanspruchte Laborgeräte, Elektronen- und Röntgenröhren, für Rohrleitungen und technische Anlagen einsetzbar.

Glasdickenunabhängige Temperaturmessung

Die Bedingungen für die erforderliche Glasdicke, unter denen der Transmissionsgrad mit $\tau < 0,01$ zu vernachlässigen ist, wird durch den spektralen Absorptionsgrad $\alpha(\lambda, T)$ der zu messenden Glasart bei der jeweiligen Glastemperatur bestimmt.

Aus dem Absorptionsgesetz

$$I = I_0 \cdot e^{-[\alpha(\lambda, T) \cdot X]} \quad (3)$$

folgt bei näherungsweise vollständiger Absorption

$$I/I_0 = 0,01 = e^{-[\alpha(\lambda, T) \cdot X_{99}]} \quad (4)$$

für das Produkt des Exponenten die Beziehung

$$\alpha(\lambda, T) \cdot X_{99} = 4,6 \quad (5)$$

bzw. nach Umstellung

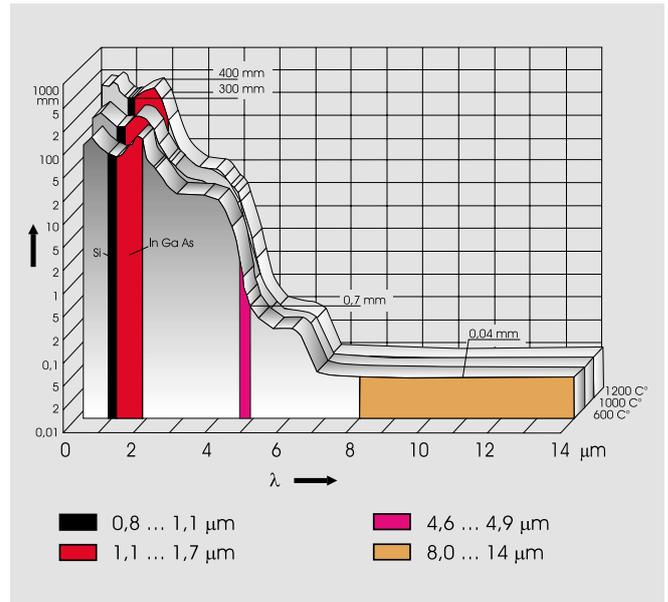
$$X_{99} = \frac{4,6}{\alpha(\lambda, T)} \quad (6)$$

Hierbei stellt $\alpha(\lambda, T)$ den spektralen Absorptionskoeffizienten des zu messenden Glases bei der jeweiligen Glastemperatur dar, während X_{99} die Glasdicke charakterisiert, bei der 99 % der Strahlung I_0 aus der Glastiefe X_{99} beim Durchstrahlen des Glaswegs bis zur Glasoberfläche im Glas absorbiert werden.

Diesen charakteristischen Wert X_{99} bezeichnet man als Sichttiefe des Pyrometers. Sie ist ebenso wie der Absorptionskoeffizient von der Wellenlänge λ und der Glastemperatur T abhängig.

Die Sichttiefe X_{99} charakterisiert damit die Dicke der Glasschicht, aus der, von der Glasoberfläche beginnend bis zur Sichttiefe X_{99} , insgesamt 99 % der Strahlung emittiert werden, die das Pyrometer zur Signalfeldbildung auswertet.

In **Grafik 2** ist die spektrale Sichttiefe X_{99} für Borosilikatglas bei Glastemperaturen von 600, 1000 und 1200 °C dargestellt. Gleichzeitig sind die Spektralbereiche verschiedener Pyrometer und die damit bei Borosilikatglas erreichbaren maximalen Sichttiefen angegeben.



Grafik 2: Mit Hilfe des spektralen Absorptionsgrades $\alpha(\lambda)$ für Borosilikatglas 3.3 berechnete Sichttiefe X_{99} in Abhängigkeit der Wellenlänge λ bei Glastemperaturen 600, 1000 und 1200 °C. Eingetragen sind zusätzlich die Spektralbereiche verschiedener Pyrometer mit den maximalen Sichttiefen.

Bei der Berechnung der spektralen Sichttiefe X_{99} wurde eine homogene Temperaturverteilung im Glas angenommen. Im Wellenlängenbereich 0,5 bis 2,0 µm, also im normalen Durchlässigkeitsbereich von farblosem Glas, liegt eine starke Temperaturabhängigkeit der Sichttiefe X_{99} von 90 bis 400 mm vor.

Für Wellenlängen > 2 µm verringern sich die Unterschiede mit ansteigender Wellenlänge.

Für Pyrometer mit Si-Sensoren (0,8 - 1,1 µm) beträgt die Sichttiefe X_{99} bei Glastemperaturen ca.

- 90 mm bei 600 °C (das Glas strahlt dunkelrot)
- 170 mm bei 1000 °C
- 300 mm bei 1200 °C

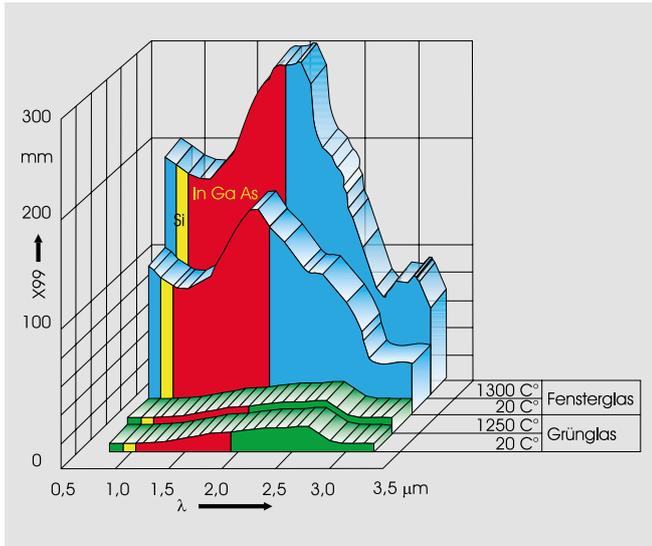
Bei Pyrometern mit InGaAs-Sensor (1,1 - 1,7 µm) ergeben sich etwas höhere Werte für die Sichttiefe als bei Pyrometern mit Si-Sensor.

Bei Pyrometern im Spektralbereich 4,6 - 4,9 µm beträgt die Sichttiefe X_{99} maximal 0,7 mm.

In Spektralbereichen > 8 µm erreicht die Sichttiefe X_{99} nur noch Werte von etwa 0,04 mm. Diese Geräte erfassen die reine Oberflächentemperatur und reagieren daher auf Konvektionseinflüsse.

Grafik 3 zeigt die großen Unterschiede im Verlauf der spektralen Sichttiefe X_{99} von Fensterglas und Grünglas im Spektralbereich 0,5 bis 3 µm bei Glastemperaturen von 20, 1250 und 1300 °C.

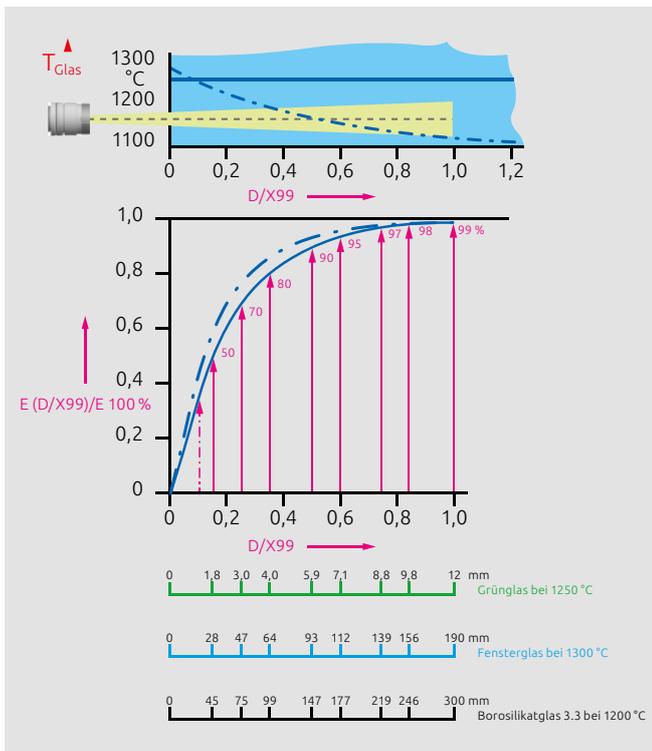
Während die Sichttiefe für Fensterglas bei 1300 °C in der Größenordnung des Borosilikatglases liegt, beträgt beim Grünglas, bedingt durch den größeren Absorptionskoeffizienten, die Sichttiefe bei nur 6 mm bei 20 °C bzw. 12 mm bei 1250 °C Glastemperatur.



Grafik 3: Sichttiefe X99 in Abhängigkeit der Wellenlänge λ für Fensterglas bei 20 und 1300 °C und für Grünglas bei 20 und 1250 °C mit eingetragenen Spektralbereichen der Pyrometer mit Silizium- und InGaAs-Sensor.

D.h. selbst Si-Pyrometer haben bei Grünglas nur eine geringe Sichttiefe. Für Wellenlängen $> 4 \mu\text{m}$ sind Gläser prinzipiell als undurchlässig anzusehen, sodass für Fenster- und Grünglas in diesem Spektralbereich ähnlich geringe Sichttiefen X99 wie für Borosilikatglas nach Grafik 2 gelten.

In **Grafik 4** ist die normierte empfangene Strahlung $E(D/X99)/E100\%$ eines Einkanalpyrometers mit Si-Sensor als Funktion der normierten Glasdicke $D/X99$ für Grünglas, Fensterglas und Borosilikatglas bei



Grafik 4: Normierte empfangene Strahlung $E(D/X99)/E100\%$ eines Einkanalpyrometers mit Si-Sensor als Funktion der normierten Glasdicke $D/X99$ für verschiedene Glasarten bei homogenem und nichthomogenem Temperaturverlauf im Glas.

homogenem und inhomogenem Temperaturverlauf im Glas dargestellt. 50 % der Energie empfängt das Pyrometer z. B. bis zu einer Glasdicke, die einem Sechstel der Sichttiefe X99 entspricht. Bei inhomogener Temperaturverteilung (Oberflächenglas wärmer als tiefere Glasschichten) werden diese 50 % bei noch geringerer Glasdicke (Strich-Punkt-Linie) erreicht.

Auswahl des Pyrometers in Abhängigkeit der Glasdicke

Einkanal-/Spektral-Pyrometer

Zur Gewinnung eines repräsentativen Signals für die Glasktemperatur ist ein Einkanal-Pyrometer auszuwählen, dessen maximale Sichttiefe kleiner als die Glasdicke am Messort ist.

Ist die Sichttiefe des Pyrometers größer als die Glasdicke, so sieht das Pyrometer zum Teil durch das Glas hindurch. Hintergrundstrahlung und Glasdickenschwankungen verfälschen dann das Messsignal, z. B. wenn mit einem Einkanal-Si-Pyrometer horizontal durch den Tropfen gemessen wird.

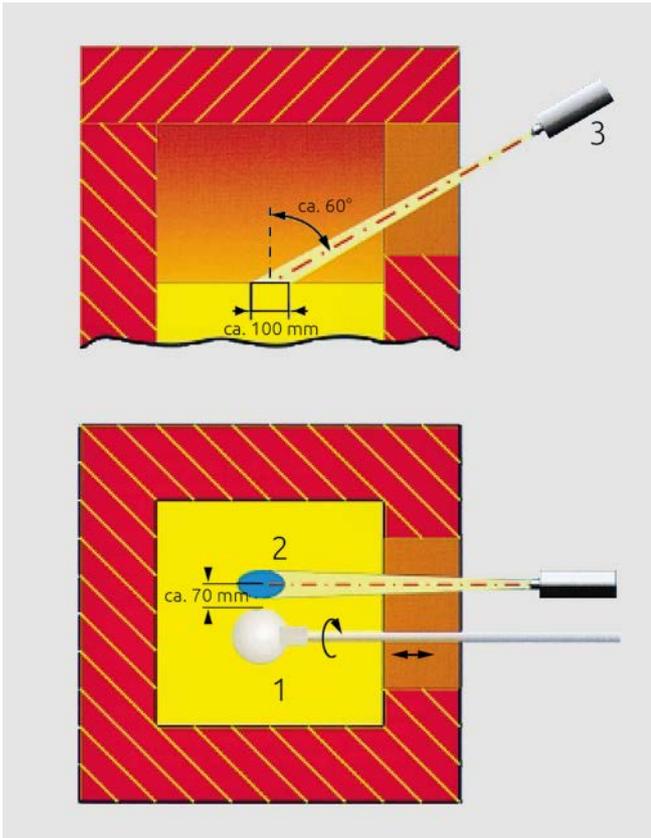


Die Pyrometer der Baureihe CellaTemp PK 41/42 messen bei einer Wellenlänge von 4,6 - 4,9 μm oberflächennahe Glasktemperatur.

Da für Tropfendurchmesser von 20 - 80 mm bei farblosen Gläsern die Sichttiefe von Si-Pyrometern bis 300 mm betragen kann, ist die Temperatur von der Glasdicke abhängig.

Abhilfe schafft hier ein schräges Anvisieren des Tropfens mit der Tropfringbohrung als Hintergrund oder es wird ein Si-Quotienten-Pyrometer eingesetzt.

Ist allerdings die Sichttiefe viel kleiner als die Glasdicke am Messort, so misst das Pyrometer vorwiegend die Temperatur oberflächennaher Glasschichten, die stark von Konvektionsstörungen beeinflusst werden können. Dieser Messwert repräsentiert dann vorwiegend die Oberflächenstörungen. Daher ist beispielsweise ein Glasoberflächenpyrometer (4,6 - 4,9 mm) mit einer Sichttiefe von bis zu 0,7 mm an der Arbeitszelle eines Kugelspeisers mit einer Glashöhe von ca. 800 mm ungeeignet.



Grafik 5: Anordnung zur Glasbadtemperaturmessung in der Arbeitszelle eines Kugelspeisers (1 Anfängerkugel beim Eintauchen in das Glasbad, 2 Messfleck, 3 Pyrometer).

In Grafik 5 ist zu erkennen, dass durch die große Entnahmeöffnung starke Konvektionsstörungen an der Glasbadoberfläche auftreten

können. Tieferliegende Glasschichten, aus denen Glas zur Verarbeitung entnommen wird, werden nicht beeinflusst.

Auf diese äußeren Störungen reagiert z. B. der Regelkreis eines elektrischen Deckenheizung sehr empfindlich. Selbst bei Anwesenheit der Kugel im Vorbau strahlt die mit heißem Glas beschichtete Kugel so stark auf das Messfeld des Oberflächenpyrometers ein, dass die Heizung ab- und bei herausgefahrener Kugel wieder eingeschaltet würde.

Abhilfe schaffte hier nur ein Si-Pyrometer mit einer Sichttiefe von ca. 300 mm, das auch bei einem Neigungswinkel von 30° zur Waagerechten noch bis 150 mm in das Glasbad hineinschaut.

Um bei der Pyrometerauswahl die Bedingung maximale Sichttiefe X99 des Pyrometers < Glasdicke am Messort stets zu erfüllen, ist der größtmögliche Wert der Sichttiefe bei der entsprechenden Glasart in Ansatz zu bringen. Dadurch wird verhindert, dass bei allen möglichen Glastemperaturen das Pyrometer teilweise durch das Glas sieht und dickenabhängige Messfehler vermieden werden.

Zweikanal-/Quotienten-Pyrometer

Quotienten-Pyrometer sind dann einzusetzen, wenn die am Messort vorhandene Glasdicke kleiner als die maximale Sichttiefe des Pyrometers und größer als ein Sechstel ihres Wertes ist. Bei dieser Glasdicke empfangen beide Kanäle noch etwa 50 % der Intensität (Grafik 4). Das Quotienten-Pyrometer ermittelt einen exakten Messwert, denn Zähler und Nenner werden in gleichem Maße geschwächt; der Quotient bleibt erhalten.

In der Tabelle 1 sind Spektral- und Messbereiche der Pyrometer, deren maximalen Sichttiefen X99 für verschiedene Glasarten und typische Anwendungsfälle für Einkanal- und Quotienten-Pyrometer angegeben.

Temperatur	Wellenlänge	Glasart	max. Sichttiefe X99 bei dieser Glasart	Pyrometeranwendungen bei Glasdicken D am Messort	
				D > X99	1/6 X99 < D < X99
				Spektral-Pyrometer	Quotienten-Pyrometer
700 ... 3000 °C	0,8 ... 1,1 µm	Grün Glas	12 mm	Tropfen	Tropfen
		Fensterglas	190 mm		
		Borosilikatglas	300 mm		
250 ... 2500 °C	1,1 ... 1,7 µm	Grün Glas	24 mm	Tropfen, Form	Tropfen
		Fensterglas	290 mm		
		Borosilikatglas	400 mm		
300 ... 2500 °C	4,6 ... 4,9 µm	Grün Glas	0,7 mm	Pfeifenauslauf, Pfeifenkopf, Zwiebel, Kölbl, Artikel	
		Fensterglas			
		Borosilikatglas			
0 ... 1000 °C	8,0 ... 14,0 µm	Grün Glas	0,04 mm	Formen, Artikel (vor und nach der Kühlbahn), Transportbänder	
		Fensterglas			
		Borosilikatglas			

Tabelle 1: Spektral- und Messbereiche der Pyrometer, maximale Sichttiefen X99, die bei verschiedenen Glasarten erreicht werden und typische Anwendungsfälle für Spektral- und Quotienten-Pyrometer in Abhängigkeit von der Glasdicke am Messort.

Pyrometer-Ausführungen und typische Einsatzfälle in der Glasindustrie

Mit dem umfangreichen Geräteprogramm und Zubehör bietet KELLER für alle Messstellen passende Lösungen an.

Stationäre Pyrometer

Spektral-Pyrometer mit Si- und InGaAs-Sensor sind wegen ihrer großen Sichttiefe in farblosen Gläsern und wegen ihres Temperaturbereiches von 250 - 3000 °C besonders zur Glastemperaturmessung in Schmelzwannen, Arbeitszellen und Speisern geeignet.

Das CellaTemp PA 20/30 mit Visierhilfe bzw. CellaTemp PK 21/31 ohne Visierhilfe wird bevorzugt zur Glastemperaturmessung in Arbeitszellen von Kugelspeisern eingesetzt. Hierbei „sieht“ das Pyrometer aus sicherer Entfernung durch die Entnahmeöffnung auf das Glasbad (Grafik 5). Die zeitweiligen Signalschwankungen, durch die Bewegung der Anfängerkugel im Strahlengang des Pyrometers gleicht ein integrierter Maximalwertspeicher aus.

Das CellaTemp PA 36 bzw. CellaTemp PK 36 mit getrenntem optischen Messkopf ist besonders für den Einsatz am Speiser geeignet. Der kleine Messkopf (Ø 12 mm oder Ø 30 mm) ist über ein Lichtleitkabel an die Elektronik angeschlossen und kann bei Umgebungstemperaturen bis 250 °C ohne Kühlung eingesetzt werden.

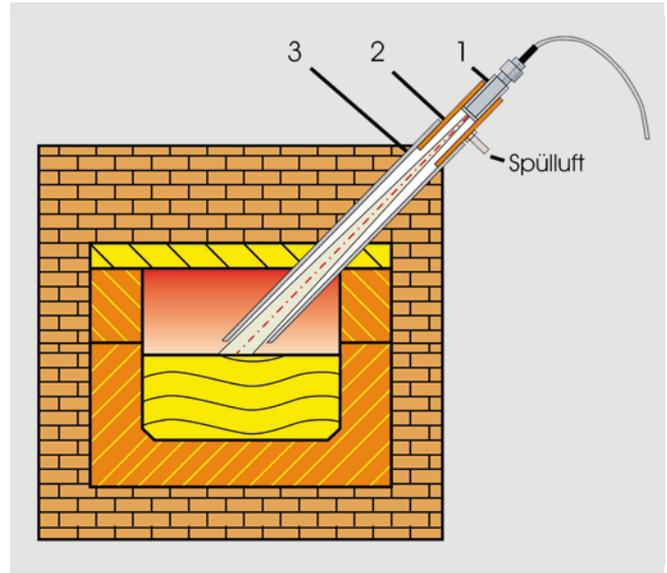


CellaTemp PKF 36/66 mit getrenntem optischen Messkopf und Lichtwellenleiter.

Sichtrohre aus Keramik mit Spülluftanschluss dienen zur Reinhaltung der Pyrometer-Optik und verlängern die Wartungsintervalle. Der Messkopf lässt sich zur Überprüfung ohne Werkzeug in wenigen Sekunden demontieren.

Bei Grünglas erreichen Si-Spektral-Pyrometer Sichttiefen bis zu 12 mm. Daher kann das CellaTemp PA 30 mit Durchblickvisier oder integrierter Videokamera bei Grünglas zur Tropfentemperaturmessung für Tropfringdurchmesser > 15 mm verwendet werden. Die Signalunterbrechungen infolge des Scherenschnittes werden durch einen Maximalwertspeicher überbrückt.

Die Spektral-Pyrometer CellaTemp PA 20/21 mit InGaAs-Sensor erreichen etwas größere Sichttiefen in farblosen Gläsern und im Grünglas als Pyrometer mit Si-Sensoren.



Grafik 6: Anbaubeispiel eines Lichtleiter-Pyrometers CellaTemp PKF mit getrennter Optik an einem Speiser. Dabei wird der Messkopf 1 vom Zwischenrohr 2 mit Spülluftanschluss aufgenommen, das im eingemauerten Visierrohr 3 befestigt ist.

Auf Grund des Spektralbereiches (1,1 - 1,7 µm) können bereits Temperaturen ab 250 °C erfasst werden. Deshalb eignen sich diese Pyrometer ebenfalls zu Temperaturmessungen an Formen (Press- und Pressblasformen).

Da sich jedoch der veränderliche Oberflächenzustand der Formeninnenfläche, von spiegelblank bis matt, sowie vor und nach jeder Schmierung, stark auf das Emissionsvermögen auswirkt, ist zur Ausschaltung dieser ϵ -Schwankungen außen an der Form an geeigneter Stelle eine Bohrung einzubringen, auf die das Pyrometer auszurichten ist.

Das Pyrometer „sieht“ dann in einen Hohlraum, der bei einem Verhältnis von Bohrungstiefe zu Bohrungsdurchmesser > 6 als grauer Strahler mit einem Emissionsgrad $\epsilon \approx 0,95$ betrachtet werden kann.

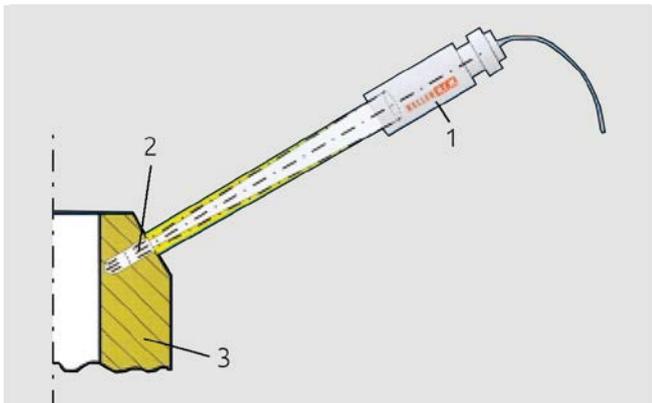
Das Pyrometer bildet so einen Temperaturwert der Form über Bohrungsboden und Bohrungswand, der im stationären Betrieb, unabhängig vom Oberflächenzustand der Innenform, einen repräsentativen, reproduzierbaren Temperaturwert liefert.



CellaTemp PA 21/31/41 mit Lichtleiterkopf Ø 30 mm und integriertem Laser-Pilotlicht zur Anzeige der exakten Position und Größe des Messfeldes.

Es entsteht zwar eine Temperaturdifferenz zwischen der Formeninnenflächen- und der Hohlraumtemperatur. Diese Temperaturdifferenz ist im stationären Zustand eine konstante Größe. Je näher sich der Bohrungsboden der Innenfläche bis auf eine Restdicke von etwa 4 mm nähert, desto geringer wird die Differenz.

Das CellaTemp PA 21 bzw. CellaTemp PKF 26 mit Lichtleiter und optischem Messkopf kann ideal zur Formentemperaturmessung eingesetzt werden. Der kleine Pyrometermesskopf ist an geeigneter Stelle an der Presse oder an der Pressblasmaschine zu befestigen. Mit Hilfe des Pilotlichtes, das den Messfleckdurchmesser im Fokusabstand in der wahren Größe abbildet, wird das Pyrometer auf die „Messbohrung“ ausgerichtet (Grafik 7).



Grafik 7: Ausrichtung des Pyrometers 1 mit optischem Messkopf und Pilotlicht auf die „Messbohrung“ 2 einer Press- und Blasform 3.

Mit dem Infrarot-Temperaturschalter CellaSwitch PKS 21 lassen sich z. B. Glasrückstände in den Formen in Millisekunden erkennen. Produktionsausfälle durch steckengebliebene Glaskörper und hohe Werkzeug- und Reparaturkosten werden dadurch vermieden. Innerhalb des Messbereiches von 300 bis 1300 °C wird der Schalterpunkt über das Display und die Taster eingestellt.

Die Quotienten-Pyrometer CellaTemp PA 40/41/43 CellaTemp PK 63/68 und CellaTemp PKF 66 mit Messbereichen von 450 - 3000 °C können überall dort eingesetzt werden, wo

- die Glasdicke D am Messort kleiner ist als die Sichttiefe $X99$ des Pyrometers im Glas, jedoch größer ist als ein Sechstel ihres Wertes ist, wo also gilt $\frac{1}{6} \cdot X99 < D < X99$
- aus technologischen Gründen durch dickwandiges und z. T. getöntes Glas die Temperatur induktiv erwärmter Metallteile zu messen ist, die in die Glasrückseite eingeschmolzen werden.

Die Quotienten-Pyrometer PA 40/43 bzw. CellaTemp PK 63/68 werden zur Tropfentemperaturmessung an farblosem Glas für Tropfendurchmesser >40 mm bei horizontaler Visierichtung eingesetzt.

Die Panorama-Pyrometer CellaTemp PA 43 und CellaTemp PK 63 verfügen über ein rechteckiges Messfeld. Dieses erleichtert die Ausrichtung auf den Tropfen erheblich. Solange sich der Tropfen innerhalb des Messfeldes befindet, wird ein korrekter Messwert ermittelt.

Bei Tropfendurchmesser von 30 - 40 mm sollte der Tropfen unter einem Winkel von ca. 30° zur Horizontalen zur „Vergrößerung“ der Glasdicke anvisiert werden.

Die Signalunterbrechungen durch den periodischen Scherenschnitt werden durch den integrierten Maximalwertspeicher überbrückt.

Die Pyrometer CellaTemp PA 15 und CellaTemp PK 41/42 mit einem Wellenlängenbereich von 4,6 - 4,9 μm und Messbereichen von 300 - 2500 °C messen aufgrund der geringen Sichttiefe $X99 < 0,7$ mm Glasoberflächentemperaturen bzw. die Mischtemperatur einer oberflächennahen Glasschicht. Sie sind zur Temperaturüberwachung an relativ dünnwandigen Erzeugnissen (Glasdicke > 1 mm) aus Flachglas, Behälterglas oder Wirtschaftsglas im Verarbeitungs- und Kühlbereich besonders geeignet.

Bei der Zwiebeltemperaturmessung an Dannerzügen sind alle technologisch bedingten Temperaturänderungen nachweisbar.

Bei Pfeifenspitzenmessungen ist das Pyrometersignal ein repräsentativer Wert für den Temperaturzustand von Glasoberfläche und Muffelraum. Der Maximalwertspeicher des Pyrometers eliminiert die periodisch zur Pfeifendrehzahl auftretenden Signalschwankungen.

Die Pyrometer CellaTemp PA 10 und CellaTemp PK 11 mit einem Wellenlängenbereich von 8 - 14 μm und einem Messbereich von 0 - 1000 °C messen aufgrund der minimalen Sichttiefe $X99 < 0,04$ mm reine Glasoberflächentemperaturen (Glashauttemperaturen). Sie werden deshalb bei dünnwandigem Glas (Glasdicke $> 0,1$ mm) eingesetzt.

Das CellaTemp PA 10 eignet sich auf Grund der fokussierbaren Optik und der hohen optischen Auflösung besonders für kleine Messobjekte wie z. B. Wirtschaftsglas oder für große Messabstände. Für die Temperaturüberwachung von Glasartikeln auf Transportbändern nach der Kühlbahn sowie vor und nach der Weiterverarbeitung von Glaserzeugnissen wird vielfach das kompakte CellaTemp PK 11 eingesetzt.



Die Pyrometer der Baureihe PA besitzen ein fokussierbares Durchblickvisier oder eine Videokamera mit Messfleckmarkierung zur einfachen Ausrichtung.

Die stationären Pyrometer der PA-Serie verfügen über eine fokussierbare Optik sowie wahlweise über ein Durchblick-Visier oder eine Farb-Videokamera. Die im Sucher bzw. im Monitorbild sichtbare Messfleckmarkierung entspricht dabei der wahren Größe des Messflecks.

Gerade bei keinen Messobjekten oder engen Sichtöffnungen wird dadurch die Ausrichtung des Pyrometers wesentlich erleichtert.

Ferner lässt sich der Messbereich der PA-Pyrometer sowohl an den Geräten als auch über die standardmäßig vorhandene USB- oder RS 485-Schnittstelle einstellen. Damit ist eine optimale Anpassung an die jeweilige Messstelle auch von der Schaltwarte aus möglich.

Die Geräte der kompakten Pyrometer-Serie PK besitzen lediglich einen Durchmesser von 30 mm und sind damit auch unter beengten Bedingungen einsetzbar. Im Edelstahlgehäuse mit Schutzart IP 65 eignen sie sich selbst für rauhe Industriebedingungen.

Auf dem Display lässt sich direkt vor Ort die gemessene Temperatur überprüfen. Alle Parameter und Funktionen sind per Taster am Gerät einstellbar.

Alle Pyrometer der Firma KELLER basieren auf Gleichlichtsensoren, d. h. die Geräte besitzen keine mechanisch bewegten Teile und sind dadurch wartungsfrei und von langer Lebensdauer.

Abgerundet wird das Angebot an stationären Pyrometern durch ein umfangreiches Zubehör- und Armaturenprogramm.

Tragbare Pyrometer

Die tragbaren Pyrometer entsprechen im Spektral- und Messbereich sowie in der optischen Auflösung den stationären Geräten. Deshalb ist ihr Einsatz zur Temperaturkontrolle an all den Stellen möglich, wo bezüglich ihres Spektralbereiches vergleichbare stationäre Pyrometer eingesetzt werden.

Des Weiteren werden die mobilen Geräte der CellaPort PT-Serie zur Überprüfung der Thermoelemente im Gewölbe bzw. im Oberofen von Schmelzwannen eingesetzt. Damit lassen sich je nach Einsatzbedingungen (Einbauart, Temperatur, Energieträger, Schutzrohr und Glasart) alterungsbedingte Temperaturänderungen der Thermoelemente einfach überprüfen.

Die CellaPort PT-Serie ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Parallaxefreies und seitenrichtiges Durchblick-Visier mit Dioptrienausgleich und erweiterter Pupillendistanz
- Spiegelreflex-Optik mit sehr großem Sichtfeld und zielgenauer Messfeldmarkierung der exakten Messfläche
- Fokussierbare Wechselobjektive mit Präzisionslinsen für höchste optische Auflösungen
- 10 Baureihen für die verschiedensten Anwendungen
- ATD-Funktion zur automatischen Messwernerfassung
- Spektral- und Quotienten-Pyrometer
- Robustes Aluminiumgehäuse
- Patentierte Ampelfunktion (SSI – Signal Strength Indicator) im Durchblickvisier als Indikator für den korrekten Messabstand und eine ausreichende Signalstärke
- Wahlweise als Panorama-Pyrometer® mit rechteckigem Messfeld



Patentierter Ampelfunktion im Durchblickvisier des CellaPort PT

Das CellaPort PT 120 bzw. CellaPort PT 130 mit Messbereichen von 250 ... 2000 °C bzw. 500 ... 2500 °C ist ideal zur Temperaturkontrolle im Oberofen und im Glasbad von Schmelzwannen, Arbeitszellen und Speisern sowie zur Kontrolle von Thermoelementen im Gewölbe geeignet.

Bei schräger Anvisierung der Tropfringbohrung kann es auch bei kleineren Schnittzahlen zur mobilen Tropfentemperaturmessung verwendet werden.



Tragbares Pyrometer der Serie CellaPort PT

Das CellaPort PT 110 (0 - 1000 °C) gestattet Kontrollmessungen an Formen, Transportbändern und Glasartikeln vor und nach der Kühlbahn und ist damit für Anlagenbediener ein wichtiges Arbeitsmittel.

Mit dem CellaPort PT 140/143 steht ein tragbares Quotienten-Pyrometer zur Verfügung, das selbst bei starkem Staub und Dampf in der Atmosphäre oder bei kleinem Tropfendurchmesser noch sichere Messwerte liefert. Das CellaPort PT 143 besitzt ein rechteckiges Messfeld. Dies erleichtert erheblich das Anvisieren des Objektes aus größerer Entfernung.

Zusammenfassung

- Es wurden die Besonderheiten der pyrometrischen Temperaturmessung am transparenten Volumenstrahler Glas erläutert sowie stationäre und tragbare Pyrometer zur Glastemperaturmessung in Schmelzwannen, Arbeitszellen und Speisern und zur Messung von Tropfen-, Formen- und Artikeltemperatur vorgestellt.
- Die Pyrometerauswahl erfolgt beim Einkanalpyrometer nach der Bedingung „maximale Sichttiefe X99 des Pyrometers < Glasdicke am Messort“.
- Beim Quotienten-Pyrometer ist die Bedingung „1/6 der maximalen Sichttiefe X99 des Pyrometers < Glasdicke am Messort < maximale Sichttiefe X99“ einzuhalten.
- Pyrometer unterliegen im Vergleich zu Thermoelementen keinem Alterungsprozess und besitzen lange Standzeiten.
- Pyrometer erfordern einen gewissen Wartungsaufwand zur Kühlung und zur Sauberhaltung der Optik.

Übersicht der stationären Pyrometer mit den technischen Daten

Baureihe	Typ	Spektralbereich	Messbereich	Distanzverhältnis ²⁾	minimale Messfleckgröße	Fokusbereich	Visierhilfe	
Stationäre Spektral-Pyrometer								
CellaTemp PA 10	AF 1	8 - 14 µm	0 - 1000 °C	50 : 1	Ø 6,00 mm	0,30 m - ∞	Durchblickvisier Videokamera Laser-Pilotlicht	
	AF 2			48 : 1	Ø 3,13 mm	0,15 m - 0,30 m		
CellaTemp PA 15	AF 1	4,6 - 4,9 µm	500 - 2500 °C	70 : 1	Ø 11,43 mm	0,80 m - ∞		
	AF 2		300 - 1300 °C	45 : 1	Ø 17,78 mm	0,80 m - ∞		
CellaTemp PA 20	AF 1	1,1 - 1,7 µm	250 - 2000 °C	175 : 1	Ø 2,29 mm	0,40 m - ∞		
	AF 3			275 : 1	Ø 4,36 mm	1,20 m - ∞		
	AF 9			380 : 1	Ø 1,58 mm	0,60 m - ∞		
CellaTemp PA 30	AF 1	0,78 - 1,06 µm	500 - 2500 °C	210 : 1	Ø 1,90 mm	0,40 m - ∞		
	AF 3			310 : 1	Ø 3,87 mm	1,20 m - ∞		
	AF 5			430 : 1	Ø 1,40 mm	0,60 m - ∞		
CellaTemp PK 11	AF 1	8 - 14 µm	0 - 1000 °C	27 : 1	Ø 11,00 mm	0,30 m	-	
	AF 2			27 : 1	Ø 33,00 mm	0,90 m		
CellaTemp PK 21	AF 1	1,0 - 1,7 µm	250 - 1600 °C	150 : 1	Ø 10,00 mm	1,50 m		
CellaTemp PK 31	AF 1	0,78 - 1,06 µm	500 - 2500 °C	188 : 1	Ø 8,00 mm	1,50 m		
CellaTemp PK 41	AF 1	4,6 - 4,9 µm	300 - 1300 °C	36 : 1	Ø 11,00 mm	0,40 m		
CellaTemp PK 42	AF 1		500 - 2500 °C	57 : 1	Ø 7,00 mm	0,40 m		
Stationäre Quotienten-Pyrometer								
CellaTemp PA 40	AF 1	0,95 / 1,05 µm	650 - 1700 °C	80 : 1	Ø 5,00 mm	0,40 m - ∞		Durchblickvisier Videokamera Laser-Pilotlicht
	AF 3			120 : 1	Ø 10,00 mm	1,20 m - ∞		
	AF 21			190 : 1	Ø 3,16 mm	0,60 m - ∞		
	AF 4		750 - 2400 °C	150 : 1	Ø 2,67 mm	0,40 m - ∞		
	AF 6			240 : 1	Ø 5,00 mm	1,20 m - ∞		
	AF 22			370 : 1	Ø 1,62 mm	0,60 m - ∞		
CellaTemp PK 68	AF 1	0,95 / 1,05 µm	550 - 1400 °C	71 : 1	Ø 21,00 mm	1,50 m	-	
Stationäre Spektral-Pyrometer mit Lichtwellenleiter								
CellaTemp PA 21	AF 11	1,1 - 1,7 µm	300 - 2000 °C	180 : 1	Ø 1,11 mm	0,20 m - ∞	Laser-Pilotlicht	
	AF 21		450 - 2500 °C	100 : 1	Ø 1,20 mm	0,12 m - ∞		
	AF 901			320 : 1	Ø 1,56 mm	0,50 m - ∞		
CellaTemp PA 36	AF 11	0,82 - 0,93 µm	650 - 3000 °C	190 : 1	Ø 1,05 mm	0,20 m - ∞	-	
	AF 21			100 : 1	Ø 1,20 mm	0,12 m - ∞		
CellaTemp PKF 26	AF 1	1,0 - 1,7 µm	300 - 1600 °C	180 : 1	Ø 1,90 mm	0,20 m - ∞	externes Laser-Pilotlicht	
	AF 3			100 : 1	Ø 1,20 mm	0,12 m - ∞		
CellaTemp PKF 36	AF 1	0,78 - 1,06 µm	550 - 2500 °C	190 : 1	Ø 1,05 mm	0,20 m - ∞	-	
	AF 3			100 : 1	Ø 1,20 mm	0,12 m - ∞		
Stationäre Quotienten-Pyrometer mit Lichtwellenleiter								
CellaTemp PA 41	AF 11	0,95 / 1,05 µm	800 - 2400 °C	190 : 1	Ø 1,05 mm	0,20 m - ∞	Laser-Pilotlicht	
	AF 21			100 : 1	Ø 1,20 mm	0,12 m - ∞		
	AF 111		900 - 3000 °C	190 : 1	Ø 1,05 mm	0,20 m - ∞		
	AF 121			100 : 1	Ø 1,20 mm	0,12 m - ∞		
	AF 211		700 - 1800 °C	110 : 1	Ø 1,82 mm	0,20 m - ∞		
	AF 221			50 : 1	Ø 2,40 mm	0,12 m - ∞		
CellaTemp PKF 66	AF 1			190 : 1	Ø 1,05 mm	0,20 m - ∞	externes Laser-Pilotlicht	
Stationäre Infrarot-Temperaturschalter								
CellaSwitch PKS 20	AF 1	1,0 - 1,7 µm	250 - 1250 °C	95 : 1	Ø 15,79 mm	1,50 m	-	
Stationäre Infrarot-Temperaturschalter mit Lichtwellenleiter								
CellaSwitch PKS 21	AF 1	1,0 - 1,7 µm	350 - 1350 °C	120 : 1	Ø 12,50 mm	1,50 m	-	

Übersicht der stationären Pyrometer mit den technischen Daten

Baureihe	Typ	Spektralbereich	Messbereich	Distanzverhältnis ²⁾	minimale Messfleckgröße	Fokusbereich	Visierhilfe
Stationäre Quotienten-Pyrometer mit rechteckigem Messfeld (Panorama-Pyrometer®)							
CellaTemp PA 43	AF 1	0,95 / 1,05 µm	650 - 1700 °C	v = 230 : 1 h = 45 : 1	8,89 x 1,74 mm	0,40 m - ∞	Durchblickvisier Videokamera Laser-Pilotlicht
	AF 3			v = 375 : 1 h = 75 : 1	16,00 x 3,20 mm	1,20 m - ∞	
	AF 21			v = 500 : 1 h = 95 : 1	6,32 x 1,20 mm	0,60 m - ∞	
	AF 4		750 - 2400 °C	v = 350 : 1 h = 50 : 1	8,00 x 1,14 mm	0,40 m - ∞	
	AF 6			v = 580 : 1 h = 85 : 1	14,12 x 2,07 mm	1,20 m - ∞	
	AF 17			v = 390 : 1 h = 97 : 1	0,89 x 0,22 mm	86 mm - 115 mm	
	AF 22			v = 730 : 1 h = 105 : 1	5,71 x 0,82 mm	0,60 m - ∞	
CellaTemp PKL 63	AF 1		650 - 1600 °C	v = 350 : 1 h = 51 : 1	4,10 x 0,60 mm	0,21 mm	externes Laser-Pilotlicht
	AF 2			v = 370 : 1 h = 54 : 1	18,50 x 2,70 mm	1,00 mm	

Übersicht der tragbaren Pyrometer mit den technischen Daten

Baureihe	Typ	Spektralbereich	Messbereich	Distanzverhältnis ²⁾	minimale Messfleckgröße	Fokusbereich	Visierhilfe
Tragbare Spektral-Pyrometer							
CellaPort PT 110	AF 1	8 - 14 µm	0 - 1000 °C	50 : 1	Ø 6,00 mm	0,30 m - ∞	Durchblickvisier
	AF 2			48 : 1	Ø 3,13 mm	0,15 m - 0,30 m	
CellaPort PT 115	AF 1	4,6 - 4,9 µm	500 - 2500 °C	70 : 1	Ø 11,43 mm	0,80 m - ∞	
	AF 2		300 - 1300 °C	45 : 1	Ø 17,78 mm	0,80 m - ∞	
CellaPort PT 120	AF 1	1,1 - 1,7 µm	250 - 2000 °C	175 : 1	Ø 2,29 mm	0,40 m - ∞	
	AF 3			275 : 1	Ø 4,36 mm	1,20 m - ∞	
CellaPort PT 130	AF 1	0,78 - 1,06 µm	500 - 2500 °C	210 : 1	Ø 1,90 mm	0,40 m - ∞	
	AF 3			310 : 1	Ø 3,87 mm	1,20 m - ∞	
Tragbare Quotienten-Pyrometer							
CellaPort PT 140	AF 1	0,95 / 1,05 µm	650 - 1700 °C	80 : 1	Ø 5,00 mm	0,40 m - ∞	Durchblickvisier
	AF 3			120 : 1	Ø 10,00 mm	1,20 m - ∞	
	AF 4		750 - 2400 °C	150 : 1	Ø 2,67 mm	0,40 m - ∞	
	AF 6			240 : 1	Ø 5,00 mm	1,20 m - ∞	
Tragbare Quotienten-Pyrometer mit rechteckigem Messfeld (Panorama-Pyrometer®)							
CellaPort PT 143	AF 1	0,95 / 1,05 µm	650 - 1700 °C	v = 230 : 1 h = 45 : 1	8,89 x 1,74 mm	0,40 m - ∞	Durchblickvisier
	AF 3			v = 375 : 1 h = 75 : 1	16,00 x 3,20 mm	1,20 m - ∞	
	AF 4		750 - 2400 °C	v = 350 : 1 h = 50 : 1	8,00 x 1,14 mm	0,40 m - ∞	
	AF 6			v = 580 : 1 h = 85 : 1	14,12 x 2,07 mm	1,20 m - ∞	

Lieferprogramm



CellaTemp® PX

Pyrometer mit IO-Link-Schnittstelle, fokussierbaren Wechselobjektiven und wahlweise mit Durchblick-Visier oder Laser-Pilotlicht.



CellaTemp® PX-LWL

Pyrometer mit IO-Link-Schnittstelle, Lichtleiter, fokussierbaren Messköpfen und Laser-Pilotlicht.



Serie CellaTemp PA

Pyrometer mit fokussierbaren Wechselobjektiven und wahlweise mit Durchblick-Visier, Laser-Pilotlicht oder Farb-Videokamera.



CellaTemp PA-LWL

Pyrometer mit Lichtleiter, fokussierbaren Messköpfen und integriertem Laser-Pilotlicht.



Serie CellaTemp PK(L)

Kompaktes Infrarot-Thermometer, besonders geeignet für beengte Produktionsanlagen, optional mit LED-Pilotlicht.



CellaTemp PKF

Kompaktes Infrarot-Thermometer mit Lichtleiter und optischem Messkopf.



CellaPort PT

Tragbare Spektral- und Quotientenpyrometer mit Durchblickvisier, Laserpilotlicht und USB-Schnittstelle.



Mikro PV

Farbabgleich-Pyrometer zur sehr präzisen Temperaturmessung.

Seit 1967 entwickelt und produziert der Geschäftsbereich ITS (Infrared Temperature Solutions) der KELLER HCW GmbH Präzisionsmessgeräte und Systemlösungen zur berührungslosen Temperaturmessung. Dank der permanenten Weiterentwicklung ist KELLER ITS heute einer der führenden Anbieter für Infrarot-Thermometer und Pyrometer weltweit.

Mit dem sehr umfangreichen Produktionsprogramm von über 250 Gerätevarianten und Systemen bietet KELLER ITS Lösungen für alle Standardanwendungen und eine Vielzahl von speziellen Messaufgaben.

Ein entscheidendes Augenmerk bei der Entwicklung und Produktion der Geräte wird gemäß der KELLER-Philosophie auf eine hohe Messgenauigkeit und Zuverlässigkeit gelegt. So gibt KELLER ITS auf deren Erzeugnisse eine Gewährleistungsfrist von 5 Jahren.

Ein weltweites Netz an Vertriebspartnern und Servicestützpunkten sorgt für eine kompetente und persönliche Beratung vor Ort.



KELLER

Creating Solutions

infrared
temperature
solutions

ITS



- Hauptsitz
- Vertrieb und Service-Center
- Vertrieb im Ausland



 **IO-Link**



Keller HCW GmbH
Infrared Temperature Solutions (ITS)
Carl-Keller-Straße 2-10
49479 Ibbenbüren-Laggenbeck
Germany

www.keller.de/its
Tel. +49 (0) 5451 850
Fax +49 (0) 5451 85412
its@keller.de

Vertrieb und Service-Center

Frankreich
www.keller.de/its
Tel. +33 (0) 951 453050
its@keller.de

Italien
www.giga-tech.it
Tel. +39 (0) 296489130
contatti@giga-tech.it

Österreich
www.sensotec.at
Tel. +43 313 551 650
office@sensotec.at

Russland
www.ampermetr.com
Tel. +7 343 384 55 45
info@ampermetr.com

Spanien
www.umi.es
Tel. +34 94 446 62 50
comercial@umi.es

China
www.keller-its.cn
Tel. +86 (0) 10 828 679-20
keller@germantech.com.cn

Indien
www.keller-itsindia.com
Tel. +91 (0) 98841 11025
info@keller-itsindia.com

Korea
www.ultratec.co.kr
Tel. +82 (0) 70 8282 5979
ellen@ultratec.co.kr