

Manfred Pfadt

Infrarot-Sensoren unter der Lupe

Um 1800 eher beiläufig entdeckt, ist die Infrarot-Strahlung heute ein tragender Baustein der Temperaturerfassung. Viele Anwender nutzen das Prinzip, aber nicht alle beachten dessen Besonderheiten.

Der Astronom William Herschel entdeckte die Infrarot-Strahlung (IR) zufällig, als er mit einem Prisma das Sonnenlicht in seine Bestandteile zerlegte und analysierte. Mittlerweile sind daraus einige Methoden entstanden, mit denen die IR-Strahlung von Objekten präzise gemessen werden kann.

Der für den Menschen nicht sichtbare Bereich der IR-Strahlung unterliegt den physikalischen Gesetzen der Optik. Daher lässt sich IR-Strahlung mit Linsen bündeln, streuen oder durch Spiegel ablenken. Zwar reicht das IR-Spektrum von 0,7 μm bis 1000 μm Wellenlänge, für die Temperaturermessung interessant ist jedoch lediglich der Bereich zwischen 1 μm und

14 μm . Nur in diesem vergleichsweise kleinen Fenster steigt die Strahlungsenergie eines Objekts linear zur Temperatur.

IR-Thermometer ermitteln die von einem Körper abgestrahlte Energie, ohne diesen zu berühren. Damit sind schnelle und sichere Temperaturemessungen von bewegten, sehr heißen, berührungsempfindlichen oder schwer zugänglichen Objekten möglich. Während Fühler die Temperatur eines Objekts beeinflussen und eventuell sogar beschädigen oder verunreinigen, gewährleistet das berührungslose IR-Verfahren präzise Messwerte. Zudem funktionieren IR-Sensoren noch bei sehr hohen Umgebungstemperaturen, bei

denen Kontaktfühler zerstört werden oder nur eine geringe Lebensdauer haben.

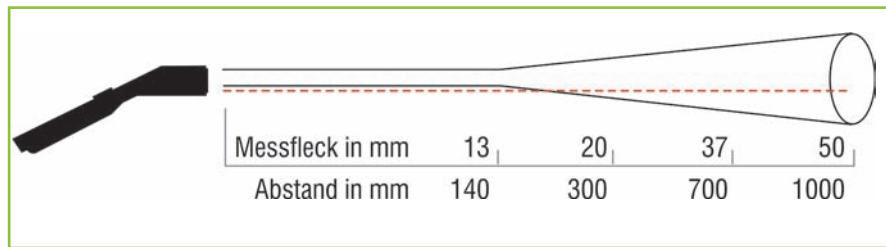
Prinzip der IR-Temperaturmessung

Infrarote Strahlung geht von jedem Körper aus, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt von $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt. IR-Sensoren erfassen diese abgestrahlte Energie. Dazu wird die Strahlung über eine Linse auf einen oder mehrere Detektoren geleitet. Diese wandeln die Energie der IR-Strahlung in elektrische Signale um, die abhängig von der Sensor-Kalibrierung und dem Emissionsgrad des Objekts in Temperaturwerte umgerechnet werden. Die Ausgabe erfolgt anschließend direkt auf einem Display oder als analoges oder digitales Signal.

Jedes Objekt gibt infrarote Strahlung auf drei Arten ab. Es kann Strahlung emittieren, von der Umgebung reflektieren oder durchleiten (transmittieren). Für die Temperaturemessung maßgebend ist nur die emittierte Strahlung. In welchem Verhältnis die einzelnen Strahlungsanteile zueinander stehen, beschreibt der Emissionsgrad eines Objekts. Bei festen Körpern wird die Transmission vernachlässigt, so dass sich der Emissionsgrad



(Bilder: Micro-Epsilon)



Verhältnis von Entfernung zur Messfleckgröße: Um Messfehler durch Hintergrundstrahlung zu vermeiden, muss das zu messende Objekt immer größer als der Messfleck sein.

lediglich aus Emission und Reflexion zusammensetzt. Analog zu den optischen Gesetzen reflektieren polierte und glänzende Objekte nicht nur das sichtbare Licht aus der Umgebung, sondern auch deren IR-Strahlung. Metalle besitzen daher eine geringe Emission und eine hohe Reflexion. Im Gegensatz dazu reflektieren matte Oberflächen sehr wenig Strahlung und eignen sich deshalb gut für berührungslose Temperaturmessungen. Die Strahlungsintensität des gemessenen Körpers hängt demnach von zwei Faktoren ab: seiner Temperatur und seinem Emissionsgrad. Bei den meisten Temperatursensoren ist der Emissionsgrad zwischen 0,1 und 1,0 einstellbar, so dass die Temperatur unterschiedlicher Objekte gemessen werden kann.

Die Optik muss stimmen

Entscheidend für die Auflösung und Messfleckgröße ist die Ausführung und Qualität der IR-Linse, über die das Verhältnis von Messfleckgröße zu Sensorabstand definiert wird. Ein wichtiger Aspekt, vor allem bei einem kleinen Messobjekt. Für eine einwandfreie Messung muss das Messobjekt mindestens so groß wie der Messfleck sein. Anderenfalls nimmt der Sensor auch Infrarot-Strahlung aus dem Hintergrund auf – die gemessene Temperatur wäre verfälscht.

Die Linse konzentriert die Strahlung auf den IR-Detektor, das Herzstück des Sensors. Es gibt drei physikalisch unterschiedliche Prinzipien für die Wandlung der Strahlung in elektrische Energie:

Beim Handmessgerät „thermometer LS“ zeigt ein Laservisier die reale Messfleckgröße an.

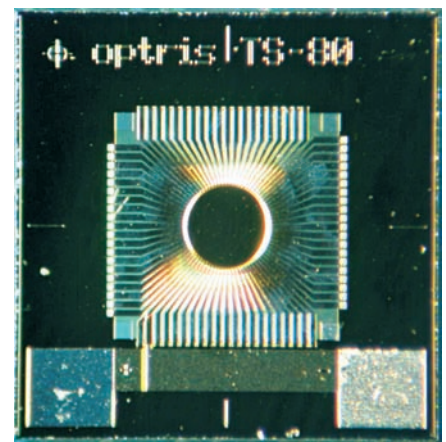
Bolometer, Thermopile und Quantendetektoren.

Ein Bolometer ist ein IR-sensibles Element, das die Strahlungswärme über eine Widerstandsänderung feststellt. Thermopile nutzen wie Thermoelemente den Seebeck-Effekt: Zwei oder mehr unterschiedliche Metalle werden an einer Stelle verbunden. Trifft die IR-Strahlung auf diesen Punkt, erwärmen sich die Metalle unterschiedlich stark. Dies führt zu einer messbaren Spannungsdifferenz. Quantendetektoren agieren mit den auftreffenden Photonen. Daraus entstehen Elektronenpaare und damit ein verwertbares Stromsignal.

Thermopile und Bolometer sind thermische Detektoren, welche die Temperatur über ihre Erwärmung erfassen. Die Temperatur-Änderung erfolgt daher relativ langsam mit Zeitkonstanten im Bereich von Millisekunden. Im Gegensatz dazu ermitteln Quantendetektoren die Temperatur anhand der auftreffenden Photonenzahl und reagieren wesentlich schneller. Ihre Zeitkonstanten liegen bei Nanobeziehungsweise Mikrosekunden. Für viele Anwendungen reicht die Dynamik thermischer Detektoren vollkommen aus, so dass die Marktanteile beider Verfahren etwa gleich groß sind.

Die praktische Umsetzung

Generell wird zwischen Handgeräten und stationären Sensoren unterschieden. Handgeräte eignen sich für sporadische Messungen an wechselnden Orten, beispielsweise bei Wartungsarbeiten und regelmäßigen Kontrollgängen. Für die spätere Dokumentation haben die Geräte meist integrierte Messwertspeicher. In diesem Bereich gibt es verschiedene Leistungsklassen in Bezug auf Messbereiche, Messfleckgröße und Visierung. Das einfachste Gerät der Firma Micro-Epsilon hat beispielsweise einen Messbereich zwischen -32 °C und $+420\text{ °C}$. Es markiert den Messfleck durch einen Punktlaser und



Das Herz eines IR-Sensors: Thermopile-Detektor mit Thermoelementen aus Wismut/Antimon.

eignet sich für Standardmessungen. Hingegen arbeitet der Gerätetyp „thermometer LS“ mit einem vierstrahligen Laserkreuz, das die reale Messfleckgröße bei jedem Abstand markiert. Bei kleinen Objekten verringert das die Fehlmessungen.

Bei den stationären Sensoren ist die Bandbreite wesentlich größer. Beispielsweise gibt es spezielle Modelle mit kurzer Ansprechzeit für besonders schnelle Prozesse oder für besonders heiße Umgebungsbedingungen bis $+250\text{ °C}$ ohne Kühlung. Andere Baureihen arbeiten in einem bestimmten IR-Spektrum und können daher ebenso in der Metallproduktion in Stahl- und Walzwerken eingesetzt werden. Für Standardanwendung hat das Unternehmen den Sensor „thermometer CT“ entwickelt, den es zur besseren Ausrichtung auch mit zwei Laserpunkten gibt. Für beengte Einbausituationen stehen Miniatursensoren mit integriertem Controller zur Verfügung. In Sachen Thermographie bietet der Hersteller eine kompakte Infrarotkamera für stationäre Einsätze an.

Überall wo Temperatur als kritische Prozessgröße gilt, ist der Einsatz von IR-Sensoren sinnvoll. Sei es bei der Erkennung von Lagerdefekten an Maschinen, bei der Bauteil-Überwachung in der Elektronikindustrie, Messung der Produkttemperatur in der Lebensmittelindustrie oder auch beim Warmwalzen von Metallen. IR-Temperatursensoren punkten hier aufgrund ihrer kurzen Ansprechzeiten und des berührungslosen Messprinzips. sk



Manfred Pfadt

ist Produktmanager „thermoMETER“ bei der Firma Micro-Epsilon Messtechnik in Ortenburg.

