

Spektrale Thermografie

Spezialsysteme von InfraTec – ImageIR® und VarioCAM® hr head

Infrarotthermografie

Die Infrarotthermografie hat sich als effiziente Methode zur berührungslosen Messung von Temperaturverteilungen etabliert. In der Praxis steht dabei nicht selten die anspruchsvolle Aufgabe, auch Oberflächentemperaturen von Materialien, die im infraroten (IR) Spektralbereich eine hohe Transmission oder Reflexion aufweisen, exakt zu bestimmen. Darüber hinaus soll die Thermografie auch zur Erfassung von Objekten hinter Glas, Flammen, Gasen o. ä. angewandt werden. Um thermografische Messungen an derartigen Objekten durchzuführen, ist die genaue Kenntnis der spektralen Eigenschaften von essentieller Bedeutung.

Spektrale Thermografie

Die ideale Strahlungsverteilung nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz gibt es nur in der Theorie. In der Praxis existieren Messobjekte und Materialien entweder als „graue Strahler“ oder mit einem von der Wellenlänge abhängigen Emissionsgrad. Bei der spektralen Thermografie wird die Infrarotstrahlung in ausgewählten Wellenlängenbereichen detektiert, um Spektralbereiche mit einem optimalen Emissionsgrad – vor allem innerhalb der sog. Absorptionsbanden – bzw. mit hoher Transmission zu nutzen. Hierfür bietet sich insbesondere der Spektralbereich des mittleren Infrarot (MWIR) von (2 ... 5) μm an, da hier viele technisch relevante Materialien markante Absorptionsbanden aufweisen.

Gerätetechnik

Die von InfraTec angebotenen MWIR-Thermografiesysteme der Kameraserie ImageIR® sind für die spektrale Thermografie besonders gut geeignet. Diese sind mit einem motorisierten Filterrad ausgestattet, mit dem die verschiedenen Filterpositionen softwaregesteuert in den Strahlengang des Detektors eingeschwenkt werden können. Eine alternative Lösung sind manuelle Filterschieber – wie beispielsweise die ungekühlte Mikrobolometerkamera VarioCAM® hr head – für Auf-Glas-Messungen, für CO-Laserschutz und für die Messungen an Kunststofffolien verwendet.



Abb. 1 High-End-Kameraserie ImageIR® mit motorisiertem Filterrad (4 Positionen)

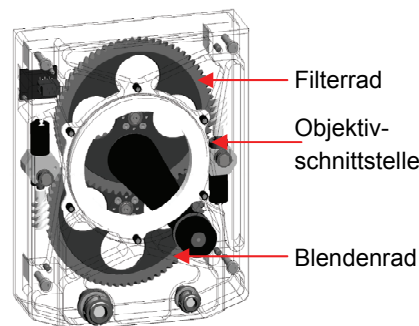


Abb. 2 Optomechanik der ImageIR®

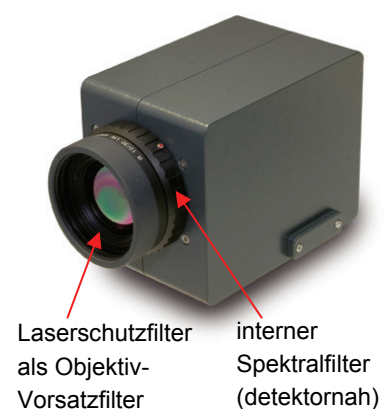


Abb. 3 VarioCAM® hr head mit Filterschieber

Spektrale Thermografie

Spezialsysteme von InfraTec – Imager[®] und VarioCAM[®] hr head

Spektralfilter

Der Einsatz von Spektralfiltern erfordert eine spezielle Kalibrierung des Thermografiesystems in dem gewünschten Temperaturbereich. Eine schmalbandige Befilterung führt dabei zu deutlich geringeren Signalen und infolgedessen zu einem schlechteren Signal/Rauschverhältnis, wodurch sich die Temporauflösung im unteren Temperaturbereich verringern kann. Bei der spektralen Thermografie kommen sogenannte Langpassfilter (LWP), Kurzpassfilter (SWP), Bandpassfilter (BP) sowie Schmalbandpassfilter (NBP) zum Einsatz.



Abb. 4 Spektralfilter für Thermografiekameras

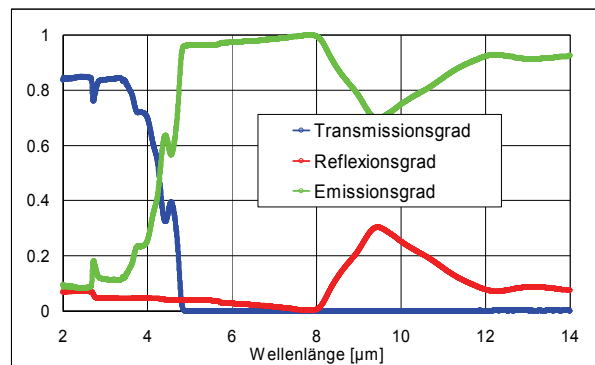


Abb. 5 Spektraler Transmissions-, Reflexions- und Emissionsgrad von Glas

Auswahl einiger Empfindlichkeitsbereiche

Messaufgabe	Filter	Absorptionsbande	Beispielanwendungen
Glastemperatur (auf Glas)	LWP	5,3 µm	Temperaturmessung an Lampenkolben
Durch Glas	BP	2,3 µm	Temperaturmessung auf Lampenwendeln
Flammentemperatur (CO ₂)	BP	4,25 µm	Beurteilung von Feuerungen in Kraftwerken
Durch Flammen	BP	3,9 µm	Temperaturmessung in Öfen
Kunststoff-Folientemperatur	BP	3,4 µm	Temperaturüberwachung bei Folienextrusion
Durch Atmosphäre	BP	(3,6 ... 4,1) µm	Reduzierung des Einflusses von Wasserbanden

Tab. 1 Ausgewählte Spektralfilter für Imager[®]

Spektrale Thermografie

Spezialsysteme von InfraTec – ImageIR® und VarioCAM® hr head

"Auf-Glas" und "Durch-Glas" Messungen (LW und MWIR)

Der Wellenlängenbereich der **ImageIR®** von (2 ... 5) μm erweist sich als besonders günstig für Messungen bei der Glasverarbeitung und der Herstellung von Lampen, da je nach Bedarf sowohl reflexionsarme Messungen der Temperatur auf der Glasoberfläche als auch Messungen durch das Glas hindurch möglich sind. Hierfür werden die spezifischen Eigenschaften von Glas im Wellenlängenbereich oberhalb und unterhalb von etwa 4 μm ausgenutzt. Unterhalb von 4 μm sind Messungen durch das Glas hindurch aufgrund der hohen Transmission sehr gut ausführbar. Natürlich muss die Dämpfung des Materials, die mit zunehmender Dicke bei Wellenlängen oberhalb von 2,8 μm steigt, bei der Berechnung der Temperatur berücksichtigt werden. Unterdrückt man dagegen alle kurzwelligen Strahlungsanteile durch geeignete Langpassfilter hinreichend gut, wird nicht mehr durch das Glas hindurch gemessen und eine exakte, nahezu reflexionsfreie Bestimmung der Glasoberflächentemperatur ist möglich. Der Reflexionsgrad von Glas ist im Bereich von (2 ... 5) μm deutlich niedriger als im sogenannten langwelligen (8 ... 12) μm -Bereich. Das Messergebnis wird damit durch Spiegelungen – je nach Temperaturniveau der umgebenden Szene – meist nur vernachlässigbar beeinflusst.

Eine optimierte Auf-Glas-Messung kann mit der im Wellenlängenbereich von (7,5 ... 14) μm empfindlichen **VarioCAM® hr head** erfolgen, indem diese mit einem Filterschieber (Kurzpassfilter 8,0 μm) zur Messung der Oberflächentemperatur ausgestattet wird.

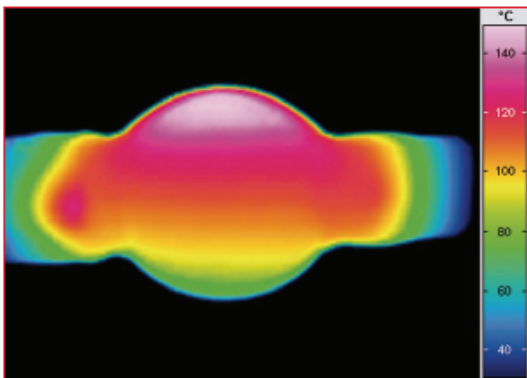


Abb. 6 Messung mit Spektralfilter „Auf-Glas“

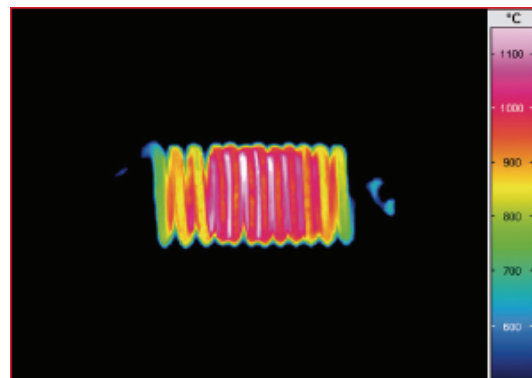


Abb. 7 Messung mit Spektralfilter „Durch-Glas“

Weitere Anwendungen der spektralen Thermografie

Neben der Auf-Glas bzw. Durch-Glas Messung gibt es eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten aus den unterschiedlichsten Industriebereichen sowie aus Forschung und Entwicklung:

■ IR-Reflektografie (nur MWIR)

Die IR-Reflektografie zur Analyse alter Gemälde und Erkennung von Unterzeichnungen nutzt objektspezifische Spektralbereiche, in denen einerseits die optisch sichtbaren, abdeckenden Farbschichten eine hohe Transmission und andererseits die Unterzeichnungen charakteristische reflektive Eigenschaften aufweisen.

Spektrale Thermografie

Spezialsysteme von InfraTec – ImageIR® und VarioCAM® hr head

- **Feuchtedetektion (nur MWIR)**

Bei der Feuchtedetektion, z. B. zur Analyse von Baumaterialien bei Schadensfällen, wird der spektrale Absorptionsgrad einer Wasserbande bestimmt. Dieses Verfahren kann auch zur flächenhaften Feuchtebestimmung von Papier und verschiedenen Schüttmaterialien eingesetzt werden.

- **Detektion von Leckagen (nur MWIR)**

Eine weitere interessante Anwendung der spektralen Thermografie ist die Detektion von Leckagen an Behältern unter Verwendung von im IR detektierbaren Gasen. Ein geeignetes, einfach verfügbares Gas ist CO₂, das eine starke Absorptionsbande bei 4,25 µm aufweist. Eine temperierte Hintergrundfläche erleichtert hier die Erkennbarkeit des austretenden Gasstromes.

- **Messung von Flammentemperaturen (nur MWIR)**

Die CO₂-Absorptionsbande wird darüber hinaus zur Messung von Flammentemperaturen genutzt. Im Wellenlängenbereich von etwa (3,8 ... 4) µm kann dagegen durch eine Gasflamme hindurch die Temperatur von dahinter liegenden Objekten, z. B. Ofenwänden oder Rohren, bestimmt werden.

- **Messungen an Kunststofffolien: (LWIR und MWIR)**

Die für alle Kohlenwasserstoffverbindungen wie Polyethylen, Polypropylen oder Polyamid typische Absorptionsbande der CH-Verbindung bei 3,4 µm ermöglicht eine zuverlässige Temperaturmessung auf der Folienoberfläche. Bei einigen Kunststoffen kann eine Absorptionsbande im LWIR bei 8 µm genutzt werden.

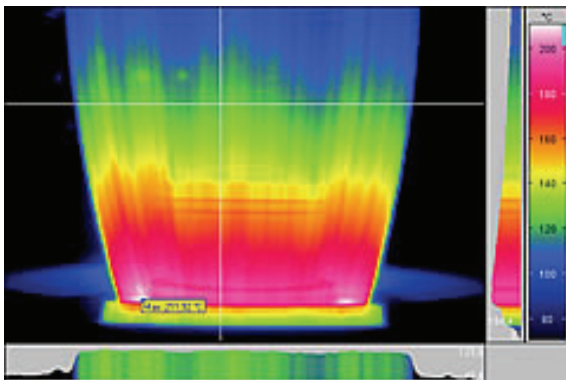


Abb. 8 Temperaturmessung auf der Folienoberfläche bei einem Folienblasprozess (Extrusion)

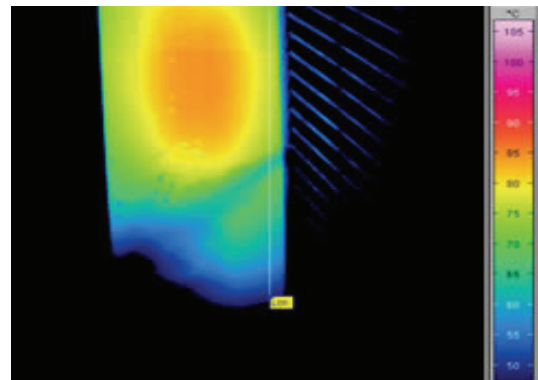


Abb. 9 CO₂ – Gasaustritt an einem Fahrzeugkühler