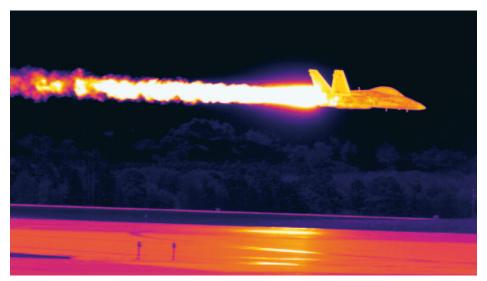
Gekühlte und ungekühlte Wärmebildkameras im Vergleich

Entdecken Sie den Unterschied!



Wärmebildkameras mit gekühltem Detektor können gestochen scharfe Wärmebilder von schnell bewegten Ereignissen liefern.

Wärmebildkameras werden bereits seit vielen Jahren von Forschern, Wissenschaftlern und F+E-Spezialisten für zahlreiche Anwendungen genutzt, unter anderem in der industriellen Forschung und Entwicklung, der akademischen Ausbildung und Forschung, bei zerstörungsfreien Materialprüfungen (ZfP) sowie im Verteidigungs- und Luftfahrtsektor. Trotzdem sind nicht alle Wärmebildkameras gleich konstruiert, denn für bestimmte Anwendungen benötigt man hochmoderne Wärmebildkameras mit High-Speed/Stop-Motion-Funktion, um präzise Messungen ausführen zu können.

Wärmebildkameras für wissenschaftliche und F+E-Anwendungen sind leistungsstarke und nicht-invasive Messinstrumente. Mit einer Wärmebildkamera lassen sich Probleme bereits in einer frühen Phase des Entwicklungszyklus erkennen, dokumentieren und beheben, bevor sie schwerwiegende Folgen und teure Reparaturen nach sich ziehen.

Wärmebildkameras für Anwendungen in Forschung und Entwicklung (F+E)

Wärmebildkameras erkennen die für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung und wandeln diese in ein visuelles Bild um, das die Temperaturunterschiede auf dem jeweiligen Objekt oder im jeweiligen Bereich sichtbar macht. Wärmeenergie deckt einen Teil des elektromagnetischen Spektrums ab und wird von allen Gegenständen und Lebewesen abgestrahlt, deren Temperatur über Null Grad Celsius liegt. Je höher ihre Temperatur ist, desto mehr Wärmeenergie strahlen sie ab.

Flir Wärmebildkameras wurden eigens dafür entwickelt, diese Wärmestrahlung und die zugehörigen Temperaturunterschiede in Echtzeit zu erkennen und aufzuzeichnen. Damit können Ingenieure und Forscher Wärmemuster, Wärmeverteilung, Wärmelecks und andere temperaturtechnische Faktoren bei Anlagen und Systemen, Produkten und Prozessen deutlich erkennen und präzise messen. Einige dieser Kameras erkennen sogar winzige Temperaturunterschiede von bis zu 0,02 °C. Jede davon ist mit modernster Detektortechnologie und erweiterten mathematischen Algorithmen ausgestattet, um



Bild 1: Die FLIR A6700sc ist eine kompakte, leichte und besonders preisgünstige Wärmebildkamera mit gekühltem InSb-Detektor.

präzise Hochleistungsmessungen in einem Temperaturbereich von -80 bis +3.000 °C zu ermöglichen. Wärmebildkameras für F+E-Anwendungen bieten eine perfekte Kombination aus besonders hoher Bilderfassungsleistung und präziser Temperaturmessung sowie leistungsstarken Werkzeugen und Softwarelösungen zur weiterführenden Analyse und Berichterstellung. Dadurch eignen sie sich ideal für eine Vielzahl von Forschungs-, thermischen Analyse- und Produktvalidierungsanwendungen.

Gekühlte und ungekühlte Kameras

Die Auswahl von Wärmebildkamerasystemen für wissenschaftliche und F+E-Anwendungen ist riesig. Deshalb fragen sich viele Anwender: "Soll ich mich für ein gekühltes oder ein ungekühltes Wärmebildkamerasystem entscheiden, und welches davon ist am preisgünstigen?" Heutzutage sind zwei verschiedene Arten von Wärmebildkameras auf dem Markt erhältlich: gekühlte und ungekühlte Systeme. Da die Kosten bei beiden Systemen konstruktionsbedingt sehr unterschiedlich ausfallen können, sollte man vorher genau abwägen, welches System ideal zu den Anforderungen passt.



Bild 2: Die ungekühlte Forschungskamera FLIR T650sc bietet eine hohe Auflösung, einen kleinen Messpunkt für präzise Messergebnisse und eine zuverlässige Temperaturmessgenauigkeit.

Autoren:





Links: Joachim Sarfels, FLIR Systems GmbH, R&D-Science Division, Area Sales Manager Central Europe Rechts: Frank Liebelt, freier Journalist

96 PC & Industrie 11/2015

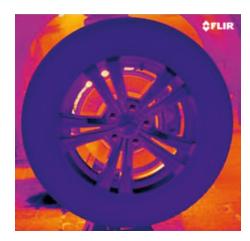


Bild 3: Von einer gekühlten Wärmebildkamera in der Bewegung aufgenommenes Autorad

Gekühlte Wärmebildkameras

Bei einer modernen gekühlten Wärmebildkamera wird der Bildsensor in einen Kryokühler eingebaut. Dieser senkt die Sensortemperatur auf ein besonders niedriges, kryogenes Niveau. Diese Absenkung ist notwendig, um das wärmeinduzierte Rauschen permanent auf ein Niveau zu reduzieren, das unterhalb des Signalpegels liegt, den der erfasste Gegenstand oder Bereich an die Umgebung abstrahlt. Kryokühler bestehen aus beweglichen Teilen, die mit äußerst geringen mechanischen Toleranzen gefertigt werden und sich mit der Zeit abnutzen, sowie einer gewissen Menge Helium, die allmählich durch die Gasdichtungen nach außen entweicht.

Gekühlte Wärmebildkameras besitzen von allen Kameratypen die besten Empfindlichkeitseigenschaften und können selbst geringste Temperaturunterschiede zwischen einzelnen Gegenständen erkennen. Sie lassen sich speziell zur Bilderfassung im mittelwelligen (MWIR) und langwelligen Band (LWIR) des Infrarotspektrums herstellen, in denen der Wärmekontrast aufgrund der physikalischen Schwarzkörperstrahlung am stärksten ist. Der Wärmekontrast steht für



Bild 4: Von einer ungekühlten Wärmebildkamera in der Bewegung aufgenommenes Autorad

die Signaländerung bei einer entsprechenden Temperaturänderung des Zielobjekts. Je höher der Wärmekontrast ausfällt, desto einfacher lassen sich die betreffenden Zielobjekte vor einem Hintergrund erkennen, der nicht wesentlich kälter oder wärmer ist als sie selbst.

Ungekühlte Wärmebildkameras

Ungekühlte Infrarotkameras sind Wärmebildkameras, deren Bildsensor nicht durch einen Kryokühler gekühlt werden muss. Eine gängige Detektorbauweise basiert auf dem Mikrobolometer, einem winzigen Vanadiumoxid-Widerstand mit hohem Temperaturkoeffizienten, der auf einem Siliziumelement mit großer Oberfläche, niedriger Wärmekapazität und guter Wärmeisolierung montiert wird. Wenn sich die Temperatur im überwachten Bereich ändert, ändert sich auch die Bolometertemperatur. Diese Änderungen werden zunächst in elektrische Signale und anschließend in aussagekräftige Bildinformationen für das menschliche Auge umgewandelt. Ungekühlte Sensoren werden speziell zur Bilderfassung im langwelligen Band (LWIR) des Infrarotspektrums gefertigt, in dem die terrestrischen Temperaturziele den Großteil ihrer

Infrarotenergie abstrahlen. Ungekühlte Kameras sind generell deutlich preisgünstiger als gekühlte Infrarotkameras. Im Vergleich zu gekühlten Sensoren lassen sich ungekühlte Sensoren mit weniger Produktionsschritten und demzufolge auch in größeren Stückzahlen herstellen. Außerdem benötigen ungekühlte Kameras weniger Vakuumverpackungen und kommen ohne die äußerst kostspieligen Kryokühler aus. Ungekühlte Kameras bestehen im Vergleich zu gekühlten Kameras aus weniger beweglichen Teilen und haben trotz ähnlicher Nutzungsbedingungen häufig eine längere Lebensdauer. Bild 3 bis 6 zeigen die Unterschiede.

Gekühlte Kameras für F+E-Anwendungen

Die Vorteile der ungekühlten Kameras führen zwangsläufig zur folgenden Frage: Wann ist es besser, für wissenschaftliche und F+E-Anwendungen eine gekühlte Wärmebildkamera zu verwenden? Die Antwort lautet: Das hängt von den jeweiligen Anwendungsanforderungen ab.

Sie wollen oder müssen selbst kleinste Temperaturunterschiede innerhalb kurzer Zeitabstände erkennen, stets die bestmögliche Bildqualität nutzen, sich schnell bewegende oder erwärmende Zielobjekte messen, das Wärmeprofil oder die Temperatur eines sehr kleinen Zielobjekts erkennen oder messen, die Wärmeobjekte in einem ganz bestimmten Teil des elektromagnetischen Spektrums sichtbar machen oder Ihre Wärmebildkamera mit anderen Messinstrumenten synchronisieren? Dann ist eine gekühlte Wärmebildkamera in jedem Fall die beste Wahl.

Geschwindigkeit

Gekühlte Kameras zeichnen sich im Vergleich zu ungekühlten Kameras durch ihre wesentlich höheren Bilderfassungsgeschwindigkeiten aus. Die Hochgeschwindigkeitsthermografie ermöglicht Belichtungszeiten im Mikrosekundenbereich. Damit lassen sich sichtbare Bewegungen in dynamischen Szenen einfangen und mit mehr als 62.000 Bildern pro Sekunde aufzeichnen. Typische Anwendungen sind unter

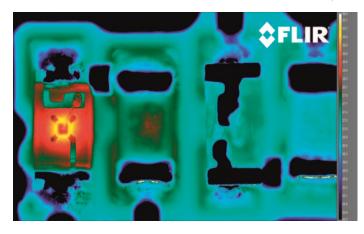


Bild 5: Von einer gekühlten Wärmebildkamera aufgenommenes Bild einer Elektronikplatine

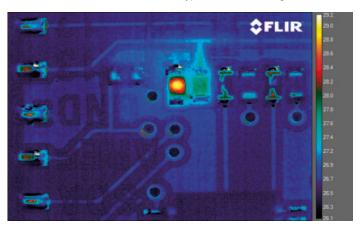


Bild 6: Von einer ungekühlten Wärmebildkamera aufgenommenes Bild einer Elektronikplatine

Bildverarbeitung

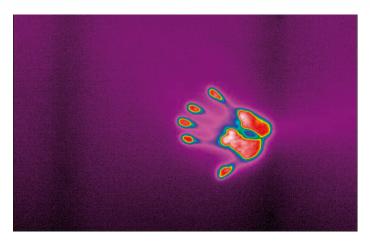


Bild 7: Bild einer gekühlten Wärmebildkamera vom Handabdruck direkt nach dem Wegnehmen der Hand

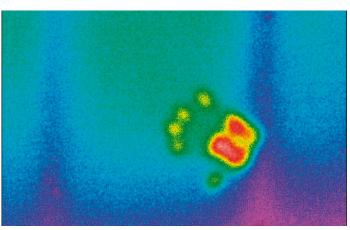


Bild 8: Bild einer gekühlten Wärmebildkamera vom Handabdruck zwei Minuten nach dem Wegnehmen der Hand

anderem thermische und dynamische Analysen von Turbinenschaufeln in Strahltriebwerken, Überschallprojektilen und Explosionen sowie die Überprüfung von Kraftfahrzeugreifen und Airbags.

Gekühlte Kameras zeichnen sich durch ihre besonders schnellen Reaktionszeiten aus und verwenden einen globalen Auslöser. Das heißt, dass sie alle Bildpunkte (Pixel) auf einmal auslesen können und nicht Zeile für Zeile, wie es bei ungekühlten Kameras der Fall ist. Dadurch können gekühlte Kameras auch von schnell bewegten Objekten verzerrungsfreie Bilder aufnehmen und präzise Messungen daran ausführen.

Die IR-Bilder in den Bildern 3 und 4 zeigen die Aufnahmeergebnisse eines Autorads, das sich mit 32 km/h dreht. Das obere Bild wurde mit einer gekühlten Wärmebildkamera aufgenommen. Darauf könnte man meinen, dass sich das Rad nicht dreht, sondern steht. Dieser Eindruck resultiert aus der besonders hohen Bilderfassungsrate der gekühlten Kamera, die das Rad mitten in der Bewegung gestochen scharf abbilden kann. Die Bilderfassungsrate der ungekühlten Kamera reicht dafür hingegen nicht aus. Deshalb sehen die Radspeichen durchsichtig

und verzerrt aus (siehe Bild 4). Auf solchen verzerrten Bildern lässt sich die Temperatur nicht genau messen.

Räumliche Auflösung

Da gekühlte Kameras kürzere Infrarot-Wellenlängen erfassen, besitzen sie im Vergleich zu ungekühlten Kameras in der Regel auch eine bessere Vergrößerungsleistung. Da gekühlte Kameras höhere Empfindlichkeitswerte aufweisen, lassen sie sich mit mehreren oder stärkeren optischen Elementen bestücken, die ihre Vergrößerungsleistung erhöhen, ohne ihren Signalrauschabstand zu beeinträchtigen.

Die Wärmebilder in den Bildern 5 und 6 vergleichen die jeweils maximale Vergrößerung bei Nahaufnahmen, die sich mit einem gekühlten und einem ungekühlten Kamerasystem erzielen lässt. Bild 5 wurde mit einem 4-fach-Nahbereichsobjektiv und einer gekühlten Kamerakombination mit einem Detektorabstand von 15 μ m aufgenommen. Das Resultat ist ein 3,5 μ m großer Messpunkt. Bild 6 wurde mit einem 1-fach-Nahbereichsobjektiv und einer ungekühlten Kamerakombination mit einem Detektorabstand

von 25 μ m aufgenommen. Das Resultat ist ein 25 μ m großer Messpunkt.

Empfindlichkeit

Vielen Anwendern fällt es im Vorfeld schwer, alle Vorteile zu schätzen, die sich aus den besseren Empfindlichkeitseigenschaften einer gekühlten Wärmebildkamera ergeben. Denn nur die wenigsten können sich vorstellen, was der feine Unterschied zwischen einer Empfindlichkeit von 50 mK bei einer ungekühlten Kamera und von 20 mK bei einer gekühlten Kamera in der Praxis für sie bedeutet. Deshalb haben wir ein kleines Empfindlichkeitsexperiment veranstaltet, das diesen Unterschied und seine Vorteile veranschaulichen soll (siehe Bilder 7 bis 10). Dabei haben wir einen unserer Technikexperten gebeten, seine Hand für wenige Sekunden auf eine Wand zu legen, damit diese einen entsprechenden "Wärmeabdruck" darauf hinterlässt. Die Bilder 7 und 9 zeigen diesen Abdruck direkt, nachdem die Hand wieder von der Wand weggenommen wurde. Und das zweite Bildpaar (Bild 8 und 10) zeigt denselben Wärme-Handabdruck zwei Minuten später. Während die gekühlte Kamera selbst dann noch einen Großteil

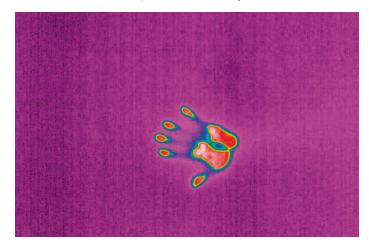


Bild 9: Bild einer ungekühlten Wärmebildkamera vom Handabdruck direkt nach dem Wegnehmen der Hand

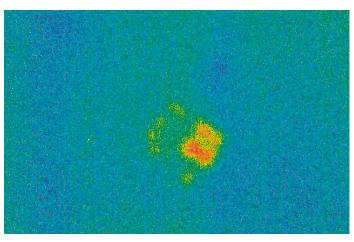


Bild 10: Bild einer ungekühlten Wärmebildkamera vom Handabdruck zwei Minuten nach dem Wegnehmen der Hand

98 PC & Industrie 11/2015

der Wärmesignatur des Handabdrucks erkennt, erfasst die ungekühlte Kamera nur noch einen deutlich kleineren Rest davon. Die gekühlte Kamera kann also im Vergleich zur ungekühlten Kamera geringere Temperaturunterschiede wesentlich länger erkennen und umfangreicher darstellen. Deshalb bedeutet die höhere Empfindlichkeit der gekühlten Kamera in der Praxis, dass Sie damit in jeder Situation detailreichere Bilder von Ihren Zielobjekten aufnehmen und selbst kleinste Temperaturunterschiede darauf erkennen können.

Spektralfilter

Eine der größten Vorteile von gekühlten Wärmebildkameras ist, dass man damit eine einfache Spektralfilterung vornehmen kann, die Details sichtbar und Messungen möglich macht, die mit ungekühlten Wärmebildkameras unsichtbar bleiben würden oder unmöglich wären. Im ersten Beispiel, das in Bild 11 zu sehen ist, benutzen wir einen Spektralfilter, der sich entweder in einer Filterhalterung hinter dem Objektiv oder direkt in der Dewar-Detektorbaugruppe befindet, um eine offene Flamme mit Wärmebildtechnik für das menschliche Auge "durchsichtig" zu machen. In unserem Beispiel ging es dem Anwender darum, die Verbrennung von Kohlepartikeln direkt in einer offenen Flamme zu messen und zu charakterisieren. Mit einem Spektral-Infrarotfilter, mit dem man guasi durch die Flamme "hindurchsehen" kann, haben wir bei einer gekühlten Kamera genau das spektrale Wellenband der Flamme herausgefiltert. in dem diese für das menschliche Auge "durchsichtia" und die Verbrennung der Kohlepartikel darin sichtbar wird. Das erste Bild wurde ohne diesen Flammenfilter aufgenommen, sodass wir darauf lediglich die Flamme selbst sehen. Auf dem Bild 12, das mit dem Flammenfilter aufgenommen wurde, können wir die Verbrennung der Kohlepartikel jedoch deutlich erkennen.

Synchronisation

Dank ihrer präzisen Synchronisation und Auslösung eignen sich diese Kameras ideal für hochsensible Hochgeschwindigkeitsanwendungen. Im Snapshot-Modus kann die FLIR A6750sc alle Bildpunkte eines Wärmeereignisses gleichzeitig erfassen. Dies ist vor allem beim präzisen Erfassen sich schnell bewegender Objekte wichtig – eine Anwendung, bei der herkömmliche ungekühlte Wärmebildkameras in der Regel nur stark verzerrte Bilder liefern.

Die Bilder 13 und 14 sind dafür ein gutes Beispiel. Dabei haben wir eine Münze fallen gelassen, während die Aufnahmefunktion der Kamera von einem Auslösesensor gesteuert wurde. Dieselbe Münze wurde zweimal fallen gelassen, wobei der Sensor die Wärmebildkamera immer genau dann auslöste, wenn sich das Motiv auf gleicher Höhe befand. Mit einer ungekühlten Mikrobolometer-Kamera könnten Sie die Münze entweder gar nicht erst erfassen, weil sich Ihr Detektortyp nicht auf diese Weise auslösen lässt – und wenn es Ihnen trotzdem zufällig gelingen würde, wäre das resultierende Bild auf jeden Fall deutlich verzerrt.

Wärmebildkameras

Die hochleistungsfähigeren Kameramodelle 6750sc, A8300sc, SC6000, SC7000, SC8000, X6000sc und die gekühlte Kamera X8000sc zeichnen sich durch ihre besonders hohe Geschwindigkeit und Empfindlichkeit im MWIR- und LWIR-Spektralband aus, während die FLIR A6250sc im NIR-Spektralband arbeitet. Diese Kameras bieten ausgezeichnete Einsatzmöglichkeiten in anspruchsvollen Messvorrichtungen für Hochgeschwindigkeits- und Wärmeereignisse, breite Temperaturbereiche, Phänomene mit geringer Amplitude, Multispektralanalysen sowie die Analyse von sehr kleinen Objekten.

Außerdem bietet Flir ein umfangreiches Sortiment von ungekühlten Wärmebildkameras, die

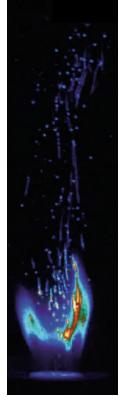
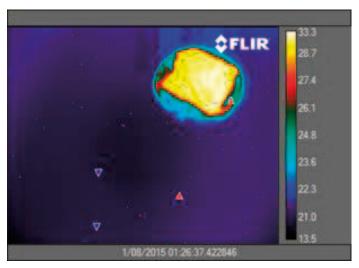




Bild 11 und 12: Links das Bild einer gekühlten Wärmebildkamera ohne Spektralflammenfilter, rechts mit Spektralflammenfilter

von Einsteigerpaketen für Prüfstände bis hin zu hochleistungsfähigeren Systemen wie der FLIR T650sc reichen. Mit eigens dafür entwickelten Objektiven und Softwaretools kann die Kameralösung exakt an die individuellen Anwendungen angepasst werden.

■ FLIR Systems GmbH research@flir.com www.flir.com www.irtraining.eu



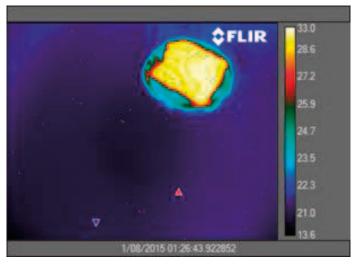


Bild 13 und 14: Dieselbe Münze wird zweimal fallen gelassen. Der Sensor löst die Wärmebildkamera immer genau dann aus, wenn sich das Objekt auf gleicher Höhe befindet.

PC & Industrie 11/2015