

Wärme zum Anschauen

Bei Infrarotkameras geht es immer darum, Temperaturen berührungslos zu erfassen. Für diese Technik gibt es eine breite Palette an Anwendungen.

„The Unforgettable Fire“ heißt das Album der irischen Rockband U2 aus dem Jahr 1984. Die Infrarotaufnahme einer Burg ruine zierte das Cover dieses Albums. Solche Bilder am Rande des visuellen Spektralbereichs erfreuen sich unter Fotografen seit vielen Jahren einer gewissen Beliebtheit, weil sich Motive damit anders akzentuieren lassen. Auch in der Technik hat man erkannt, dass sich manche Probleme am leichtesten im Infrarotbereich lösen lassen. Inzwischen gibt es z. B. Infrarotkameras in den Fahrerassistenzsystemen mancher Oberklassewagen, welche die Sicht bei Nachtfahrten verbessern helfen.

In der Thermografie geht es neben der qualitativen Wiedergabe einer Temperaturverteilung auch um die quantitative Messung. Dies geschieht berührungslos, was für viele Anwendungen interessant ist. So setzen derzeit wegen der Schweinegrippe einige Länder an den Flughäfen Wärmebildkameras ein, um Reisende mit Fieber schnell zu identifizieren. Im Bauwesen lassen sich Kältebrücken an Gebäuden thermografisch erkennen, und in



Aufnahmen mit der Wärmebildkamera helfen, Kältebrücken am Haus zu entdecken.

Papierlagern oder auf Kohlehalden helfen Wärmebildkameras, mögliche Brandherde früh zu entdecken. Die Qualität von Klebestellen, Löt- oder Schweißnähten lässt sich ebenso thermografisch kontrollieren wie die von elektrischen Kontakten oder elektronischen Bauelementen.

Jeder Körper emittiert elektromagnetische Strahlung. Ist er kühler als etwa 500 °C, gibt er nach dem Planckschen Strahlungsgesetz die Energie fast vollständig im infraroten Spektralbereich ab. Dies gilt allerdings nur für einen perfekten schwarzen Körper, der so viel emittiert wie er absorbiert. In der Thermografie hat man es aber oft mit einem selektiven Strahler zu tun. Ein solcher absorbiert einen Teil der auftreffenden Strahlung und emittiert sie bei eventuell anderen Wellenlängen wieder, einen anderen Teil der einfallenden Strahlung reflektiert er, den Rest lässt er passieren. Um mit einer kalibrierten Kamera aus der Infrarotstrahlung eines Gegenstands auf seine Temperatur zu schließen, ist auch die Atmosphäre zu beachten: Sie dämpft die vom Gegenstand

ausgehende Strahlung durch Absorption und Streuung. Blicke dieser Effekt unberücksichtigt, wären die gemessenen Temperaturen systematisch zu niedrig.

Eine Wärmebildkamera empfängt Photonen von drei Quellen: Strahlung direkt vom Gegenstand; Strahlung aus der Umgebung, die am Gegenstand reflektiert wird, und Strahlung der Atmosphäre, weil sie aufgrund ihrer absorbierenden Wirkung selbst zur Strahlungsquelle wird. Um die richtige Temperatur eines Gegenstands zu ermitteln, muss man bei der Auswertung also den Emissionsgrad des Objekts, die Dämpfung und Temperatur der Atmosphäre sowie die Temperatur der direkten Umgebung des Gegenstands berücksichtigen. In die Auswerterroutinen ist all das heutzutage häufig integriert.

Kommerziell erhältliche Infrarotkameras arbeiten bei Wellenlängen zwischen 900 Nanometer und 14 Mikrometer. Ihr Aufbau ähnelt dem einer Kamera für sichtbares Licht: Über eine Optik – aus Silizium für mittleres oder Germanium für langwelliges Infrarot – fällt das Licht auf eine Detektorfläche. Glas-

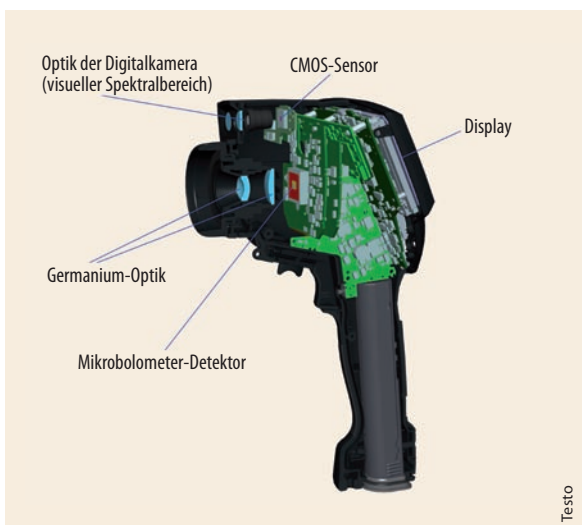


Abb. 1 Über die Germanium-Optik gelangt das Licht zum bolometrischen Detektor. Fällt Infrarotstrahlung auf die einzelnen Bolometer, ändern diese ihren elektrischen Widerstand. Daraus lässt sich auf die Temperatur schließen.

linsen scheiden aus, da sie zu viel Strahlung absorbieren würden. Der Detektor wandelt die einfallenden Infrarotphotonen in ein Strom- oder Spannungssignal um, das sich elektronisch weiterverarbeiten lässt. Da Wasser, Kohlendioxid und Sauerstoff die Transparenz unserer Atmosphäre für Infrarotstrahlung bei manchen Wellenlängen drastisch verringern, ist der Arbeitsbereich der Wärmebildkameras auf einen Teil des Infrarotspektrums beschränkt. Meistens ist das ein schmales Segment im mittleren Infrarot zwischen zwei und sechs Mikrometern oder im langwelligen Infrarot jenseits von 8 bis 14 Mikrometern.

Zwei zur Wahl

Man unterscheidet zwei Detektortypen: den bolometrischen¹⁾ und den Quantendetektor. Beim Großteil der auf dem Markt befindlichen Infrarotkameras handelt es sich um bolometrische Geräte (Abb. 1). Ihre Detektoren bestehen aus einer Matrix aus Mikrobolometern, welche die Pixel bilden. Wenn diese Pixel die einfallende Strahlung absorbieren, ändert sich ihr elektrischer Widerstand. Als Material für Mikrobolometer dienen Metalle oder Halbleiter mit einem stark temperaturabhängigen elektrischen Widerstand, z. B. Vanadiumoxid oder amorphes Silizium. Aus der Änderung des Widerstands leitet sich das Messsignal ab.

Bolometrische Wärmebildkameras sind thermoelektrisch tempera-

turstabilisiert und kommen meist ohne Kühlung aus. Daher sind sie recht kompakt (Abb. 2) und billiger als Quantendetektoren. Allerdings besitzen sie eine geringere Empfindlichkeit, die nur relativ wenig von der Wellenlänge abhängt. Sie sprechen innerhalb einiger Millisekunden an und erzielen eine absolute Genauigkeit von $\pm 2^\circ\text{C}$ und eine relative Genauigkeit von 40 mK.

Das Prinzip der ebenfalls matrixförmigen Quantendetektoren beruht auf dem inneren Photoeffekt: Die einfallende Wärmestrahlung hebt die Elektronen eines Halbleiters aus dem Valenz- ins Leitungsband; der entstehende Photostrom liefert das Messsignal. Als Halbleitermaterialien dienen je nach Anwendung z. B. Quecksilber-Cadmium-Tellurid, Indiumantimonid, Bleisulfid, Platinsilizid oder Gallium-Arsenid-Systeme.

Für Quantendetektoren ist eine Kühlung unumgänglich. Kryogenische Kühler sind eher die Ausnahme, mehrstufige Peltier-Elemente finden sich in manchen billigeren Modellen. Die meisten Geräten arbeiten mit kleinen Stirling-Kältemaschinen. Die Betriebstemperatur eines Detektors für den langwelligen Bereich muss niedriger sein als für kurz- oder mittelwellige Strahlung, da die Energie eines Photons umgekehrt proportional zu seiner Wellenlänge ist.

Quantendetektoren sind empfindlicher als Bolometerkameras, und ihre Kennlinien variieren



Abb. 2 Wärmebildkameras mit mikrobolometrischen Detektoren sind sehr handlich, da sie keine aufwändige Kühlung erfordern.

stark mit der Wellenlänge. Ihre Ansprechzeiten liegen bei einer Mikrosekunde, sodass sie auch sehr schnell veränderliche Wärmeprozesse zeitlich auflösen können. Gekühlte Quantendetektoren ermöglichen dabei eine absolute Genauigkeit von $\pm 1^\circ\text{C}$ und eine relative Genauigkeit von 10 mK.

Die gemessenen Temperaturen lassen sich in Falschfarbenbildern visualisieren, sodass Wärme sichtbar wird. Allerdings spielt das Cover des U2-Albums „The Unforgettable Fire“ nicht auf diese Sichtbarwerdung des Feuers an. Die Ruine ist vielmehr ein Symbol der Zerstörung, das in der Infrarotperspektive noch trostloser wirkt.

Michael Vogel

1) Die Bezeichnung Bolometer für den Strahlungssensor leitet sich vom griechischen „bole“ ab, was „Strahl“ bedeutet.

Michael Vogel,
vogel_m@gmx.de