

## GEKÜHLTE UND UNGEKÜHLTE WÄRMEBILDKAMERAS IM VERGLEICH Entdecken Sie den Unterschied

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 schwerwiegendere Folgen und teurere Reparaturen nach sich ziehen.

### WÄRMEBILDKAMERAS FÜR F+E-ANWENDUNGEN (FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG)

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, um diese Wärmestrahlung und die zugehörigen Temperaturunterschiede in Echtzeit zu erkennen und aufzuzeichnen. Damit können Ingenieure und Forscher Wärmemuster, die 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 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 Bildfassungsleistung, präziser Temperaturmessung, leistungsstarken Werkzeugen und Softwarelösungen zur weiterführenden Analyse und Berichterstellung. Dadurch eignen sie sich ideal für eine Vielzahl von Forschungs-, thermischen Analyse- und

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



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



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

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, sollten Sie vorher genau abwägen, welches System ideal zu Ihren Anforderungen passt.

### 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 Wärmecontrast aufgrund der physikalischen Schwarzkörperstrahlung am stärksten ist. Der Wärmecontrast steht für die Signaländerung bei einer entsprechenden Temperaturänderung des Zielobjekts. Je höher der Wärmecontrast 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

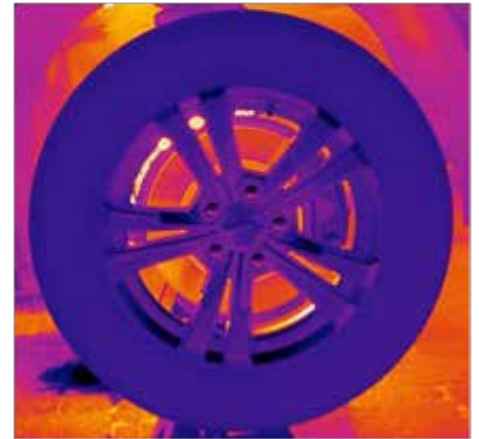
Wärmebildkameras, deren Bildsensor nicht durch einen Kryokühler gekühlt werden muss. Eine gängige Detektorbauweise basiert auf dem Mikrobolometer, einem winzigen Vanadiumoxid-Widerstand mit hohem Temperaturkoeffizienten, der auf einem Siliziumelement mit großer Oberfläche, niedriger Wärmekapazität und guter Wärmeisolierung montiert wird. Wenn sich die Temperatur im überwachten Bereich ändert, ändert sich auch die Bolometer-temperatur. 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.

### GEKÜHLTE KAMERAS FÜR F+E-ANWENDUNGEN

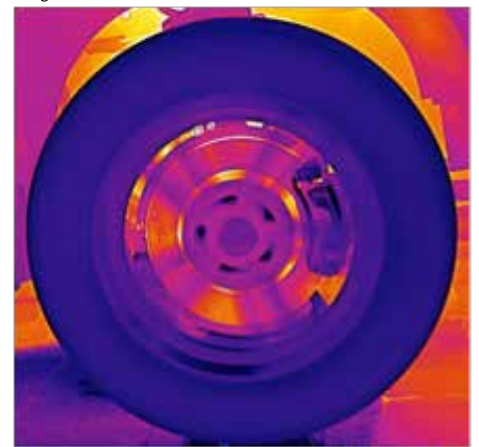
Die Vorteile der ungekühlten Kameras führen zwangsläufig zur folgenden Frage: Wann ist es besser, für wissenschaftliche und F+E-Anwendungen eine gekühlte Wärmebildkamera zu verwenden? Die Antwort lautet: Das hängt von den jeweiligen Anwendungsanforderungen ab.

Sie wollen oder müssen selbst kleinste

Abbildung 1



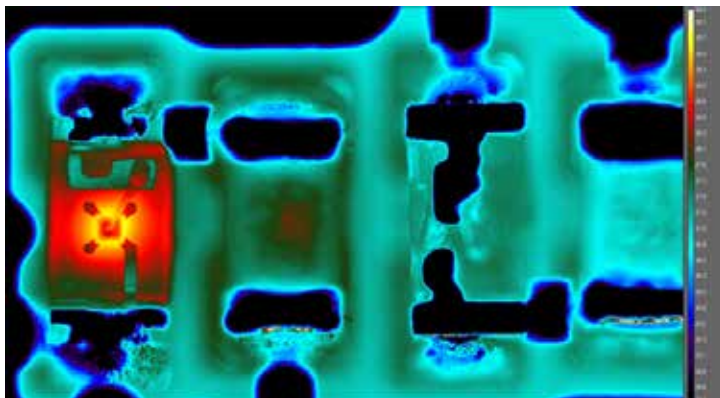
Von einer gekühlten Wärmebildkamera in der Bewegung aufgenommenes Autorad



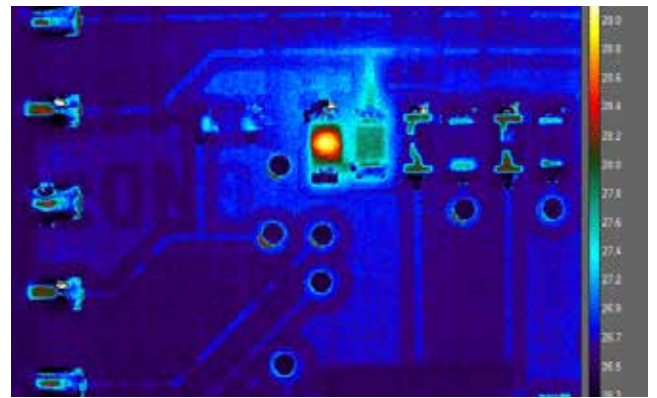
Von einer ungekühlten Wärmebildkamera in der Bewegung aufgenommenes Autorad

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 für Sie in jedem Fall die beste Wahl.

Abbildung 2



Von einer gekühlten Wärmebildkamera aufgenommenes Bild einer Elektronikplatine



Von einer ungekühlten Wärmebildkamera aufgenommenes Bild einer Elektronikplatine

## 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 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 Abbildung 1 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 unteres Bild). 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 sie mit mehreren oder stärkeren optischen Elementen bestücken, die ihre Vergrößerungsleistung erhöhen, ohne ihren Signalrauschabstand zu beeinträchtigen.

Die Wärmebilder in Abbildung 2 vergleichen die jeweils maximale

Vergrößerung bei Nahaufnahmen, die sich mit einem gekühlten und einem ungekühlten Kamerasystem erzielen lässt. Das linke Bild wurde mit einem 4-fach-Nahbereichsobjektiv und einer gekühlten Kamerakombination mit einem Detektorabstand von 15  $\mu\text{m}$  aufgenommen. Das Resultat ist ein 3,5  $\mu\text{m}$  großer Messpunkt. Das rechte Bild wurde mit einem 1-fach-Nahbereichsobjektiv und einer ungekühlten Kamerakombination mit einem Detektorabstand von 25  $\mu\text{m}$  aufgenommen. Das Resultat ist ein 25  $\mu\text{m}$  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 ein kleines Empfindlichkeitsexperiment für Sie veranstaltet, das Ihnen diesen Unterschied und seine Vorteile veranschaulichen soll (siehe Abbildung 3). Dabei haben wir einen unserer Technikexperten gebeten, seine

Abbildung 3

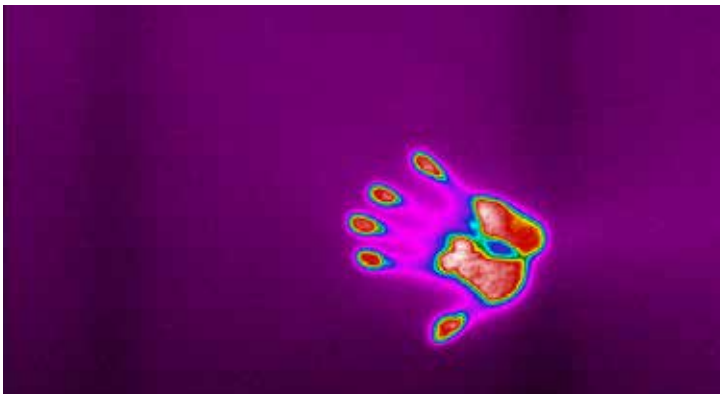


Bild einer gekühlten Wärmebildkamera vom Handabdruck direkt nach dem Wegnehmen der Hand

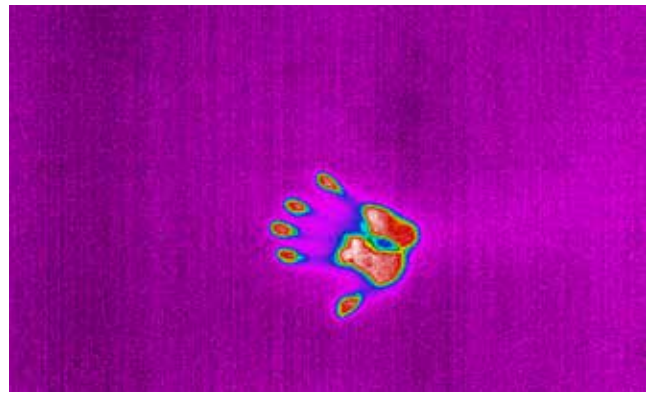


Bild einer ungekühlten Wärmebildkamera vom Handabdruck direkt nach dem Wegnehmen der Hand

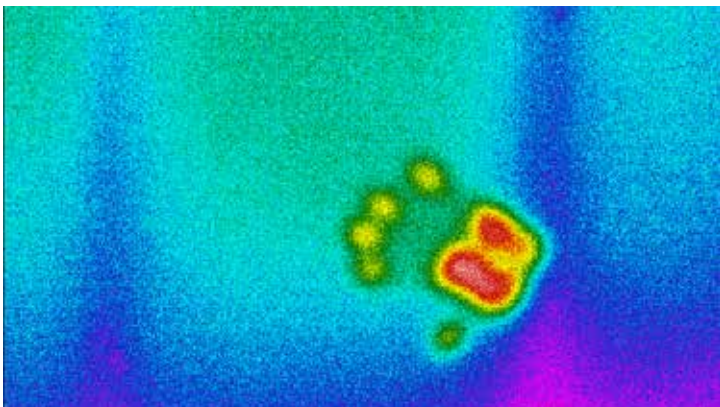


Bild einer gekühlten Wärmebildkamera vom Handabdruck zwei Minuten nach dem Wegnehmen der Hand

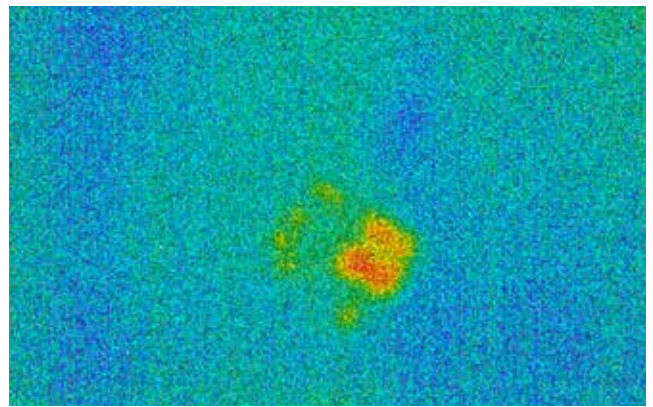


Bild einer ungekühlten Wärmebildkamera vom Handabdruck zwei Minuten nach dem Wegnehmen der Hand

Abbildung 4

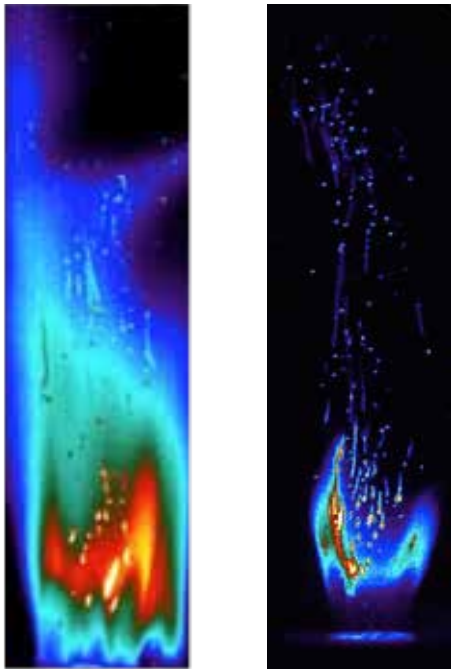


Bild einer gekühlten Wärmebildkamera ohne Spektralflammenfilter

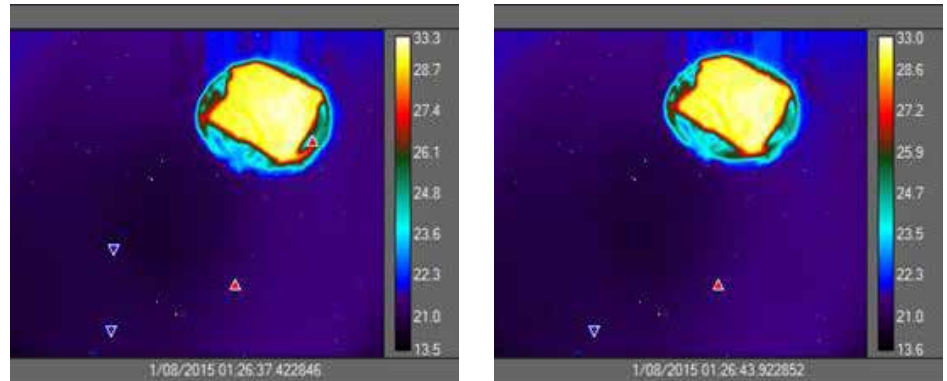
Bild einer gekühlten Wärmebildkamera mit Spektralflammenfilter

Hand für wenige Sekunden auf eine Wand zu legen, damit diese einen entsprechenden „Wärmeabdruck“ darauf hinterlässt. Die ersten beiden Bilder zeigen diesen Abdruck direkt nachdem die Hand wieder von der Wand weggenommen wurde. Und das zweite Bildpaar zeigt denselben Wärme-Handabdruck zwei Minuten später. Während die gekühlte Kamera selbst dann noch einen Großteil 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 für Sie 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 Abbildung 4 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

Abbildung 5



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

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 quasi 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 „durchsichtig“ 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 zweiten Bild, 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 in Abbildung 5 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 VON FLIR

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 Ihnen FLIR ein umfangreiches Sortiment von ungekühlten Wärmebildkameras, die von Einsteigerpaketen für Prüfstände bis hin zu hochleistungsfähigeren Systemen wie der FLIR T650sc reichen. Mit eigens dafür entwickelten Objektiven und Softwaretools können Sie Ihre Kameralösung exakt an Ihre individuellen Anwendungen anpassen. Wenn Sie Hilfe bei der Entscheidung benötigen, welche gekühlte oder ungekühlte Wärmebildkamera am besten zu Ihren Anforderungen passt, wenden Sie sich einfach an Ihren FLIR-Repräsentanten.

Nähere Informationen zu Wärmebildkameras oder diesem Anwendungsbeispiel finden Sie unter:

[www.flir.com](http://www.flir.com)

Die hierin enthaltenen Bilder entsprechen möglicherweise nicht der tatsächlichen Auflösung der gezeigten Kamera(s). Alle Bilder dienen nur zur Veranschaulichung.