










THERMOGRAFIE-HANDBUCH FÜR BAU-ANWENDUNGEN UND ERNEUERBARE ENERGIEN

Ein informativer Leitfaden für den Einsatz von Wärmebildkameras bei der Inspektion von Gebäuden, Solarmodulen und Windrädern



Inhalt

	1. Die Wärmebildkamera und ihre Funktionsweise	8
	2. Argumente für die Wärmebildtechnik	10
	3. Einsatz der Wärmebildtechnik für Bau-Anwendungen	14
	4. Thermische Physik für Bau-Anwendungen	26
	5. Wärmebildkameras für die Inspektion von Solarmodulen	32
	6. Inspektion von Windkraftanlagen mit Wärmebildkameras	44
	7. Die Wahl des richtigen Wärmebildkameraherstellers	48
	8. Die Wahl der passenden Wärmebildkamera	50
	9. Die Durchführung thermografischer Inspektionen	62

Diese Broschüre wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Infrared Training Center (ITC) produziert. Alle Bilder dienen nur der Veranschaulichung.

TECHNISCHE ANGABEN UNVERBINDLICH. ÄNDERUNGEN VORBEHALTEN © Copyright 2011, FLIR Systems AB. Alle anderen Marken- und Produktnamen sind Warenzeichen der jeweiligen Inhaber.

Einleitung

Die erste Wärmebildkamera für zivile Nutzung wurde 1965 für die Inspektion von Hochspannungsleitungen von einem Unternehmen verkauft, aus dem sich die heutige Firma FLIR Systems entwickelt hat.

Seit dieser Zeit hat sich die Wärmebildtechnik stetig weiterentwickelt. Wärmebildkameras sind zu kompakten Systemen geworden, die fast wie eine digitale Videokamera oder ein digitaler Fotoapparat aussehen. Ihre Bedienung ist einfach, und sie liefern klare Bilder mit hoher Auflösung in Echtzeit.

Die Bauindustrie entdeckte als eine der ersten Branchen, dass die Wärmebildtechnik wertvolle Informationen liefern kann, die sich mit sonst keinem anderen Hilfsmittel gewinnen lassen. Mittlerweile haben sich Wärmebildkameras von einer exotischen Technologie zu einem weit verbreiteten Werkzeug weiterentwickelt, das Gebäudeinspektoren in der ganzen Welt einsetzen.

Eine Wärmebildkamera ist ein einzigartiges Werkzeug, um die Energieverluste eines Gebäudes abzubilden. Diese Methode liefert schnell Ergebnisse, und die von der Kamera erzeugten Wärmebilder ermöglichen eine auf Fakten gestützte, überzeugende Argumentation.

Die Verwendung einer Wärmebildkamera – entweder als Einzelgerät oder in Kombination mit anderen Methoden wie dem "BlowerDoor"-Verfahren – beschleunigt die Arbeit erheblich. Die Wärmebildtechnik zeigt genau auf, wo Energie verloren geht, und das ohne zerstörende Testverfahren.



Wärmebildkameras haben sich in den vergangenen 50 Jahren stark weiterentwickelt. FLIR Systems war immer ein Pionier der Wärmebildtechnik, der modernste Wärmebildkameras auf den Markt gebracht hat.

Eine Wärmebildkamera ist ein zuverlässiges, berührungsfreies Instrument, mit dem die Temperaturverteilung ganzer Oberflächen schnell und exakt untersucht und dargestellt werden kann. Thermografieprogramme haben weltweit zu beachtlichen Kosteneinsparungen beigetragen.

Wärmebildtechnik für die Bauindustrie

Seit den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts wird uns mehr und mehr bewusst, dass unsere Energievorräte begrenzt und damit wertvoll sind.

Der Baubereich allein verschlingt 40 % des Energiebedarfs der EU und bietet somit als Branche das größte Potential zur Optimierung des Energieverbrauchs. Aufgrund dieser Tatsache hat die Europäische Kommission eine Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden erlassen, auf der bereits jetzt zahlreiche nationale Gesetze beruhen.

Tausende europäischer Unternehmen sind davon betroffen, denn Energieausweise (Energy Performance Certificates – EPCs) sind in vielen Ländern der EU für Neubauten und die Modernisierung von Gebäuden schon heute vorgeschrieben.

In Verbindung mit den in zahlreichen Ländern kürzlich verabschiedeten Konjunkturpaketen führt dies zu einer steigenden Nachfrage nach Prüfungen auf Luftdichtigkeit und anderen Verfahren zur Untersuchung der Energieeffizienz.

Langfristig werden wir uns wohl mit strengeren EU-Richtlinien hinsichtlich Energieeinsparungen im Bauwesen auseinandersetzen müssen. Mit weitreichenden Konsequenzen für die vielen Beschäftigten der Baubranche.



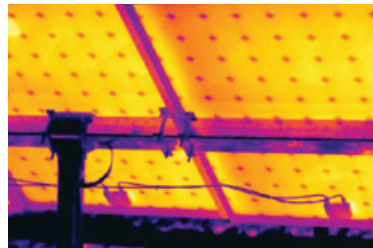
Moderne Wärmebildkameras sind klein, leicht und einfach zu bedienen.

Erneuerbare Energien

Die Verknappung traditioneller Energiequellen wie Kohle, Gas und Erdöl hat auch zu drastischen Preisanstiegen geführt. Außerdem hat sich allgemein das Bewusstsein entwickelt, dass unser Planet nicht weiter durch den Einsatz dieser fossilen Brennstoffe vergiftet werden darf.

Sonnenenergie

Solarmodule wandeln Sonnenlicht in Strom um. Und in bares Geld. Um maximalen Gewinn und hohe Erträge über Jahrzehnte hinweg zu erhalten, ist jedoch eine hervorragende Qualität Grundvoraussetzung. Das Solarmodul, der wichtigste Teil eines Solarsystems, muss zuverlässig sein und kontinuierlich für viele Jahre Strom produzieren können. Eine hohe Qualität lässt sich mit der Unterstützung durch Wärmebildkameras für die ganze Lebensdauer eines Solarmoduls sicherstellen.



Die Verwendung einer Wärmebildkamera zur Untersuchung von Solarmodulen bringt gleich mehrere Vorteile. Anomalien lassen sich auf einem scharfen Wärmebild klar erkennen und - im Gegensatz zu anderen Verfahren - können Wärmebildkameras zur Untersuchung montierter Solarmodule verwendet werden, auch während diese in Betrieb sind.

Da die Vorkommen fossiler Brennstoffe schwinden und die Preise für Kohle und Gas zu neuen Höhenflügen ansetzen, haben viele Menschen die Sonne als erneuerbare Energiequelle im Blick. Aber auch Solarmodule unterliegen dem Verschleiß. Gebäudeprofis auf der ganzen Welt setzen darum Wärmebildkameras ein, um auf Dächern oder in Solarparks installierte Solarmodule zu untersuchen.

Windenergie

Eine weitere erneuerbare Energiequelle ist der Wind. Auf der ganzen Welt finden immer mehr Windkraftanlagen für die Stromerzeugung Verbreitung. Sowohl auf dem Land als auch auf See werden ganze Windparks errichtet.

Ein Windrad besteht aus vielen mechanischen und elektrischen Bauteilen, die sich mithilfe einer Wärmebildkamera einfach überprüfen lassen. Korrekt durchgeführte Wartungsinspektionen aller Bestandteile einer Windkraftanlage stellen sicher, dass sie noch für viele Jahre Strom erzeugt.



Ein vom Boden aus aufgenommenes Wärmebild einer Windturbinen

Diese Broschüre ist ein detaillierter Leitfaden für Inspektionen von Gebäuden, Solarmodulen und Windkraftanlagen mit Hilfe der Thermografie. Bei einer solchen Thermografie-Inspektion muss auf viele Details geachtet werden. Neben dem Funktionsprinzip und der Bedienung der Wärmebildkamera ist es auch wichtig, die physikalischen Grundlagen der Temperaturmuster eines Gebäudes, Solarmoduls oder Windrades zu kennen und zu wissen, wie sie aufgebaut sind. All diese Faktoren müssen berücksichtigt werden, wenn es darum geht, Wärmebilddaten zu verstehen, korrekt zu interpretieren und zu beurteilen.

Es ist jedoch nicht möglich, sämtliche Grundlagen, Konzepte und Einsatzmöglichkeiten von Systemen zur Analyse derartiger Anwendungsbereiche in diesem Ratgeber zu behandeln. Darum bietet FLIR Systems Schulungen in Zusammenarbeit mit dem Infrared Training Center (ITC) an, die speziell auf die Anforderungen von Gebäudeanwendungen zugeschnitten sind.

Dieser Ratgeber stellt vor

- Wärmebilddatenanwendungen
- Die Arbeitsweise einer Wärmebildkamera und wichtige Kriterien beim Kauf einer Kamera
- Umfassende Informationen und Tipps für die Durchführung von Thermografie-Inspektionen

1

Die Wärmebildkamera und ihre Funktionsweise

Eine Wärmebildkamera nimmt die Strahlungsstärke im Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums auf und wandelt sie in ein sichtbares Bild um.



Sir William Herschel entdeckte die Infrarotstrahlung im Jahr 1800.

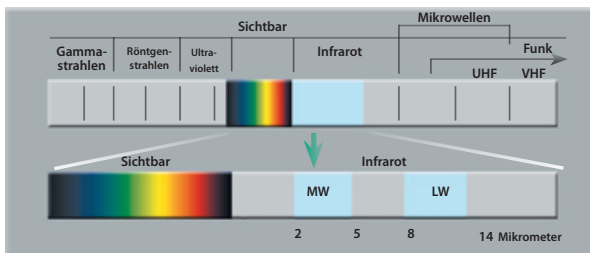
Was ist Infrarot?

Unsere Augen sind Detektoren, die für die Erkennung der elektromagnetischen Strahlung im sichtbaren Bereich des Spektrums ausgelegt sind. Alle anderen Formen elektromagnetischer Strahlung, wie die Infrarotstrahlung, sind für das menschliche Auge unsichtbar.

Die Existenz der Infrarotstrahlung wurde im Jahr 1800 von dem Astronomen Sir Friedrich Wilhelm Herschel entdeckt. Er interessierte sich für den Wärmeunterschied zwischen verschieden farbigem Licht und lenkte Sonnenlicht durch ein Glasprisma, um ein Spektrum zu erzeugen. Anschließend maß er die Temperatur jeder einzelnen Farbe. Dabei fand er heraus, dass die Temperaturen der Farben vom violetten zum roten Teil des Spektrums hin zunahmen.

Nachdem er dieses Muster erkannt hatte, beschloss Herschel, die Temperatur direkt hinter dem roten Anteil des Spektrums in einem Bereich zu messen, in dem kein Sonnenlicht sichtbar war. Zu seiner Überraschung stellte er fest, dass in diesem Bereich die höchste Temperatur herrschte.

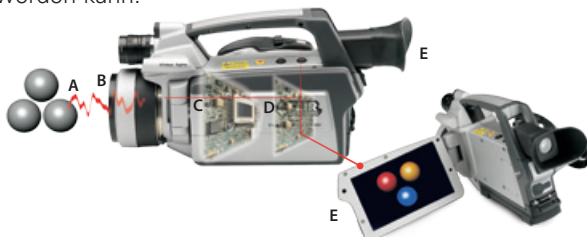
Die Wellenlänge von Infrarotstrahlung im elektromagnetischen Spektrum liegt zwischen der des (für Menschen) sichtbaren Lichtes und der von Mikrowellen. Die wichtigste Quelle von Infrarotstrahlung ist Wärme oder thermische Strahlung. Jeder Gegenstand, der eine Temperatur über dem absoluten Nullpunkt besitzt (-273,15 Grad Celsius oder 0 Kelvin) strahlt im Infrarotbereich. Selbst Dinge, die wir für sehr kalt halten, beispielsweise Eiswürfel, strahlen in diesem Wellenbereich.



Infrarotstrahlung erfahren wir jeden Tag. Die Wärme, die wir bei Sonnenlicht, einem Feuer oder nahe einem Heizkörper empfinden, ist Ausdruck dieser Strahlung. Obwohl unsere Augen sie nicht sehen, können die Nerven in unserer Haut diese Strahlung als Wärme fühlen. Je wärmer ein Gegenstand, desto mehr Infrarotstrahlung geht von ihm aus.

Die Wärmebildkamera

Die von einem Gegenstand ausgesendete Infrarotenergie (A) wird von den Optiken (B) auf einen Infrarotdetektor (C) fokussiert. Der Detektor sendet die Informationen zu einer Sensorelektronik (D), welche die Bildverarbeitung vornimmt. Diese Elektronik übersetzt die vom Detektor kommenden Daten in ein Bild (E), das im Sucher oder auf einem standardmäßigen Videomonitor bzw. einem LCD-Bildschirm betrachtet werden kann.



Die Infrarot-Thermografie ist die Kunst der Umwandlung eines Infrarotbildes in ein radiometrisches Bild, aus dem sich Temperaturwerte ablesen lassen. Denn jeder Pixel im radiometrischen Bild ist eigentlich eine Temperaturmessung. Zu diesem Zweck sind komplexe Algorithmen in die Wärmebildkamera integriert.

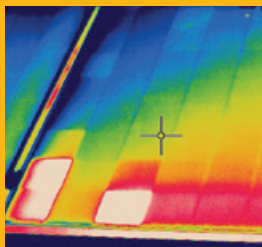
2

Argumente für die Wärmebildtechnik

Wärmebildkameras für Gebäudeanwendungen sind leistungsstarke und nicht-invasive Werkzeuge zur Überwachung und Diagnose des Zustands von Gebäuden, Solarpanels und Windkraftanlagen. Mit einer Wärmebildkamera können Sie Probleme frühzeitig erkennen, dokumentieren und beheben, bevor sie schwerwiegend werden und teurer zu reparieren sind.

FLIR Wärmebildkameras:

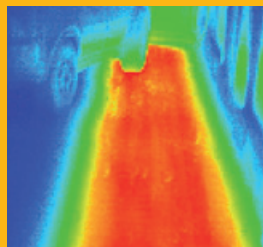
- Sind so einfach zu bedienen wie ein Camcorder oder eine Digitalkamera
- Liefern Ihnen ein vollständiges Bild der Situation
- Erkennen und lokalisieren das Problem
- Messen Temperaturen
- Speichern Informationen
- Zeigen Ihnen genau, was repariert werden muss
- Helfen Ihnen, Störungen zu erkennen, bevor echte Probleme auftreten
- Sparen Ihnen wertvolle Zeit und Geld



Defekte in Photovoltaikzellen.



Thermografieinspektion einer Fensterfront.



Fußbodenheizung, aber nur ein Teil der Anlage funktioniert ordnungsgemäß.

FLIR Systems bietet eine umfassende Palette an Wärmebildkameras. Ob Sie die Wärmebildtechnik für die Inspektion großer Gebäude oder eines Wohnhauses einsetzen, FLIR hat in jedem Fall die richtige Wärmebildkamera für Sie.



Was spricht für den Einsatz von Wärmebildkameras?

Warum sollten Sie sich für eine Wärmebildkamera von FLIR entscheiden? Es gibt auch andere Technologien, mit denen Sie Temperaturen berührungsfrei messen können. Beispielsweise Infrarot-Thermometer.

Infrarot-Thermometer im Vergleich zu Wärmebildkameras

Infrarot(IR)-Thermometer sind zuverlässig und sehr hilfreich, wenn es um das Ablesen der Temperaturwerte einzelner Punkte geht. Beim Abtasten großer Bereiche werden jedoch leicht kritische Teile wie Luftundichtigkeiten, Stellen mit nicht ausreichender Dämmung oder undichte Stellen übersehen. Eine FLIR-Wärmebildkamera kann ganze Gebäude, Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage untersuchen. Sie übersieht keinen potentiellen Problembereich, egal, wie klein er auch sein mag.



IR-Thermometer, Temperaturmessung an einem Punkt



FLIR i3, Temperatur an 3600 Punkten an einem Punkt

Probleme schneller und einfacher mit sehr hoher Genauigkeit finden

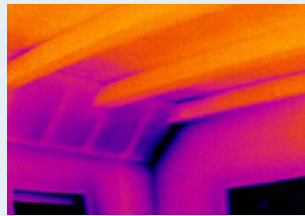
Mit einem IR-Punkt-Thermometer kann es leicht passieren, dass ein kritisches Gebäudeproblem übersehen wird. Eine FLIR-Wärmebildkamera liefert Ihnen ein vollständiges Bild der Situation und unmittelbar Diagnoseergebnisse. Sie lokalisiert nicht nur ein konstruktives Problem in einem Gebäude, sondern zeigt auch das volle Ausmaß der Probleme an.

Verwenden Sie tausende Infrarot-Thermometer gleichzeitig

Mit einem Infrarot-Thermometer können Sie die Temperatur an einem einzelnen Punkt messen. FLIR-Wärmebildkameras messen Temperaturen im gesamten Bildbereich. Die FLIR i3 hat eine Bildauflösung von 60 x 60 Pixeln. Dies entspricht dem gleichzeitigen Einsatz von 3600 IR-Thermometern. Bei der FLIR P660, unserem Topmodell mit einer Bildauflösung von 640 x 480 Pixeln, entsprechen die 307200 Pixel dem gleichzeitigen Einsatz von 307200 Infrarot-Thermometern.



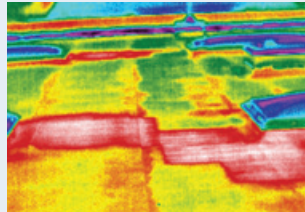
Das sieht ein IR-Thermometer.



Das sieht eine Wärmebildkamera.



Das sieht ein IR-Thermometer.



Das sieht eine Wärmebildkamera.



Das sieht ein IR-Thermometer.



Das sieht eine Wärmebildkamera.



3

Einsatz der Wärmebildtechnik für Bau-Anwendungen

Mit einer Wärmebildkamera lassen sich Probleme frühzeitig erkennen, dokumentieren und beheben, bevor sie sich verschlimmern und ihre Reparatur höhere Kosten verursacht.

Durch die Untersuchung eines Gebäudes mit Hilfe einer Wärmebildkamera ist es möglich:

- Energieverluste sichtbar zu machen
- Fehlende oder fehlerhafte Dämmung zu erkennen
- Den Ursprung von Luftundichtigkeiten zu orten
- Feuchtigkeit in der Dämmung, in Dächern und Mauern zu entdecken, sowohl auf der Innenseite als auch auf der Außenseite eines Gebäudes
- Schimmelbildung und schlecht gedämmte Bereiche aufzuspüren
- Wärmebrücken zu entdecken
- In Flachdächern eingedrungenes Wasser zu lokalisieren
- Brüche in Warmwasserleitungen sichtbar zu machen
- Konstruktionsfehler aufzudecken
- Den Trocknungsprozess von Gebäuden zu überwachen
- Defekte bei Versorgungsleitungen und Fernwärmerohren aufzuspüren
- Elektrische Defekte zu entdecken

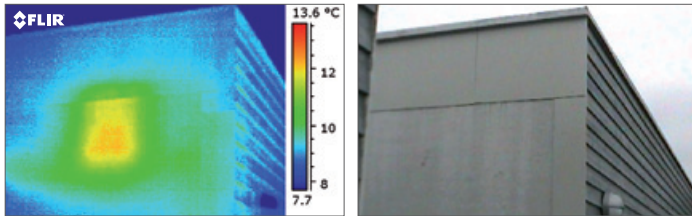
Wärmebildkameras sind das perfekte Werkzeug, um Gebäudedefekte zu lokalisieren und zu identifizieren, da sie Unsichtbares sichtbar machen. Auf einem Wärmebild scheinen Ihnen die Schwachstellen geradezu ins Auge zu springen. Eine Wärmebildkamera ist das einzige Hilfsmittel, mit dessen Hilfe Sie all das wirklich SEHEN können.

Ein Wärmebild einschließlich exakter Temperaturdaten liefert Gebäudeprofis wichtige Informationen über den Zustand der Dämmung, eingedrungene Feuchtigkeit, Schimmelbildung, elektrische Defekte, bestehende Wärmebrücken und den Zustand der Haustechnik.

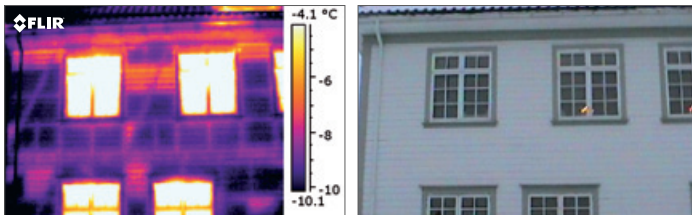
Wärmebildkameras sind ein so wertvolles und vielseitiges Werkzeug, dass es nicht gelingen wird, alle möglichen Anwendungen aufzuzählen. Neue und innovative Verfahren für den Einsatz dieser Technologie werden Tag für Tag entwickelt. Einige der vielen Möglichkeiten für den Einsatz von Wärmebildkameras bei Gebäudeanwendungen werden in diesem Kapitel des Ratgebers erläutert.

Fehlerhafte Dämmung und Luftundichtigkeiten

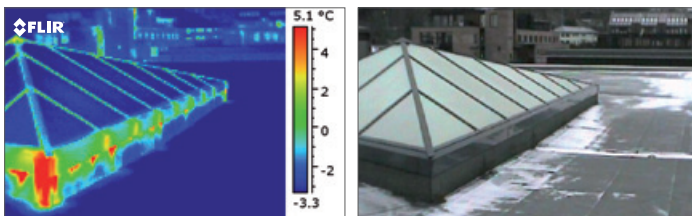
Die Wärmebildtechnik ist eine phantastische Methode, um Missstände bei Gebäuden aufzudecken, wie beispielsweise fehlende Dämmung, Putzablösungen und Kondenswasserbildung.



Dieses Gebäude ist auf der Innenseite wärmer. Es ist in Sandwich-Bauweise errichtet worden: Beton - Dämmung - Beton. In einem Gefach fehlt die Dämmung, was aber weder von außen noch von innen mit dem Auge zu erkennen ist. Hier kann das Wärmebild etwas sehen, was für das menschliche Auge unmöglich ist.

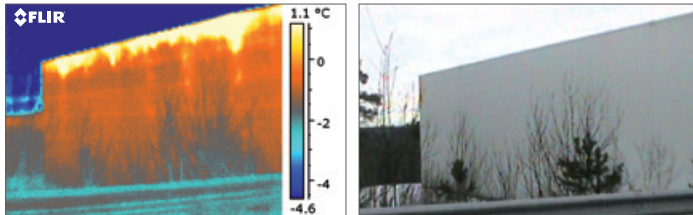


Fachwerkkonstruktion. In vielen der Gefächer fehlt die Dämmung, dies lässt sich an den wärmeren Farben erkennen.



Glasdach über einem Innenhof. Es ist wasserdicht, aber nicht luftdicht. Aufgrund des Überdrucks entweicht warme Luft; die Lösung besteht darin, das Glasdach luftundurchlässig zu machen.

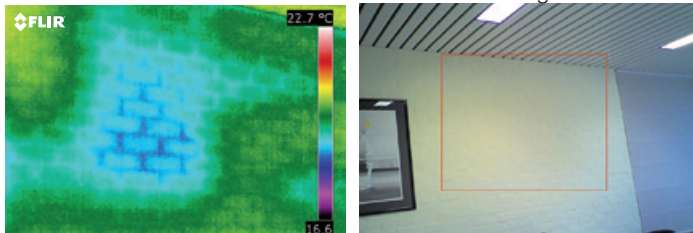
Bei Lagergebäuden mit gut isolierten vorgefertigten Wänden und Dächern kann es zu Energieverlusten im Bereich der Dichtungen zwischen diesen Bauelementen kommen.



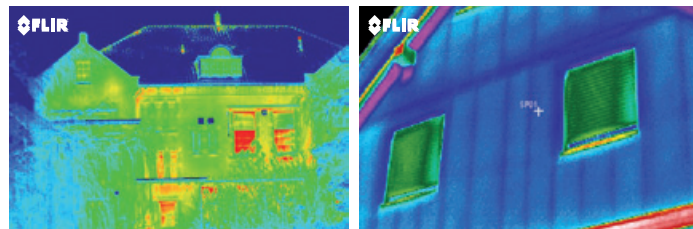
Bei diesem Lagerhaus entweicht viel warme Luft zwischen Wand und Dach. Diese Dichtungen müssen überarbeitet werden, um den Energieverlust zu stoppen.

Wenn mithilfe einer Wärmebildkamera nach fehlerhafter Dämmung oder Energieverlusten gesucht wird, sollten idealerweise mindestens 10 °C zwischen Außen- und Innentemperatur liegen. Bei Verwendung einer Wärmebildkamera mit einer hohen Bildauflösung und großer thermischer Empfindlichkeit kann der Temperaturunterschied auch kleiner ausfallen.

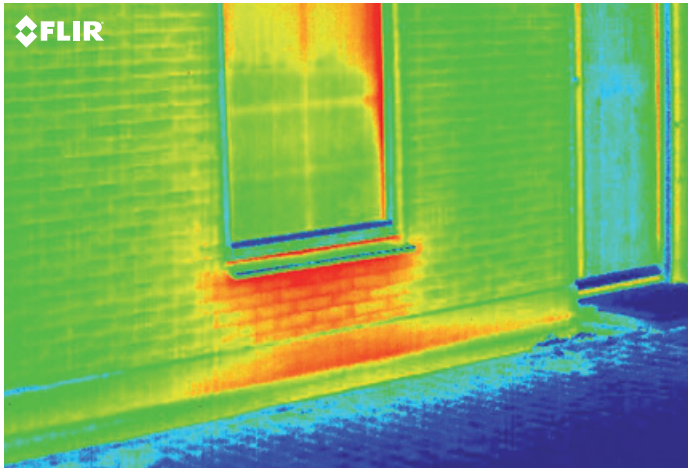
In kalten Klimazonen werden Gebäudeinspektionen häufig im Winter durchgeführt. In wärmeren Klimazonen, wo es wichtig ist, die Dämmung zu überprüfen, damit die von einer Lüftung bzw. Klimaanlage erzeugte kühle Luft im Gebäude bleibt, bieten sich die Sommermonate für diese Art der Untersuchung an.



Fehlende Dämmung in Teilen der Wand.



Das von außen aufgenommene Wärmebild enthüllt eindeutig die fehlerhafte oder fehlende Dämmung.



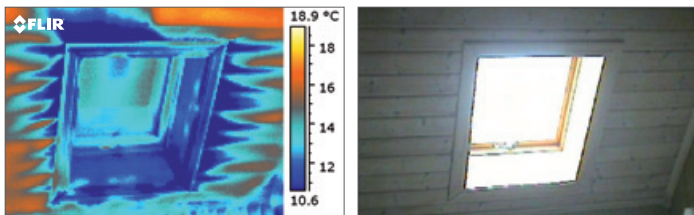
Auf dem Wärmebild ist die unzureichende Dämmung in der Mauer unterhalb des Fensters deutlich zu erkennen.

Entdeckung von Luftundichtigkeiten

Luftundichtigkeiten führen zu höherem Energieverbrauch und verursachen oftmals Probleme im Bereich des Lüftungssystems. Durch sie kann es außerdem zu Kondenswasserbildung im Gebäude kommen, was wiederum das Raumklima verschlechtert.

Um mit einer Wärmebildkamera Luftundichtigkeiten auf die Spur zu kommen, braucht es einen Temperatur- und einen Druckunterschied.

Mit einer Wärmebildkamera werden die typischen Temperaturmuster erfasst, die auftreten, wenn kalte Luft durch eine Ritze in das Gebäude eindringt, an einer Oberfläche entlang streicht und diese herunterkühlt. Eine Thermografie-Inspektion sollte immer auf der Gebäudeseite erfolgen, wo Unterdruck herrscht. Häufig werden Luftundichtigkeiten mithilfe des Differenzdruckverfahrens, auch "BlowerDoor"-Test genannt, aufgespürt. Mehr Informationen zum "BlowerDoor"-Verfahren finden Sie weiter hinten in diesem Leitfaden.

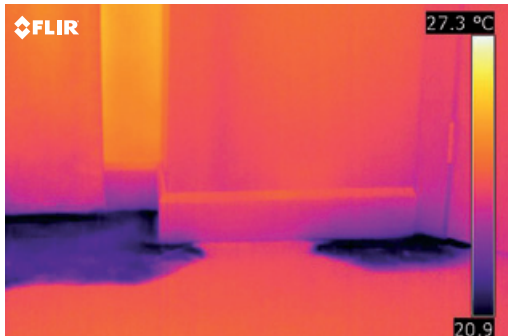


Das Bild zeigt Luftundichtigkeiten zwischen der Dachschräge und dem Fenster.

Erkennung von Feuchtigkeit

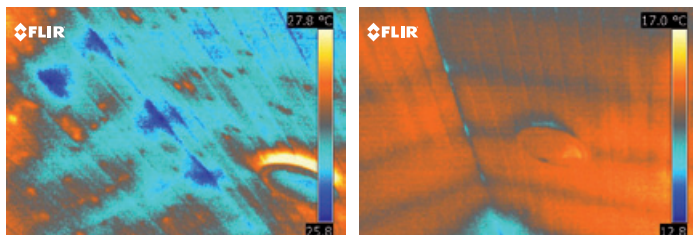
Am häufigsten sind Feuchtigkeitsschäden die Ursache für den verschlechterten Zustand eines Gebäudes. Luftundichtigkeiten können Kondensfeuchtigkeit verursachen, die sich in Mauern, Böden oder Decken niederschlägt. Feuchte Dämmstoffe trocknen nur sehr langsam und sind der ideale Nährboden für Schimmel und andere Pilze.

Mithilfe einer Wärmebildkamera lassen sich feuchte Stellen erfassen, an denen sich eventuell Schimmel bildet. Man kann sein Vorhandensein riechen, aber nicht sagen, wo er sitzt. Mithilfe einer Thermografie-Inspektion lässt sich bestimmen, wo sich feuchte Stellen befinden, aus denen sich möglicherweise ernstzunehmender Schimmelbefall entwickelt, der wiederum gesundheitliche Probleme nach sich ziehen kann.



Eingedrungene Feuchtigkeit in einem Fußboden, für das menschliche Auge unsichtbar, aber im Infrarotbild klar zu erkennen.

Feuchtigkeit ist manchmal schwierig zu entdecken, der Trick besteht darin, die Gebäudetemperatur zu verändern. Feuchte Materialien sind dann deutlich sichtbar, denn sie verändern ihre Temperatur viel langsamer als trockene Stoffe. Wo andere Verfahren nur an einem einzigen Punkt die Temperatur messen, können Wärmebildkameras die Werte eines ganzen Bereiches schnell erfassen.



Wärmebilder derselben Decke. Auf dem linken Bild hat sich die Raumtemperatur durch Beheizen des Raums schnell verändert, so dass die Feuchtigkeit auf dem Wärmebild klar zum Vorschein kommt.

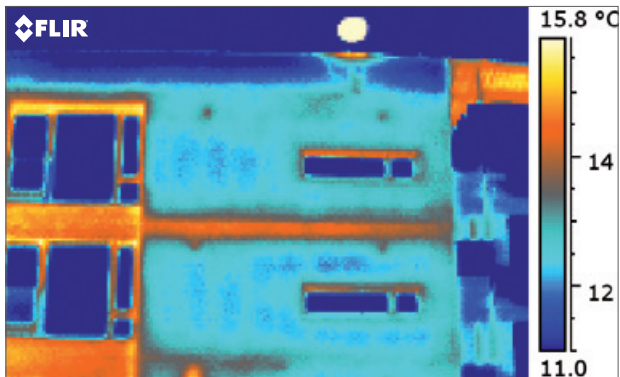
Wärmebrücken

Eine weitere Anwendung ist beispielsweise die Lokalisierung von Wärmebrücken, die Stellen in einem Gebäude anzeigen, an denen Energie vergeudet wird.

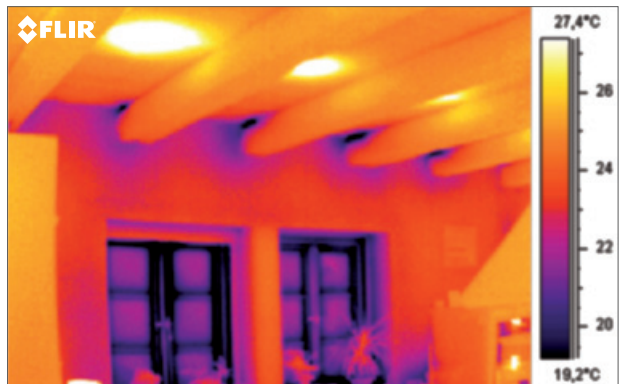
Als Wärmebrücke wird eine Zone bezeichnet, in der die Gebäudehülle einen niedrigeren thermischen Widerstand aufweist. Ursache dafür sind konstruktionsbedingte Mängel. Die Wärme folgt dem einfachsten Weg vom erwärmten Bereich nach außen hin, dem Weg des geringsten Widerstands.

Typische Folgen einer Wärmebrücke sind:

- Absenkung der Oberflächentemperaturen innen; im schlimmsten Fall endet dies mit Kondenswasserbildung, insbesondere in den Ecken.
- Deutliche Erhöhung der Wärmeverluste.
- Kalte Bereiche in Gebäuden.



Das Bild zeigt eine Wärmebrücke in der Geschossdecke.



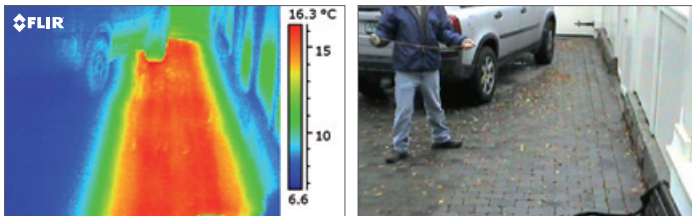
Das Wärmebild zeigt die Wärmebrücken zwischen Deckenbalken und angrenzenden Wänden.

Versorgungsleitungen und Fernwärmenetze

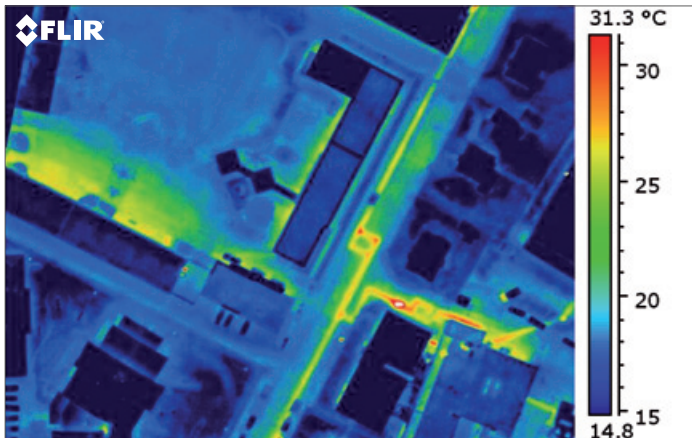
In kalten Klimazonen werden Gehwege und Parkplätze manchmal beheizt.

Fernwärmenetze verteilen Wärme, oftmals in Form von Dampf, der in zentralen Einheiten für die Beheizung von Wohnhäusern und Geschäften erzeugt wird.

Jedwede Beschädigung der Rohrleitungen eines unterirdischen Heizsystems lässt sich mit einer thermografischen Überprüfung einfach entdecken. Eine Wärmebildkamera kann einen Defekt genau lokalisieren, so dass sich die Reparaturarbeiten auf das Nötigste reduzieren.



Schäden an Fernwärmenetzen lassen sich mit einer Wärmebildkamera einfach identifizieren.



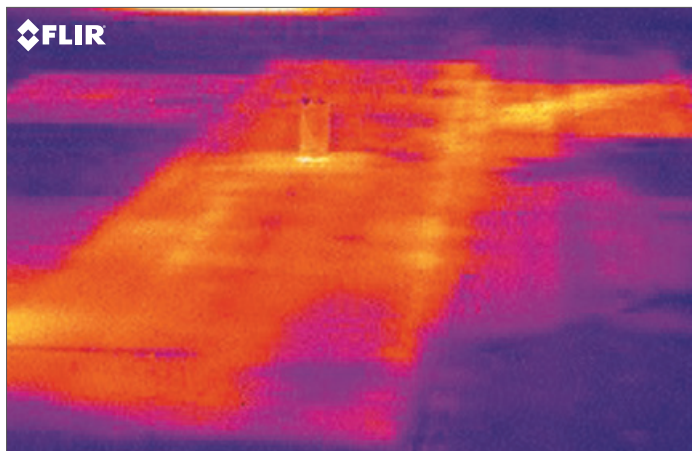
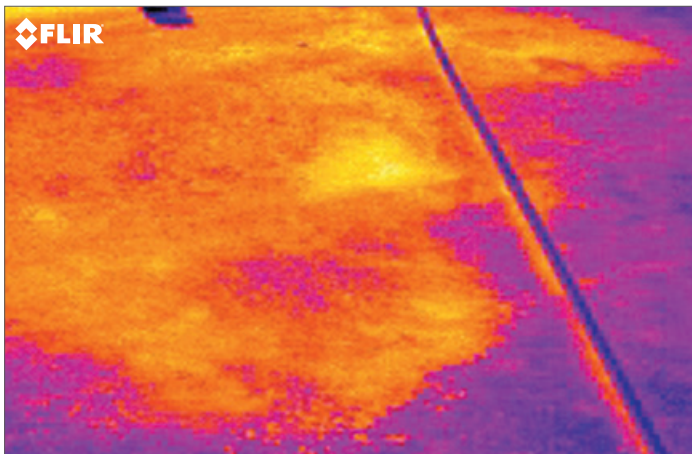
Ein aus der Luft aufgenommenes Wärmebild zeigt Leckagen und fehlerhafte Dämmung im Bereich des Fernwärmenetzes

In Flachdächern eingedrungenes Wasser lokalisieren

Die Wärmebildtechnik findet auch bei der Suche nach undichten Stellen in Flachdächern Anwendung.

Wasser hält Wärme länger als der Rest des Dachmaterials und kann mit einer Wärmebildkamera am späten Abend oder bei Nacht, nachdem der übrige Teil des Daches abgekühlt ist, einfach erkannt werden.

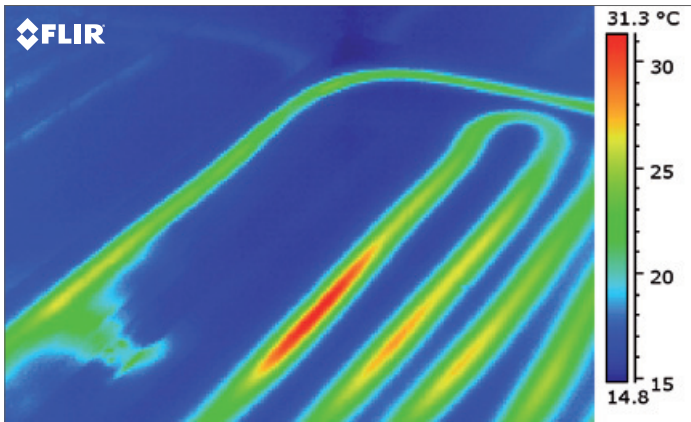
Feuchte Bereiche zu reparieren ist bedeutend kostengünstiger als die Erneuerung des kompletten Daches.



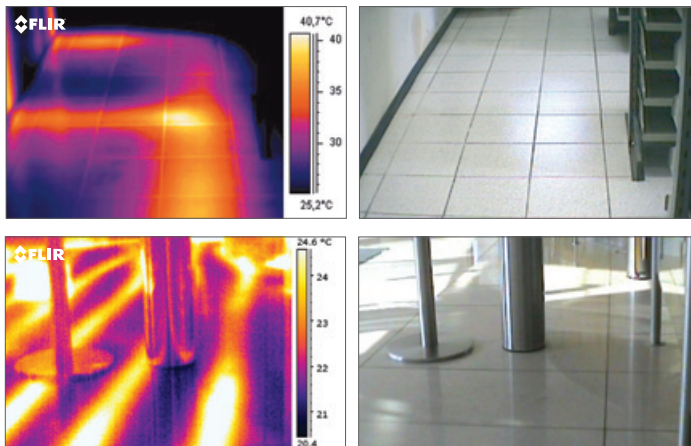
Eindringen von Wasser in Flachdächern

Lokalisierung von Lecks in Fußbodenheizungen

Die Wärmebildtechnik ist ein einfach einzusetzendes Verfahren, um Leitungen und Rohre zu lokalisieren und auf Undichtigkeiten hin zu überprüfen, auch dann wenn sich die Wasserrohre im Boden oder unter Putz befinden. Die Wärme der Leitungen strahlt durch die Oberfläche hindurch, so dass sich das Temperaturmuster mit einer Wärmebildkamera einfach erkennen lässt.



Das Wärmebild zeigt eine undichte Stelle in einer Fußbodenheizung.



Der Verlauf einer Fußbodenheizung lässt sich mit einer Wärmebildkamera einfach erkennen.

Qualitätssicherung

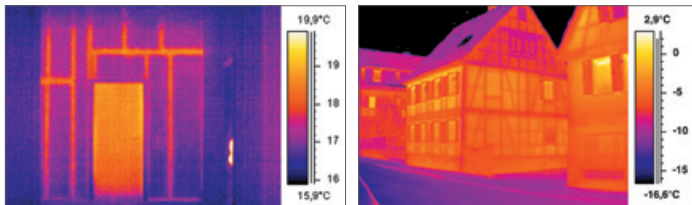
Die Wärmebildtechnologie findet auch bei der Qualitätssicherung und Überprüfung neuer Gebäude Verwendung.

Während der Trocknungsphase eines Gebäudes lassen sich mithilfe von Wärmebildern die Fortschritte mitverfolgen, so dass gegebenenfalls geeignete Maßnahmen eingeleitet werden können, um diesen Prozess zu beschleunigen.

Wenn dadurch die Trocknung schneller erfolgt und gleichzeitig die Wärmebilder als Beweis für die vollständige Trockenheit des Gebäudes herangezogen werden können, so kann es folglich auch eher dem Kunden übergeben werden.

Renovierung von Gebäuden

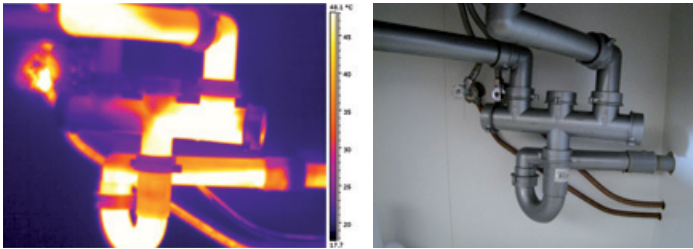
Die Wärmebildtechnik liefert zuverlässige Informationen bei der Renovierung von Gebäuden und Denkmälern. Von Mineralputz verdeckte Fachwerkkonstruktionen sind auf einem Wärmebild klar zu erkennen. Nun kann entschieden werden, ob ihre Freilegung sinnvoll ist. Schon in einem sehr frühen Stadium ist zu erkennen, ob sich Putz von der Wand löst, so dass Konservierungsmaßnahmen ergriffen werden können.



Die Wärmebildtechnik macht tiefer liegende Strukturen sichtbar.

Rohrleitungen

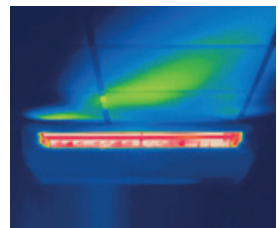
Die Wärmebildtechnik ist die ideale Methode, um verstopfte oder beschädigte Rohre oder andere Probleme bei Rohrleitungen aufzuspüren. Selbst wenn die Rohre unter dem Boden oder in der Wand verlegt sind, ist es möglich, die Problemstelle exakt zu bestimmen, indem heißes Wasser durch die Rohre hindurch geleitet wird. Die Wärme strahlt aus, und somit ist die Problemzone deutlich auf einem Wärmebild erkennbar.



Probleme bei Rohrleitungen mit der Wärmebildtechnik aufdecken.

Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage

Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage bedürfen der intensiven Wartung. Denn sie sollen Luft mit einer bestimmten Feuchtigkeit und Temperatur liefern sowie sämtliche Schadstoffe herausfiltern. Mithilfe der Wärmebildtechnik lässt sich feststellen, ob die Systeme der Haustechnik einwandfrei funktionieren. Ein fehlerhafter Betrieb beeinträchtigt die Luftqualität in den Räumen.

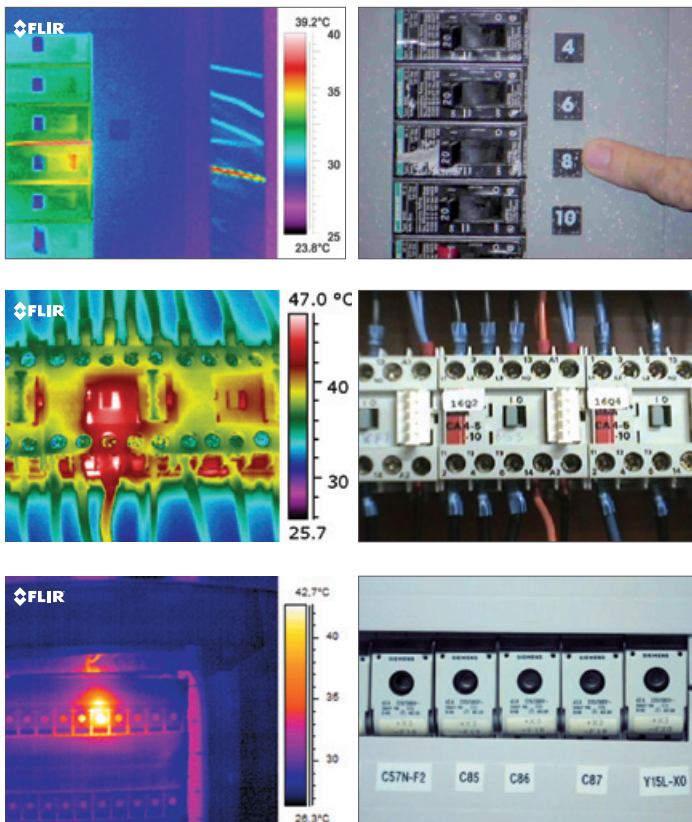


Elektrische Defekte

In jedem Gebäude befindet sich auch eine Vielzahl von elektrischen Installationen. Die Wärmebildtechnik eignet sich ebenfalls für die Überprüfung von elektrischen Schaltschränken, Sicherungen, Anschlüssen usw..

Probleme, die für das menschliche Auge unsichtbar sind, lassen sich so beheben. Wenn sie unentdeckt bleiben, können elektrische Probleme hohe Temperaturen erzeugen. Darüber hinaus kommt es möglicherweise zu Funkenflug, durch den das ganze Gebäude in Brand geraten kann.

Weitere Informationen zur Überprüfung elektrischer Systeme mithilfe einer Wärmebildkamera finden Sie in der Broschüre "Thermografie-Handbuch für industrielle Anwendungen".



Eine der Sicherungen ist überhitzt und wird dadurch zur Brandgefahr.

4

Thermische Physik für Bau-Anwendungen

Um Wärmebilder korrekt interpretieren zu können, muss der Anwender wissen, in welcher Weise unterschiedliche Werkstoffe und Gegebenheiten die Temperaturwerte beeinflussen, die die Wärmebildkamera misst. Einige der wichtigsten Faktoren, die die abgelesenen Temperaturen beeinflussen, sind:

1. Thermische Leitfähigkeit

Unterschiedliche Werkstoffe haben unterschiedliche thermische Eigenschaften. Isolierstoffe erwärmen sich eher langsam, während sich Metalle schnell erwärmen. Dieses Phänomen wird thermische Leitfähigkeit genannt. Unterschiede in den thermischen Eigenschaften von zwei verschiedenen Materialien können in bestimmten Situationen zu großen Temperaturunterschieden führen.

2. Emissionsgrad

Um korrekte Temperaturen ablesen zu können, muss ein wichtiger Faktor berücksichtigt werden, den man Emissionsgrad nennt. Der Emissionsgrad ist die Effizienz, mit der ein Gegenstand Infrarotstrahlung abgibt. Und dies hängt sehr stark von den Materialeigenschaften ab.



Wenn Sie das Wärmebild betrachten, könnte der Eindruck entstehen, dass die goldene Farbe kälter als die Oberfläche des Bechers ist. In Wirklichkeit haben sie genau dieselbe Temperatur, der Unterschied in der Stärke der Infrarotstrahlung entsteht durch einen unterschiedlichen Emissionsgrad.

Es ist äußerst wichtig, dass der korrekte Emissionsgrad in der Kamera eingestellt wird. Ansonsten messen Sie falsche Temperaturen. Die Wärmebildkameras von FLIR Systems besitzen vorgegebene Einstellungen für den Emissionsgrad zahlreicher Materialien, und die übrigen Werte können einer Emissionsgrad-Tabelle entnommen werden.



Bei dem Wärmebild auf der linken Seite ist der richtige Emissionsgrad für die menschliche Haut (0,97) eingestellt, und die abgelesene Temperatur zeigt den richtigen Wert (36,7 °C) an. Im Wärmebild auf der rechten Seite wurde der falsche Emissionsgrad eingegeben (0,15), und dadurch ergibt sich ein falscher Temperaturwert (98,3 °C).

3. Reflexion

Einige Materialien, zu denen die meisten Metalle gehören, reflektieren die Wärmestrahlung so stark, wie ein Spiegel sichtbares Licht reflektiert. Reflexionen sind oftmals die Ursache von Fehlinterpretationen des Wärmebildes; die Reflexion der Wärmestrahlung des eigenen Körpers des Bedieners oder einer Lampe können zu falschen Temperaturdaten führen. Der Anwender sollte daher sorgfältig den Winkel wählen, in dem die Wärmebildkamera auf das Objekt gerichtet wird, um Reflexionen dieser Art zu vermeiden.



Das Fenster spiegelt die Wärmestrahlung, für eine Wärmebildkamera wirkt es daher wie ein Spiegel.

Wenn das Oberflächenmaterial des Gegenstands einen niedrigen Emissionsgrad besitzt und zwischen dem Gegenstand und der Umgebungstemperatur ein großer Temperaturunterschied besteht, beeinflusst die Reflexion der Einfallstrahlung die von der Wärmebildkamera gemessenen Temperaturen. Zur Lösung dieses Problems hat FLIR in seine Wärmebildkameras eine Option integriert, mit der sich die reflektierte Umgebungstemperatur einstellen lässt.

4. Innen- und Außentemperaturen

Um fehlende oder fehlerhafte Dämmung mit Wärmebildkameras erfassen zu können, muss zwischen Innen- und Außentemperatur ein entsprechendes Temperaturgefälle bestehen. Auch wenn es oftmals möglich ist, bei geringeren Temperaturdifferenzen zu arbeiten, so sollte der Temperaturunterschied zwischen Außen- und Innenseite der Mauer in der Regel mindestens 10 °C betragen.

Untersuchungen dieser Art werden normalerweise sowohl von innen als auch von außen durchgeführt. Fehlende, beschädigte oder fehlerhaft funktionierende Dämmung ist deutlich zu erkennen, wenn das Temperaturgefälle ausreichend groß ist.

Der Anwender sollte die Werte der Temperatur innen und außen kennen und muss außerdem wissen, ob es in den letzten 24 Stunden große Temperaturschwankungen gab.

5. Einflüsse auf der Außenseite eines Gebäudes

Es versteht sich wahrscheinlich von selbst, dass direktes Sonnenlicht die Temperaturwerte beeinflusst, aber Sonnenlicht kann auch langfristige Auswirkungen haben. Auch noch viele Stunden später üben direktes Sonnenlicht und Schatten einen Einfluss auf das Temperaturmuster einer Oberfläche aus. Unterschiede im Bereich der Wärmeleitfähigkeit sorgen auch für Veränderungen bei den Temperaturmustern. Zum Beispiel verändern Backsteine ihre Temperatur deutlich langsamer als Holz. Auch Wind hat einen Einfluss auf die Temperaturdaten. Luftströme kühlen das Oberflächenmaterial ab und verringern die Temperaturunterschiede zwischen heißen und kalten Bereichen.

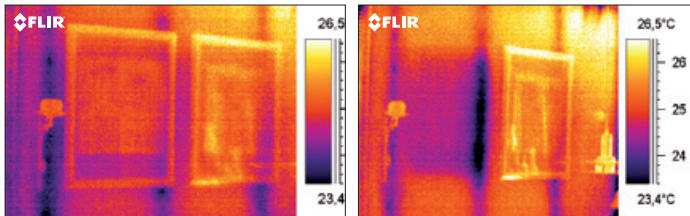
Ein weiterer äußerer Faktor, der Wärmebildinspektionen sinnlos machen kann, ist Regen, da er die Oberflächentemperatur absenkt. Selbst nach dem Ende des Regens kühlt das verdampfende Wasser noch das Oberflächenmaterial ab. Dies kann selbstverständlich irreführende Temperaturmuster zur Folge haben.

6. Heizungs- und Lüftungssysteme

Äußere Einflüsse auf Oberflächentemperaturen sind auch im Innenbereich möglich. Die Umgebungstemperatur kann die Oberflächentemperatur des Objektes beeinflussen, aber es gibt noch einen weiteren Faktor: Klimaanlage. Heizungsanlagen erzeugen Temperaturunterschiede, die irreführende Temperaturmuster zur Folge haben können. Kalte, aus Lüftern oder Klimaanlage strömende Luft kann den gegenteiligen Effekt ausüben, nämlich die Oberfläche herunterkühlen.

7. Einflüsse auf der Innenseite eines Gebäudes

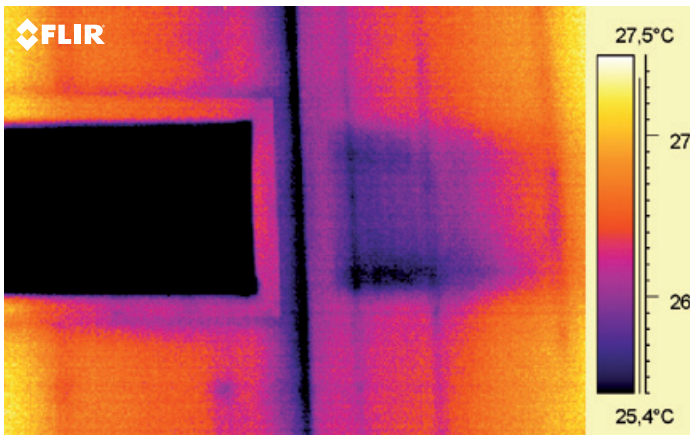
Bücherregale, Schränke oder an der Wand hängende Bilder können ebenfalls das Temperaturmuster verändern. Diese beispielhaft aufgeführten Möbel und Wanddekorationen wirken isolierend. Werden diese Gegenstände von der Wand entfernt, so wird der Mauerbereich dahinter auf dem Wärmebild kälter dargestellt. Das kann fälschlicherweise als fehlende Dämmung ausgelegt werden. Darum sollten sämtliche Gegenstände mindestens 6 Stunden vor der Inspektion von der Wand entfernt werden.



Diese beiden Wärmebilder wurden von derselben Mauer gemacht. Die Außentemperatur ist niedriger als die Innentemperatur. Das Bild rechts zeigt, was passiert, wenn ein Bild von der Wand abgenommen wird. Der kalte Bereich hinter dem Bild hat dieselbe Größe wie die Zone zwischen zwei Stützen in der Wand, man könnte meinen, dass dort keine Dämmung vorhanden ist.

8. Reflexionen aus der Umgebung

Beim Abtasten reflektierender Ziele sollte der Anwender den Winkel so wählen, dass die Reflexionen auf dem Bild möglichst gering ausfallen. Die Reflexion kann von der Körperwärme des Anwenders oder von einer anderen Wärmequelle in der Nähe stammen, beispielsweise einem Maschinenteil, einer Glühlampe oder einem Transformator. Durch Reflexionen kommt es zu falschen Werten auf dem Wärmebild und, wenn dies nicht erkannt wird, zu Fehlinterpretationen.



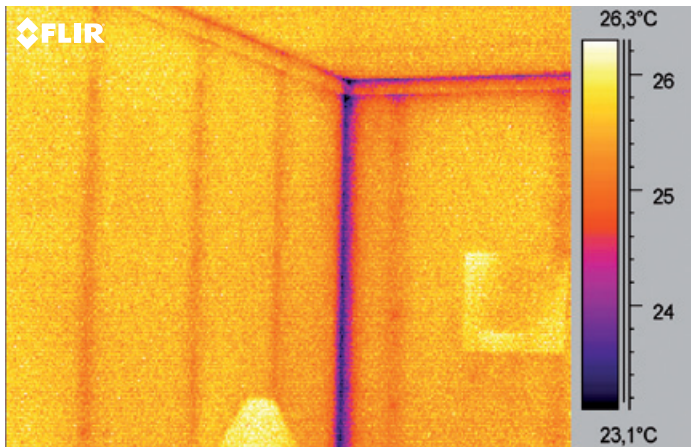
Das Bild zeigt Reflexionen auf der Wandinnenseite (rechts), hervorgerufen von dem Fenster links.

9. Verschiedene Baumaterialien

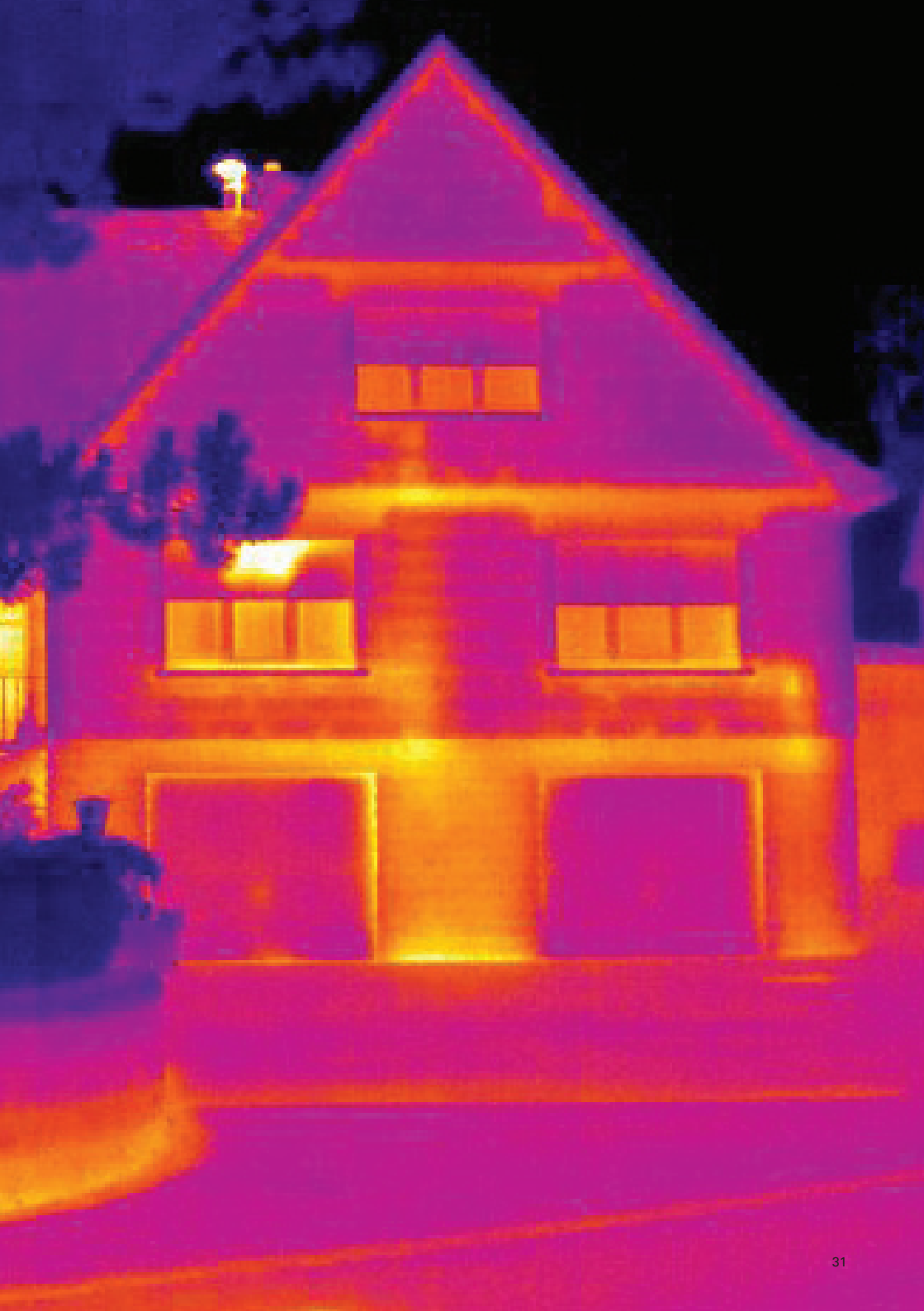
Manche Materialien wie z. B. Beton reagieren thermisch langsam, d. h. sie ändern nur langsam ihre Temperatur. Andere wiederum, wie die meisten Metalle, ändern ihre Temperatur schnell. Um die Ergebnisse korrekt interpretieren zu können, muss der Thermograf wissen, ob es vor der Untersuchung drinnen oder draußen erhebliche Temperaturänderungen gab, da dies sich auf die erfassten Temperaturdaten auswirken kann.

10. Bauweise des Gebäudes

Eine Außenwand kann mit einem Luftspalt zwischen der Außenhaut und der übrigen Konstruktion errichtet worden sein. Diese Bauweise eignet sich nicht für eine Untersuchung von außen. Jede Rahmenkonstruktion innerhalb der Wände erscheint kälter von innen gesehen (vorausgesetzt es ist drinnen wärmer). Von der kalten Seite aus betrachtet ist das Gegenteil der Fall. Das sind erwartete typische Temperaturstrukturen, da ist nichts Auffälliges.



Wärmebild, von innen aufgenommen. Die Rahmenkonstruktion ist sichtbar, gleiches gilt für die Schrauben, die die Abdeckung des Rahmens halten. Die Ecke ist eindeutig kälter, der sogenannte Ecken-Effekt tritt auf, aber das ist völlig in Ordnung.



5

Wärmebildkameras für die Inspektion von Solarmodulen

Qualitätssicherung ist bei Solarmodulen von größter Wichtigkeit. Der störungsfreie Betrieb der Module ist Grundvoraussetzung für effiziente Stromerzeugung, lange Betriebsdauer und schnelle Amortisierung der Investition. Um diesen einwandfreien Betrieb sicherzustellen, bedarf es einer schnellen, einfachen und zuverlässigen Methode zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit eines Solarmoduls, sowohl während der Fertigung als auch nach seiner Montage.

In Forschung und Entwicklung (F&E) sind Wärmebildkameras bereits ein gängiges Werkzeug zur Überprüfung von Solarzellen und -modulen. Für diese technisch anspruchsvollen Messungen kommen zumeist hochleistungsfähige Kameras mit gekühlten Detektoren unter kontrollierten Laborbedingungen zum Einsatz.

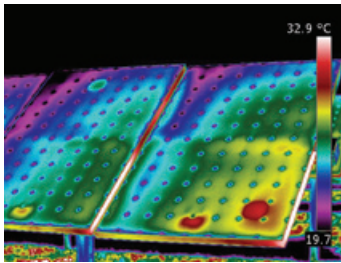
Trotzdem beschränkt sich die Verwendung von Wärmebildkameras für die Untersuchung von Solarmodulen nicht allein auf die Forschung. Ungekühlte Wärmebildkameras unterstützen immer öfter die Qualitätskontrolle von Solarmodulen vor der Montage und die regelmäßigen Kontrollen im Rahmen der vorbeugenden Wartung nach deren Montage. Da diese preiswerten Kameras nicht viel wiegen und sich einfach handhaben lassen, sind sie vor Ort sehr flexibel einsetzbar.

Inspektion von Solarmodulen

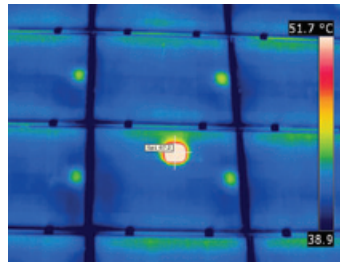
Die Verwendung einer Wärmebildkamera zur Untersuchung von Solarmodulen bringt gleich mehrere Vorteile. Anomalien lassen sich auf einem scharfen Wärmebild klar erkennen und - im Gegensatz zu den meisten anderen Verfahren - können Wärmebildkameras zur Untersuchung montierter Solarmodule verwendet werden, auch während diese in Betrieb sind. Außerdem genügt bei Wärmebildkameras eine kurze Zeitspanne, um große Bereiche zu erfassen.



Mit einer Wärmebildkamera können potentielle Probleme entdeckt und behoben werden, bevor es zu Störungen oder gar Ausfällen kommt. Aber nicht jede Wärmebildkamera eignet sich für die Kontrolle von Solarzellen; im übrigen müssen einige Regeln und Richtlinien beachtet werden, damit die Untersuchung erfolgreich ist und keine falschen Schlüsse gezogen werden.



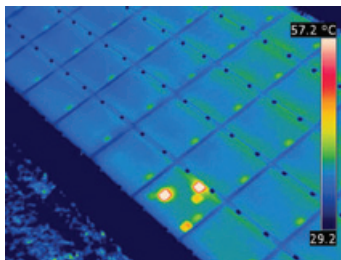
Diese roten Stellen zeigen Module an, die ständig wärmer sind als der Rest, und liefern somit einen Hinweis auf fehlerhafte Anschlüsse.



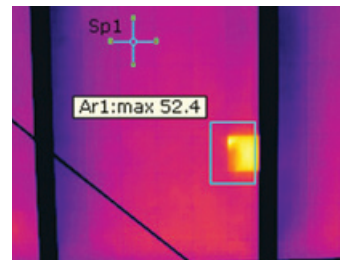
Diese heiße Stelle in einer Solarzelle weist auf eine physikalische Beschädigung im Zellinnern hin.

Verfahren zur Untersuchung von Solarmodulen mit Wärmebildkameras

Um bei einer Inspektion von Solarzellen vor Ort über einen ausreichenden thermischen Kontrast zu verfügen, ist eine Sonneneinstrahlung von 500 W/m^2 und mehr erforderlich. Ein optimales Ergebnis lässt sich bei einer Strahlungsintensität von 700 W/m^2 erzielen. Die Sonneneinstrahlung beschreibt die momentane Energieeinwirkung auf eine Fläche in der Einheit kW/m^2 und lässt sich entweder mit einem Pyranometer (für globale Sonneneinstrahlung) oder einem Pyrheliometer (für direkte Sonneneinstrahlung) messen. Dabei üben Standort und lokale Wetterbedingungen einen großen Einfluss aus. Niedrige Außentemperaturen können ebenfalls den thermischen Kontrast erhöhen.



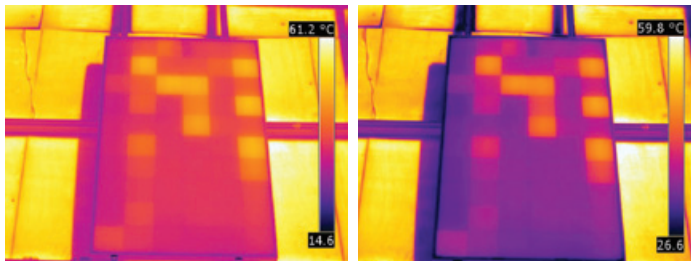
Dieses Wärmebild zeigt ein Beispiel für ein sogenanntes "Patchwork-Muster", das bei einer fehlerhaften Bypass-Diode der Solarzelle erscheint.



Dieses Wärmebild zeigt eine heiße Stelle, die durch den Bruch einer Zelle in einem standardmäßigen 60-Zellen-Modul entstanden ist.

Welche Kamera ist die richtige für Sie?

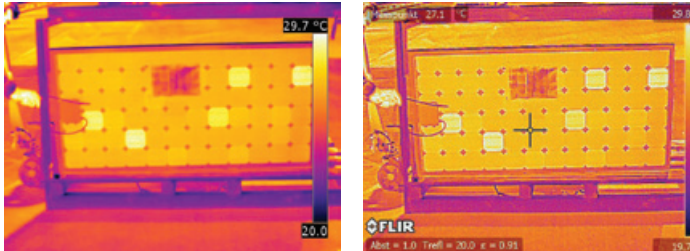
Portable Wärmebildkameras für Gebäudeinspektionen sind normalerweise mit einem ungekühlten Mikrobolometer-Detektor ausgestattet, der im Wellenbereich 8–14 μm arbeitet. Aber Glas ist in diesem Spektralbereich nicht durchsichtig. Wenn PV-Module von vorne untersucht werden, erfasst eine Wärmebildkamera zwar die Wärmeverteilung direkt auf der Glasoberfläche, aber nur indirekt die Wärmeverteilung in den darunter liegenden Zellen. Darum können die Temperaturunterschiede, die für die Glasoberfläche des Solarmoduls gemessen und angezeigt werden, klein sein. Um diese geringen Differenzen dennoch sichtbar machen zu können, benötigen die für solche Inspektionen eingesetzten Wärmebildkameras eine thermische Empfindlichkeit von $\leq 0,08 \text{ }^\circ\text{C}$. Für eine deutliche Anzeige kleiner Temperaturunterschiede auf dem Wärmebild sollte mit der Kamera daher eine manuelle Einstellung von Level und Span möglich sein.



Wärmebild mit Level und Span im Automatikmodus (links) und im manuellen Modus (rechts).

Im allgemeinen werden PV-Module auf stark reflektierende Aluminiumrahmen montiert, die auf dem Wärmebild als kalte Zonen erscheinen, da sie die Wärmestrahlung des Himmels zurückwerfen. Für die Praxis heißt das, dass die Wärmebildkamera die Rahmentemperatur mit eindeutig unter $0 \text{ }^\circ\text{C}$ anzeigen wird. Da sich aber ihr Anzeige-Algorithmus automatisch an die höchsten und niedrigsten gemessenen Temperaturen anpasst, werden viele geringe thermische Anomalien nicht sofort sichtbar sein. Für einen hohen thermischen Kontrast des Wärmebilds müssten Level und Span darum ständig von Hand nachkorrigiert werden.

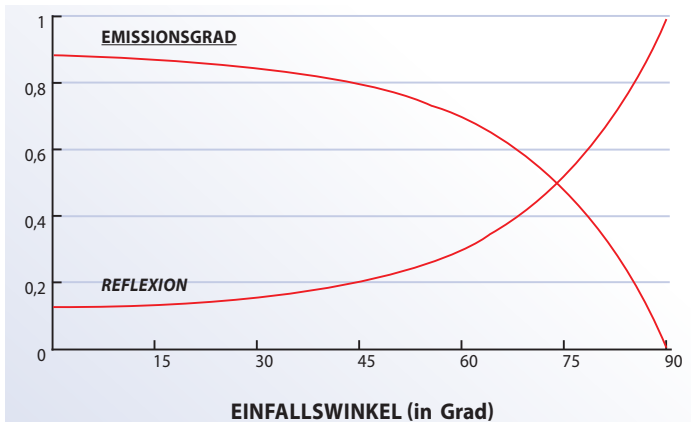
Die sogenannte DDE-Funktion (Digital Detail Enhancement) liefert hier die Lösung des Problems. DDE optimiert automatisch den Bildkontrast in Szenen mit hohem Dynamikbereich, so dass das Wärmebild nicht länger von Hand justiert zu werden braucht. Eine Wärmebildkamera mit DDE ist darum ideal für schnelle und exakte Überprüfungen von PV-Modulen.



Wärmebild ohne DDE (links) und mit DDE (rechts)

Positionieren der Kamera: Reflexionen und Emissionsgrad berücksichtigen

Obwohl Glas einen Emissionsgrad von 0,85–0,90 im Wellenbereich von 8–14 μm hat, sind thermische Messungen auf Glasoberflächen nicht einfach auszuführen. Die Reflexionen von Glas sind spiegelnd, d. h. umgebende Objekte mit davon abweichenden Temperaturen sind deutlich im Wärmebild zu erkennen. Schlimmstenfalls führt dies zu Fehlinterpretationen (vermeintliche 'heiße Stellen') und Messfehlern.



Abhängigkeit des Emissionsgrads von Glas vom Einfallswinkel

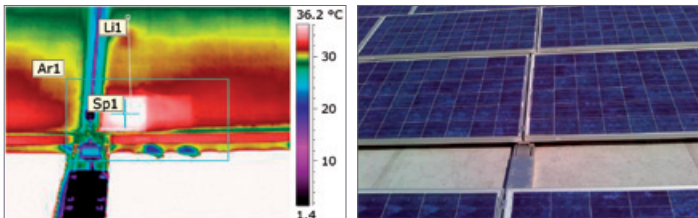


Empfohlener (grün) bzw. ungünstiger (rot) Betrachtungswinkel bei thermografischen Untersuchungen.

Um Reflexionen der Wärmebildkamera und des Bedieners im Glas zu vermeiden, sollte die Kamera nicht rechtwinklig zu dem zu untersuchenden Modul angeordnet werden. Der Emissionsgrad ist jedoch bei rechtwinkliger Anordnung am größten und nimmt mit zunehmendem Winkel ab. Ein Betrachtungswinkel von 5 bis 60° ist ein guter Kompromiss (0° ist dabei rechtwinklig).

Beobachtungen aus größeren Entfernungen

Es ist nicht immer einfach, beim Aufbau einer Messung einen geeigneten Betrachtungswinkel zu erreichen. Für viele Fälle ist die Verwendung eines Stativs eine Lösung. In schwierigeren Situationen kann es erforderlich sein, mobile Arbeitsplattformen zu verwenden oder sogar mit einem Hubschrauber über die Solarmodule zu fliegen. In diesen Fällen stellt die größere Entfernung eine Chance dar, da sich ein größerer Bereich auf einmal betrachten lässt. Damit eine entsprechende Qualität des Wärmebilds erreicht wird, empfiehlt sich bei diesen großen Entfernungen eine Wärmebildkamera mit einer Auflösung von mindestens 320 × 240 Pixeln, besser noch mit 640 × 480 Pixeln.

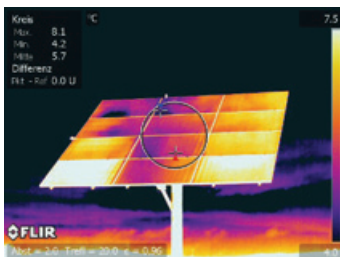


Fehlerhafte Solarzellen produzieren überschüssige Wärme und lassen sich dadurch problemlos mit der Wärmebildtechnik erkennen.

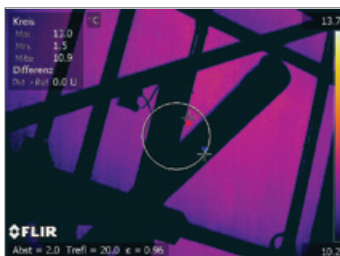
Die Kamera sollte außerdem eine Wechseloptik besitzen, so dass der Bediener bei Fernaufnahmen, zum Beispiel vom Hubschrauber aus, mit einem Teleobjektiv arbeiten kann. Generell ist es ratsam, dass Teleobjektive nur zusammen mit Wärmebildkameras mit einer hohen Bildauflösung benutzt werden. Wärmebildkameras mit niedriger Bildauflösung sind nicht in der Lage, die geringen Temperaturunterschiede darzustellen, die mit einem Teleobjektiv aus großen Entfernungen erfasst werden und Defekte bei einem Solarmodul anzeigen.

Blick aus einer anderen Perspektive

Meistens lassen sich montierte PV-Module auch von ihrer Rückseite aus mit einer Wärmebildkamera untersuchen. Dadurch werden störende Reflexionen durch Sonne oder Wolken reduziert. Außerdem können die über die Rückseite erfassten Temperaturen höher sein, da die Zelle direkt gemessen wird und nicht durch die Glasoberfläche.



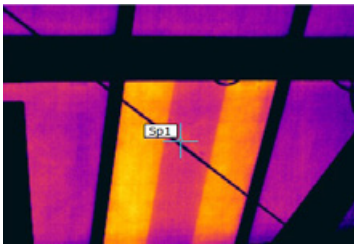
Die heißen Stellen auf diesem Wärmebild, das von der Vorderseite des Solarmoduls aufgenommen wurde, könnten ein Anzeichen dafür sein, dass eine Vielzahl von Zellen ineffizient arbeitet.



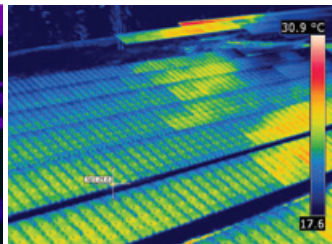
Die Untersuchung von der Rückseite zeigt keine heißen Stellen; die heißen Stellen in dem vorhergehenden Wärmebild, das von vorne aufgenommen wurde, waren durch Reflexionen der Wolken bedingt.

Umgebungs- und Messbedingungen

Für die Durchführung einer thermografischen Untersuchung sollte der Himmel wolkenlos sein, da Wolken die Sonneneinstrahlung verringern und zusätzlich störende Reflexionen produzieren. Dennoch lassen sich aussagekräftige Bilder auch bei Bewölkung erzielen, unter der Voraussetzung, dass die verwendete Wärmebildkamera empfindlich genug ist. Ebenso ist Windstille wünschenswert, da jeder Luftstrom auf der Oberfläche des Solarmoduls zu einer Abkühlung durch Konvektion führt, und das wiederum verringert das Temperaturgefälle. Je niedriger die Lufttemperatur, desto höher der mögliche thermische Kontrast. Thermografische Untersuchungen am frühen Morgen durchzuführen ist daher eine Möglichkeit.



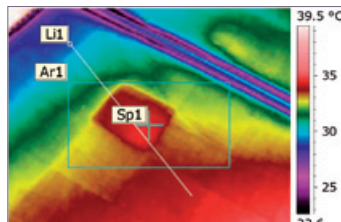
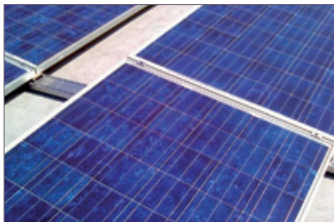
Zwei Zellstränge sind im Wärmebild als heiß zu erkennen, dies deutet auf defekte Bypass-Dioden hin.



Dieses Wärmebild zeigt große Bereiche mit erhöhten Temperaturen. Ohne zusätzliche Informationen ist nicht ersichtlich, ob es sich dabei um thermische Anomalien oder Abschattung/Reflexionen handelt.

Eine andere Möglichkeit, den thermischen Kontrast zu erhöhen, besteht darin, die Solarzellen von der Last zu trennen und damit den Stromfluss zu verhindern, so dass es zu einer Erwärmung allein durch Sonneneinstrahlung kommt. Dann wird die Last wieder angeschlossen, und die Zellen werden während der Erwärmungsphase beobachtet.

Unter normalen Umständen sollte das System jedoch bei den standardmäßigen Betriebsbedingungen, sprich im Lastbetrieb, untersucht werden. Je nach Solarzellentyp und Störung können Messungen im Leerlauf oder Kurzschluss zusätzliche Informationen liefern.



Mit einer Wärmebildkamera kann man Defekte wie diese beschädigte Zelle schnell lokalisieren, folglich lässt sich auch das Problem in kürzester Zeit beheben.

Messfehler

Messfehler entstehen in erster Linie durch eine ungünstige Aufstellung der Kamera und nicht optimale Umgebungs- und Messbedingungen. Typische Messfehler entstehen durch:

- zu flachen Betrachtungswinkel
- fluktuierende Sonneneinstrahlung während der Aufnahme (beispielsweise durch wechselnde Bewölkung)
- Reflexionen (beispielsweise Sonne, Wolken, höhere Gebäude in der Umgebung, Aufbau der Messung)
- Teilabschattung (beispielsweise durch umgebende Gebäude oder andere Einrichtungen).

Was sieht man auf dem Wärmebild?

Wenn Teile des Solarmoduls heißer sind als andere, werden die warmen Bereiche deutlich im Wärmebild dargestellt. Je nach Form und Position sind diese heißen Stellen und Bereiche eventuell Anzeichen für mehrere unterschiedliche Störungen. Wenn ein ganzes Modul wärmer als üblich ist, können Anschlussprobleme vorliegen. Wenn einzelne Zellen oder Zellstränge als heiße Stelle oder wärmeres 'Patchwork-Muster' dargestellt werden, liegt die Ursache normalerweise entweder in defekten Bypass-Dioden, internen Kurzschlüssen oder einer Fehlanpassung der Zellen.



Ein Test mit einem Solarmodul zeigt, dass die heißen Stellen sogar von vorne mühelos auf dem Wärmebild zu erkennen sind.

Abschattung und Risse in Zellen erscheinen als heiße Stellen oder polygonale Flecken im Wärmebild. Der Temperaturanstieg einer Zelle oder von Teilen einer Zelle ist ein Zeichen für eine defekte Zelle oder Abschattung. Wärmebilder, die unter Last-, Leerlauf- und Kurzschlussbedingungen aufgenommen wurden, sollten miteinander verglichen werden. Auch ein Vergleich von Wärmebildern der Vorder- und Rückseite des Moduls kann wertvolle Informationen liefern. Für die korrekte Identifizierung des Defekts müssen Module, bei denen Anomalien festgestellt wurden, natürlich auch elektrisch und visuell geprüft werden.

Fazit

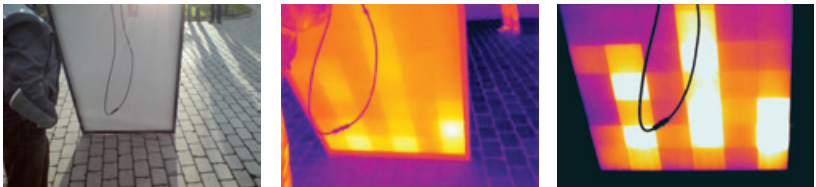
Durch eine thermografische Inspektion von Photovoltaiksystemen lassen sich potentielle Defekte auf Zell- und Modulebene sowie mögliche elektrische Anschlussprobleme schnell lokalisieren. Die Inspektionen werden unter normalen Betriebsbedingungen durchgeführt und erfordern keine Abschaltung der Anlage.

Für die Aufnahme korrekter und aussagekräftiger Wärmebilder sollten bestimmte Bedingungen und Messverfahren eingehalten werden:

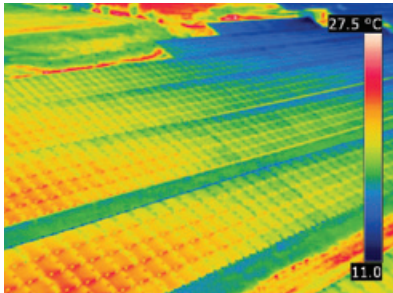
- eine geeignete Wärmebildkamera mit dem richtigen Zubehör sollte verwendet werden;
- ausreichende Sonneneinstrahlung ist erforderlich (mindestens 500 W/m^2 – nach Möglichkeit eine Strahlungsintensität von mehr als 700 W/m^2);
- der Betrachtungswinkel muss innerhalb der sicheren Grenzwerte liegen (zwischen 5° und 60°);
- Abschattung und Reflexionen müssen vermieden werden.

Wärmebildkameras werden in erster Linie zur Lokalisierung von Defekten eingesetzt. Die Klassifizierung und Bewertung der entdeckten Anomalien erfordert fundierte Kenntnisse der Solartechnik, die Kenntnis des untersuchten Systems und zusätzliche elektrische Messungen. Exakte Dokumentation ist natürlich Pflicht und sollte alle Inspektionsbedingungen, zusätzlichen Messungen und andere relevante Informationen enthalten.

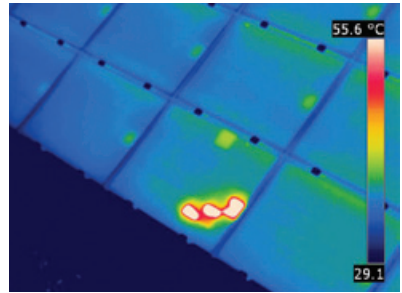
Inspektionen mit einer Wärmebildkamera - angefangen bei der Qualitätskontrolle während der Installationsphase und gefolgt von regelmäßigen Überprüfungen - vereinfachen die umfassende und einfache Zustandsüberwachung des Systems. Damit lässt sich die Funktion der Solarmodule erhalten und ihre Lebensdauer verlängern. Der Einsatz von Wärmebildkameras bei der Inspektion von Solarmodulen verbessert daher deutlich die Rendite der Betreibergesellschaft.



Diese von der Rückseite desselben Solarmoduls aufgenommenen Bilder zeigen deutlich weniger Reflexionen als die Aufnahmen von vorne und lassen dadurch wesentlich exaktere Temperaturmessungen zu.



Um falsche Schlussfolgerungen zu vermeiden, muss die Wärmebildkamera bei der Überprüfung von Sonnenkollektoren im richtigen Winkel gehalten werden.

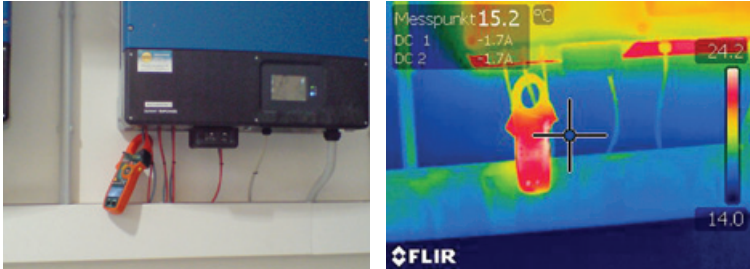


Mit einer FLIR P660 aufgenommenes Wärmebild während eines Fluges über eine Solaranlage. (Thermogramm mit freundlicher Genehmigung von Evi Müllers, IMM)

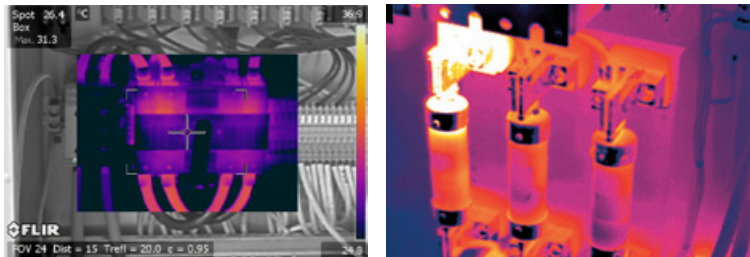
Fehlerart	Beispiel	Erscheint im Wärmebild als
Produktionsfehler	Verunreinigungen und Gaseinschlüsse	"Heiße Stelle" oder "kalte Stelle"
	Risse in Zellen	Zellerwärmung, überwiegend längliche Form
Beschädigung	Risse	Zellerwärmung, überwiegend längliche Form
	Risse in Zellen	Ein Bereich der Zelle erscheint heißer
Temporäre Abschattung	Verschmutzung	Heiße Stellen
	Vogeldreck	
	Luftfeuchtigkeit	
Fehlerhafte Bypass-Diode (ruft Kurzschlüsse hervor und verringert den Schutz des Stromkreises)	k. A.	Ein "Patchwork-Muster"
Fehlerhafte Anschlüsse	Modul oder Modulstrang nicht angeschlossen	Ein Modul oder ein Modulstrang ist ständig wärmer

Tabelle 1: Liste mit typischen Modulfehlern (Quelle: ZAE Bayern e.V., "Überprüfung der Qualität von Photovoltaik-Modulen mittels Infrarot-Aufnahmen" ["Quality testing in photovoltaic modules using infrared imaging"], 2007)

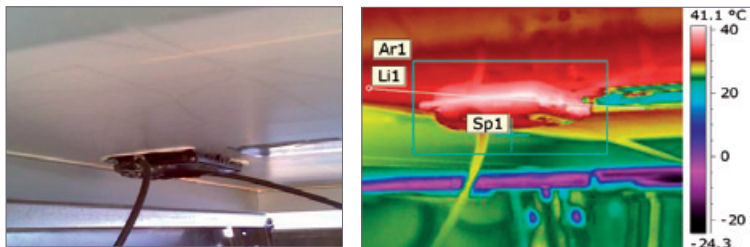
Wärmebildkameras können jedoch noch viel mehr, als nur Solarmodule zu überprüfen. Sie sind auch für die Instandhaltung des gesamten elektrischen Schaltkreises, einschließlich Steckverbindern, Kabeln, Wechselrichtern usw. vorteilhaft einsetzbar.



Dieser Wechselrichter wandelt den Gleichstrom der Solarmodule in Wechselstrom um. Wärmebildkameras eignen sich für die Inspektion dieser Anlagen. Eine externe Exttech Stromzange kann zusätzliche Informationen liefern.



Mit FLIR Wärmebildkameras lässt sich die gesamte Solaranlage untersuchen, einschließlich Kabeln, Steckverbindern, Sicherungskästen und Wechselrichtern - mit anderen Worten: die komplette Anlage.



FLIR Wärmebildkameras können auch zur Untersuchung der anderen Komponenten einer Solaranlage verwendet werden, wie etwa dieses defekten Steckverbinders.



6

Inspektion von Windkraftanlagen mit Wärmebildkameras

Eine der am weitesten verbreiteten Formen erneuerbarer Energie ist die mit Hilfe von Windkraftanlagen gewonnene Energie. Neue Windkraftanlagen werden Jahr für Jahr überall in Europa und auf der ganzen Welt installiert. All diese Windturbinen müssen auch überwacht und gewartet werden. FLIR-Wärmebildkameras können bei der vorbeugenden Instandhaltung von Windkraftanlagen eine wichtige Rolle übernehmen.



Weltweit kommen Wärmebildkameras von FLIR Systems bei der Inspektion von elektrischen und mechanischen Anlagen zum Einsatz. Mit den dabei erfassten thermischen Daten lassen sich gefährliche Unfälle und kostspielige Stillstandszeiten vermeiden. Alle relevanten Komponenten einer Windturbine können mit Hilfe einer Wärmebildkamera von FLIR Systems überwacht werden.



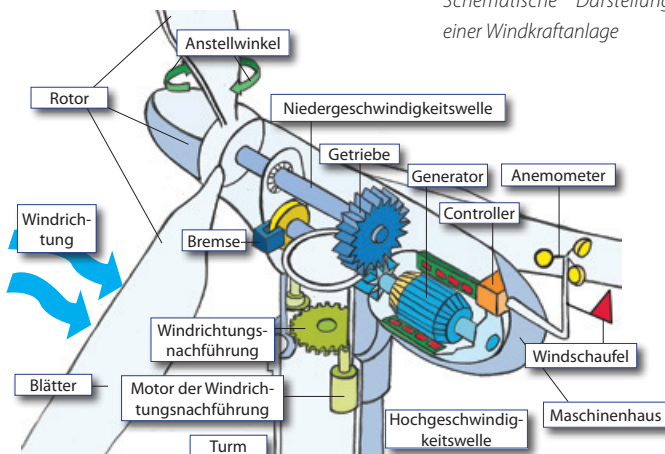
Ein vom Boden aus aufgenommenes Wärmebild einer Windturbine

Unfälle

In Windkraftanlagen sind sehr viele verschiedene elektrische und mechanische Komponenten verbaut. Wie alle anderen Betriebsmittel unterliegen auch diese Bauteile dem Verschleiß und können ausfallen. Dadurch entstehen unter Umständen nicht nur kostspielige Stillstandszeiten, sondern auch gefährliche Unfälle.

Häufige Unfallursache ist entweder ein Ausfall des Bremsmechanismus oder ein Defekt des Getriebes. Getriebe und Bremsen sorgen dafür, dass sich die Rotorblätter nicht zu schnell drehen. Bei einem Ausfall einer dieser Komponenten kann die Turbine ein Vielfaches ihrer normalen Geschwindigkeit erreichen. Dabei wirken Kräfte auf die Rotorblätter, die weit über den bei der Auslegung angesetzten Werten liegen.

Schematische Darstellung einer Windkraftanlage



Lebensgefahr

In einem solchen Fall könnten die Spitzen eines Rotorblatts eine Geschwindigkeit von mehreren hundert Stundenkilometern erreichen. Wenn sich dann ein Blatt oder ein Teil eines Blattes plötzlich vom Rotor löst und weg geschleudert wird, besitzt es eine enorme kinetische Energie und ein sehr großes Drehmoment. Dies kann lebensgefährliche Unfälle zur Folge haben. Es gibt viele Beispiele, bei denen große Teile gebrochener Blätter über hundert Meter oder mehr von der Turbine entfernt gefunden wurden, von der sie sich gelöst hatten.

Durch Inspektionen mit Wärmebildkameras lassen sich derartige Unfälle vermeiden. Sowohl für elektrische als auch für mechanische Komponenten gilt generell, dass ein Bauteil heiß wird, bevor es ausfällt. Mit Hilfe von Wärmebildkameras lässt sich dieser Temperaturanstieg feststellen, bevor es zu einem Ausfall kommt. Die heißen Stellen erscheinen klar und deutlich auf dem Wärmebild.

Die Wärmebildtechnik hilft dem Anwender, das Problem zu 'sehen'.

Wo andere Technologien nur die Information liefern, ob an der gesamten Maschine ein Problem vorhanden ist, zeigen Wärmebildkameras präzise, welche Komponente das Problem verursacht. Zuverlässig, schnell und effizient: Die Wärmebildtechnik kann eingesetzt werden, um Zeichen von Verschleiß an Lagern, Wellen, Getrieben und Bremsen sichtbar zu machen. Somit lassen sich Komponenten reparieren oder ersetzen, bevor Defekte auftreten.

Überprüfung des gesamten Systems

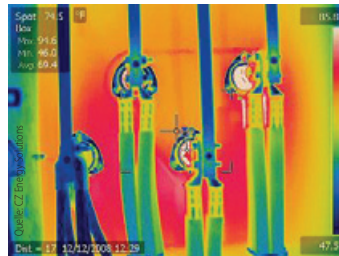
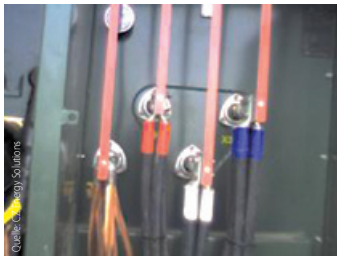
Wärmebildkameras können elektrische Bauteile wie Transformatoren, Stecker, Windrichtungsnachführungen u. ä. untersuchen. Die Wärmebildtechnik ist die einzige Methode, mit der sich alle elektrischen und mechanischen Komponenten der Windkraftanlage und des dazu gehörenden elektrischen Systems untersuchen lassen.



Diese riesige Baugruppe aus einem 12 Tonnen schweren Getriebe mit Scheibenbremse wird mit einem Kran auf eine Höhe von 60 m angehoben, damit sie im Maschinenhaus dieser Windkraftanlage montiert werden kann.



Inspektion des Getriebes einer Windturbine mit einer Wärmebildkamera. Diese Inspektion wurde in einer Höhe von rund 50 m ausgeführt.



Mit Wärmebildkameras lässt sich auch das gesamte System im Umfeld von Windkraftanlagen untersuchen. Einer dieser dreiphasigen Stecker, nämlich der ganz rechts, ist deutlich wärmer als die anderen. Dieser Defekt wurde erkannt und repariert, bevor es zu einem Ausfall kam.

FLIR Wärmebildkamera: das perfekte Werkzeug

Instandhaltungsteams von Windkraftanlagen in aller Welt vertrauen auf Wärmebildkameras. Entscheidend für die Benutzerfreundlichkeit vor Ort ist das Design der Kamera. Alle FLIR-Kameras sind so kompakt wie möglich, ergonomisch gestaltet und einfach zu bedienen. Diese Eigenschaften sind äußerst wichtig, wenn man weit über zehn Meter hoch klettern muss, um die zu untersuchende Windturbine zu erreichen.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist das Objektiv. FLIR Systems bietet optional 45° und 90° Weitwinkelobjektive an. Damit lässt sich ein großer Bereich der Anlage mit einem Blick erfassen, auch wenn der Betrachter relativ nahe steht. Angesichts der Tatsache, dass es nicht möglich ist, einen Schritt zurückzugehen, wenn man sich oben auf der Windkraftanlage befindet, ist das ein echtes Plus.

FLIR Systems bietet eine umfassende Reihe von Wärmebildkameras für Gebäudeinspektionen. Vom kompakten Einstiegsmodell i3 über die praktische Ebx- und B-Serie bis zur Highend-Kamera B660 hat FLIR Systems genau den richtigen Kameratyp für jede Anwendung.



Die Wahl des richtigen Wärmebildkameraherstellers

Der Kauf einer Wärmebildkamera ist eine Investition auf lange Sicht. Daher sollten Sie nicht nur die Wärmebildkamera auswählen, die optimal zu Ihren Anforderungen passt, sondern auch einen zuverlässigen Lieferanten, der Ihnen über einen langen Zeitraum Unterstützung bieten kann.

Ein gut eingeführter Hersteller sollte Ihnen folgendes bieten können:

- **Hardware**
Unterschiedliche Anwender haben unterschiedliche Anforderungen. Daher ist es entscheidend, dass der Hersteller Ihnen eine umfassende Reihe von Wärmebildkameras bieten kann, die von preisgünstigen Einstiegsmodellen bis zu hochmodernen High-End-Modellen reicht, damit Sie aus dieser Palette die Kamera auswählen können, die optimal zu Ihren Anforderungen passt.
- **Software**
Unabhängig von Ihrer Anwendung brauchen Sie Software zur Analyse der Wärmebilder und zur Erstellung von Berichten zu Ihren Entdeckungen für Kunden oder das Management. Wählen Sie eine Wärmebildkamera, die mit der passenden Software für Ihre Anwendung kombiniert werden kann.
- **Zubehör**
Wenn Sie eine Wärmebildkamera regelmäßig einsetzen und alle Vorteile entdecken, die sie zu bieten hat, könnten sich Ihre Anforderungen im Laufe der Zeit ändern. Sorgen Sie dafür, dass Sie ein System haben, das mit Ihren Anforderungen wachsen kann. Der Hersteller sollte in der Lage sein, Ihnen unterschiedliche Optiken, Displays usw. anzubieten.
- **Service**
Obwohl die meisten Wärmebildkameras, die für Bau-Anwendungen eingesetzt werden, nahezu wartungsfrei sind, sollte ein Servicezentrum in Ihrer Nähe sein, falls es ein Problem mit der Kamera gibt. Wärmebildkameras müssen auch von Zeit zu Zeit neu kalibriert werden. In beiden Fällen wollen Sie Ihre Kamera nicht ans andere Ende der Welt einschicken, sondern zu einem lokalen Reparaturzentrum, damit sie Ihnen so schnell wie möglich wieder zur Verfügung steht.
- **Schulung**
Die Welt der Wärmebildtechnik beschränkt sich nicht nur auf die Handhabung der Kamera. Wählen Sie einen Hersteller, der Ihnen bei Bedarf gute Schulungen und Anwendungsunterstützung bieten kann.



8

Die Wahl der passenden Wärmebildkamera

Im Wesentlichen sind sechs Anforderungen wichtig, wenn es darum geht, eine geeignete Kombination aus Wärmebildkamera, Software und Schulung zu finden:

1. Bildqualität
2. Thermische Empfindlichkeit
3. Genauigkeit
4. Kamerafunktionen
5. Software
6. Schulungsbedarf

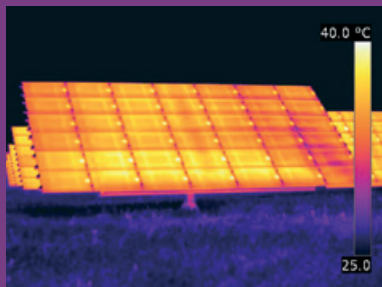
1. Bildqualität

Bildqualität oder Kameraauflösung sind wichtige Faktoren. Die preisgünstigsten Einstiegsmodelle haben eine Auflösung von 60 x 60 Pixeln, während die hochmodernen High-End-Modelle eine Auflösung von 640 x 480 Pixeln besitzen.

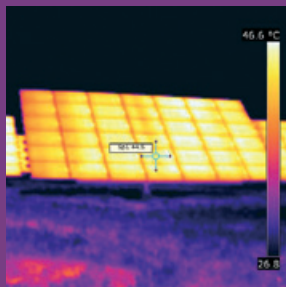
Wärmebildkameras mit einer Auflösung von 320 x 240 oder 640 x 480 Pixeln liefern eine höhere Bildqualität. Für anspruchsvollere Inspektionen ist die Auflösung von 640 x 480 Pixeln mittlerweile Standard bei professionellen Thermografen.

Eine Kamera mit 640 x 480 Pixeln hat 307.200 Messpunkte in einem Bild; das sind viermal mehr Daten als bei einer Kamera mit 320 x 240 Pixeln und 76.800 Messpunkten. Dadurch verbessert sich nicht nur die Messgenauigkeit, auch bei der Bildqualität gibt es einen riesigen Unterschied.

Mit hoher Bildauflösung sieht und misst man genauer und versteht die Bildinformationen besser.



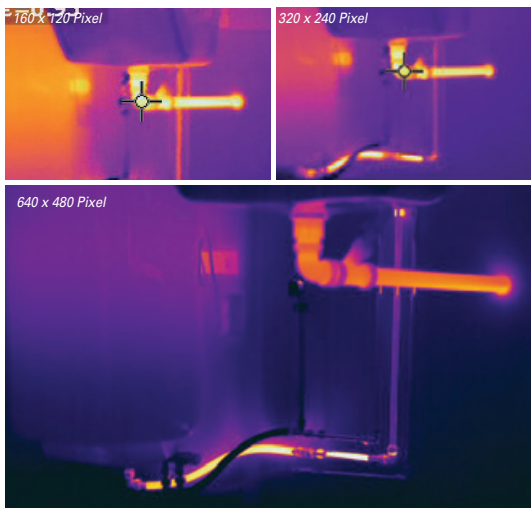
Wärmebild: 640 x 480 Pixel



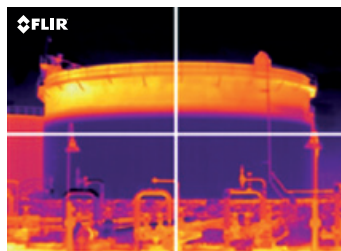
Wärmebild: 180 x 180 Pixel

Hochauflösende Kameras zeigen kleine Details an, auch wenn sich diese in großer Entfernung befinden. Im Vergleich zu einer Kamera mit einer geringeren Bildauflösung wird ein größerer Bereich ohne den Verlust thermischer Informationen mit einem Blick erfasst.

Mit einer 640 x 480 Pixel Kamera und einem 45°-Objektiv lässt sich ein Bereich von etwa 4 m x 3 m aus einer Entfernung von 5 m mit nur einem Bild untersuchen. Für die Inspektion derselben Anlage mit einer 320 x 240 Pixel Kamera, die auch mit einem 45°-Objektiv ausgestattet ist, sind vier Bilder aus der halben Entfernung erforderlich. Dadurch steigert sich nicht nur die Effizienz vor Ort, eine geringere Anzahl von vor Ort aufgenommenen Bildern spart auch Zeit bei der Berichterstellung.



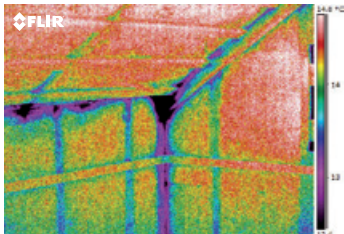
*640 x 480 Pixel
Ein Wärmebilder erforderlich*



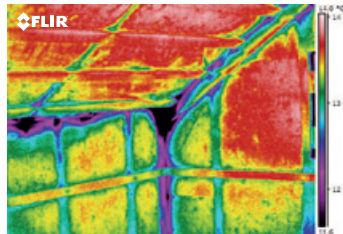
*320 x 240 Pixel
Vier Wärmebilder aus halber Entfernung
erforderlich*

2. Thermische Empfindlichkeit

Die thermische Empfindlichkeit beschreibt, wie gering ein Temperaturunterschied sein kann, den die Kamera noch erkennt. Je besser die thermische Empfindlichkeit, desto kleiner der minimale Temperaturunterschied, den die Wärmebildkamera erfassen und darstellen kann. Normalerweise wird die thermische Empfindlichkeit in °C oder mK angegeben. Die modernsten Wärmebildkameras für Gebäudeanwendungen haben eine thermische Empfindlichkeit von 0,03 °C (30 mK).



65 mK Empfindlichkeit



45 mK Empfindlichkeit

Die Entdeckung so geringer Temperaturunterschiede ist bei den meisten Wärmebildanwendungen entscheidend. Eine hohe Kameraempfindlichkeit ist besonders wichtig bei Bau-Anwendungen mit in der Regel kleineren Temperaturunterschieden. Eine höhere Empfindlichkeit ist erforderlich, um detailliertere Bilder für bessere Diagnosen aufzunehmen, auf deren Grundlage über notwendige Maßnahmen entschieden wird. Je größer die Empfindlichkeit, desto besser ist die Kamera in der Lage, kleinste Details auch bei geringen Temperaturunterschieden zu erfassen.

3. Genauigkeit

Alle Messungen sind fehleranfällig, und leider machen auch Temperaturmessungen mit Hilfe der Wärmebildtechnik da keine Ausnahme. Hier kommt die Genauigkeit der Wärmebilder ins Spiel.

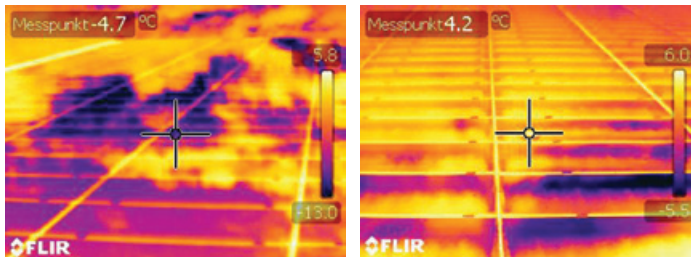
In Datenblättern von Wärmebildkameras wird die Genauigkeit sowohl in Prozent als auch in Grad Celsius angegeben. Dies ist der Fehlerbereich, innerhalb dessen die Kamera arbeitet. Die gemessene Temperatur könnte entweder um den angegebenen Prozentsatz oder die absolute Temperatur von dem tatsächlichen Temperaturwert abweichen, wobei der jeweils größere Wert gilt.

Der derzeitige Industriestandard für die Genauigkeit liegt bei $\pm 2\%$ / $\pm 2\text{ °C}$. Die fortschrittlichen Wärmebildkameras von FLIR Systems schneiden hier noch besser ab: $\pm 1\%$ / $\pm 1\text{ °C}$.

4. Kamerafunktionen

Emissionsgrad und reflektierte Umgebungstemperatur

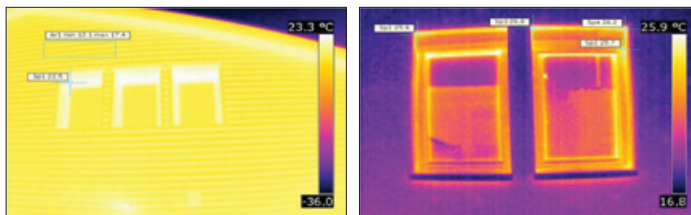
Wie in dem vorhergehenden Kapitel beschrieben ist der Emissionsgrad des Objekts ein äußerst wichtiger Parameter, der berücksichtigt werden muss. Bei allen FLIR-Wärmebildkameras für Gebäudeanwendungen kann der Anwender Emissionsgrad und reflektierte Umgebungstemperatur einstellen. Wenn die Möglichkeit zur Anpassung der Parameter Emissionsgrad und reflektierte Umgebungstemperatur gegeben ist, macht dies einen enormen Unterschied. Beim Kauf einer Wärmebildkamera sollten Sie darauf achten, dass diese Funktionen implementiert sind.



Dieses Wärmebild beweist eindrücklich, dass Reflexion ein Problem darstellen kann. Die Wärmebildkamera zeigt das Wärmebild einschließlich der durch die Wolke hervorgerufenen Reflexionen an. Die Messung im Bereich der Reflexion wird einen Temperaturwert ergeben, der eine Mischung aus Temperatur des Solarmoduls und der reflektierten Umgebungstemperatur der Wolke darstellt.

Manuelle Korrektur von Level und Span

Eine weitere wichtige Kamerafunktion ist die Möglichkeit zur manuellen Einstellung von Level und Span der angezeigten Wärmebilder. Ohne diese Funktion zeigt die Kamera automatisch alle Werte zwischen der niedrigsten und der höchsten Temperatur der Szene an. Manchmal interessiert sich der Bediener jedoch nur für einen kleinen Teil dieser Temperaturskala.



Die Spanne des sich selbst einstellenden Wärmebildes links ist zu weit. Das von Hand eingestellte Wärmebild rechts zeigt eindeutig Wärmeverluste, die auf dem automatisch eingestellten Wärmebild fast unsichtbar waren.

Alarmer für Taupunkt, relative Luftfeuchtigkeit und Wärmebrücke

- Taupunktalarm:

Als Taupunkt wird die Temperatur bezeichnet, bei der die Luftfeuchtigkeit in einem bestimmten Raumvolumen so groß ist, dass sie sich als Wasser niederschlägt. An diesem Punkt beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 100%. Durch die entsprechende Einstellung einiger Parameter in der Kamera entdeckt der Taupunktalarm automatisch Bereiche, in denen es durch Defizite in der Gebäudestruktur dazu kommen kann.

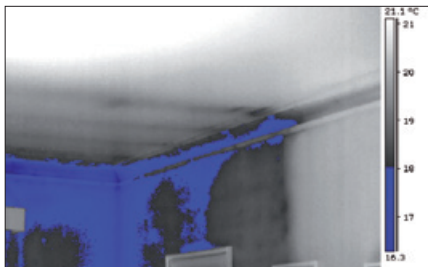
- Alarm für relative Luftfeuchtigkeit:

Unter bestimmten Bedingungen bildet sich Schimmel in Bereichen, wo die relative Luftfeuchtigkeit unter 100% liegt. Um solche Stellen aufzuspüren, kann nicht mit dem Taupunktalarm gearbeitet werden, denn er zeigt nur Bereiche mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100% an.

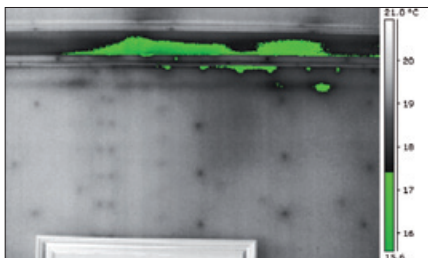
Für Stellen mit weniger als 100% Luftfeuchtigkeit eignet sich der Alarm für relative Luftfeuchtigkeit. Sie können einen Wert für die relative Luftfeuchtigkeit festsetzen, an dem der Alarm anspricht.

- Wärmebrückenalarm:

Der Wärmebrückenalarm spürt Bereiche auf, wo die Gebäudedämmung möglicherweise unzureichend ist. Er wird ausgelöst, wenn das Dämmungsniveau einen vorher für die Energieverluste über das Mauerwerk festgelegten Wert unterschreitet.



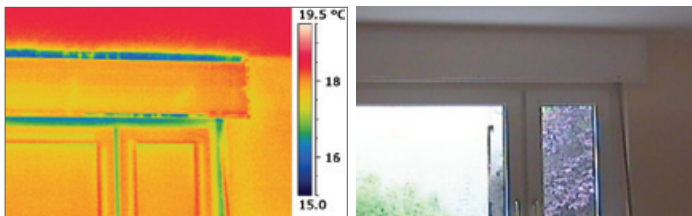
Der Alarm für relative Luftfeuchtigkeit weist Sie auf die Bereiche hin, in denen die Gefahr der Bildung von Kondensationsfeuchtigkeit besteht. Im Bild links ist der gefährdete Bereich blau dargestellt.



Der Wärmebrückenalarm zeigt, wo sich die Bereiche befinden, die unter oder über einer vorgegebenen Temperatur liegen und stellt sie dazu in einer anderen Farbe dar.

Digitalkamera

Manchmal erweist es sich als schwierig, die auf einem Wärmebild abgebildeten Elemente wiederzuerkennen. In solchen Fällen ist es sehr hilfreich, wenn auch ein Tageslichtbild des Objektes gemacht wird. Darum besitzen die meisten FLIR Wärmebildkameras eine eingebaute Digitalkamera. Die meisten Bau-Profis, die Wärmebildkameras einsetzen, fordern, dass immer auch ein Realbild aufgenommen wird. Denn dadurch ist eine korrekte Zuordnung des Bildinhalts des Wärmebilds gewährleistet.



Wärmebild

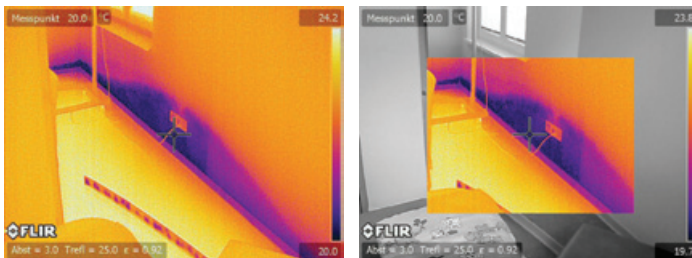
Realbild

LED-Lampen

Mit einer LED-Lampe kann die integrierte digitale Tageslichtkamera klare Bilder aufnehmen, die unabhängig von den Lichtverhältnissen für die meisten Bild-im-Bild- und Thermal-Fusion-Funktionen erforderlich sind.

Bild-im-Bild

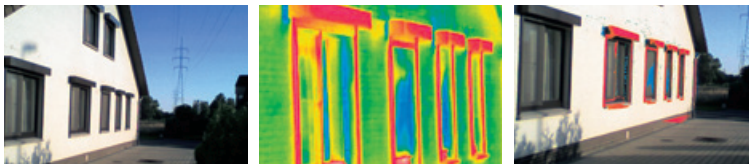
Mit der Bild-im-Bild-Funktion kann der Anwender Bilder von Digitalkamera und Wärmebildkamera miteinander verbinden. Das kombinierte Bild zeigt einen Rahmen über dem Digitalbild mit einem Teil des Wärmebilds, der sich bewegen und in seiner Größe verändern lässt. Dadurch kann der Anwender Probleme einfacher lokalisieren.



An diesem Fall von Wasserschaden lässt sich leicht der Vorteil der Bild-im-Bild-Funktion verdeutlichen, denn der Kunde kann ziemlich einfach erkennen, welchen Bereich die Wärmebildkamera gerade untersucht, was mit einem Wärmebild allein viel schwieriger wäre.

Thermal Fusion

Mit dieser Funktion kann der Anwender die beiden Bilder durch die Einstellung von Temperaturparametern nahtlos kombinieren, wobei innerhalb der Grenzwerte die thermischen Daten und außerhalb das Digitalfoto gezeigt wird. Damit lassen sich Probleme isolieren und Reparaturen effizienter durchführen.



Realbild

Infrarotbild

Thermal-Fusion-Bild

Laserpointer

Manche Wärmebildkameras besitzen einen eingebauten Laserpointer. Dies ist in vielerlei Hinsicht ein echtes Plus.

Mithilfe des Laserpointers erkennen Sie genau, worauf das Objektiv der Wärmebildkamera gerichtet ist. Mit einem einfachen Knopfdruck zeigt Ihnen die Laserposition genau, worauf die Wärmebildkamera gerichtet ist, so dass Sie das Zielobjekt der Messung problemlos identifizieren können.

Ein weiterer Vorteil ist die Sicherheit. Der Laserpointer umgeht die Angewohnheit, mit Fingern auf Objekte zu zeigen, was in bestimmten Anlagen gefährlich sein kann.

Wechselobjektive

Wenn Sie erst einmal begonnen haben, mit einer Wärmebildkamera zu arbeiten, und all ihre Möglichkeiten entdecken, könnten sich Ihre Anforderungen im Laufe der Zeit ändern. Mithilfe von Wechselobjektiven lässt sich Ihre Wärmebildkamera an jede Situation anpassen. Für viele Situationen stellt das Standardobjektiv wahrscheinlich eine gute Lösung dar, aber mitunter brauchen Sie einfach ein anderes Sichtfeld.

Manchmal ist nicht genug Platz vorhanden, um einen Schritt zurückzugehen und das ganze Bild zu sehen. Ein Weitwinkelobjektiv ist dann die perfekte Lösung. Mit seiner Hilfe kann der Anwender ein ganzes Haus aus nur wenigen Metern Entfernung untersuchen.

Gebäudeprofis verwenden diese Objektive, um ein komplettes Gebäude aus nur wenigen Metern Entfernung zu betrachten. Wenn sich das zu untersuchende Ziel in einiger Entfernung befindet, kann die Verwendung eines Teleobjektivs sinnvoll sein. Diese Objektive sind ideal für kleine oder entfernte Ziele.

Ergonomisches Design und einfache Bedienung

Jedes Werkzeug, das häufig gebraucht wird, muss leicht, kompakt und einfach zu bedienen sein. Da die meisten Gebäudeinspektoren Wärmebildkameras oft und über längere Zeit einsetzen, ist ein ergonomisches Design hier entscheidend. Die Gestaltung des Menüs und die Anordnung der Tasten sollte auch intuitiv und benutzerfreundlich sein, damit effizient mit der Kamera gearbeitet werden kann.



FLIR Systems ist bestrebt, Gewicht, Funktionalität und Anwenderfreundlichkeit jeder Wärmebildkamera seiner Produktpalette optimal auszubalancieren. Den Erfolg dieser Politik belegen bereits mehrere preisgekrönte Designs.

Bildformat

Ein wichtiger Faktor für die schnelle Berichterstellung ist das Bildformat, in dem die Wärmebildkamera die Bilder speichert. Manche Wärmebildkameras speichern die thermischen Daten und Bilder in einem proprietären Format. Zum Konvertieren der Wärmebilder in ein standardmäßiges JPEG-Format braucht man dann eine zusätzliche Software.

Eine FLIR Kamera speichert die Bilder in einem vollständig radiometrischen JPEG-Format. Das bedeutet, dass alle Temperaturdaten im Bild enthalten sind, und dass sich die Bilder problemlos in Standard-Software integrieren lassen.

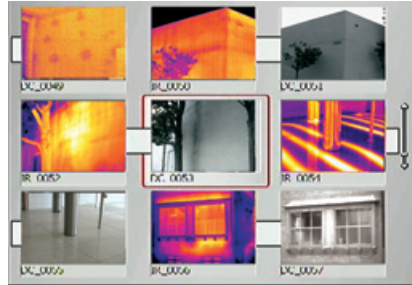


Alle FLIR Wärmebildkameras speichern die Bilder im JPEG-Format.

Bildergalerie mit Miniaturansichten

Bei der Aufnahme von Wärmebildern an einem Standort kann es hilfreich sein, früher dort aufgenommene Bilder im Speicher der Kamera zu finden und mit den aktuellen Aufzeichnungen zu vergleichen. Alle FLIR-Wärmebildkameras besitzen zu diesem Zweck eine einfach abrufbare Bildergalerie mit Miniaturansichten, mit deren Hilfe

Sie Ihre gespeicherten Wärmebilder schnell durchsuchen und das fragliche Bild finden können - extrem praktisch und zeitsparend!



Gesprochene und schriftliche Kommentare

Bei einigen Wärmebildkameras lassen sich sowohl Inspektionen als auch die Berichterstellung durch die Eingabe schriftlicher Kommentare mit einem integrierten Touchscreen-Tastentfeld noch beschleunigen; auch die Dokumentation von Inspektionsergebnissen wird dadurch einfacher und ist schneller erledigt. Bestimmte Wärmebildkameramodelle können sogar während der Inspektion gesprochene Kommentare aufzeichnen. Dadurch reduziert sich der Zeitaufwand für schriftliche Notizen bei Wärmebildinspektionen auf Null.



GPS-Positionierung

Haben Sie schon einmal vergessen, wo ein bestimmtes Wärmebild aufgenommen wurde? Und konnten die Notizen mit den Angaben zum Aufnahmeort nicht finden? Einige der fortschrittlichsten Kameramodelle besitzen eine GPS-Funktion, die die geographische Position bei der Aufnahme zusammen mit dem Wärmebild abspeichert. Mit dieser GPS-Technologie haben Sie jederzeit Zugriff auf Positionsdaten zu jedem einzelnen Wärmebild.



Kompatibilität mit externen Prüf- & Messinstrumenten

Gelegentlich liefert die Temperatur allein zu wenig Informationen zu Betriebsmitteln. Um ein umfassendes Bild der Lage zu erhalten, verwenden viele Gebäudeinspektoren externe Sensoren, wie z. B. Feuchtemessgeräte. Die mit dem Feuchtemessgerät gemessenen Werte werden notiert, und später übernimmt der Techniker diese Werte in seinen Bericht. Diese Methode ist ineffizient und anfällig für menschliche Fehler.

Für zuverlässige und effiziente Inspektionen bietet FLIR Systems Wärmebildkameras, die mittels Bluetooth MeterLink Anschluss die Werte eines Feuchtemessgerätes automatisch im Wärmebild speichern. Das Aufschreiben von Notizen gehört der Vergangenheit an, da die Daten der multifunktionalen Extech Feuchtemessgeräte automatisch und drahtlos in die Kamera übertragen und im entsprechenden Wärmebild gespeichert werden.



Dank MeterLink lässt sich ein Extech-Feuchtemessgerät drahtlos mit einer FLIR-Wärmebildkamera verbinden.

Drahtlose Verbindung

Dank Wi-Fi-Technologie können Sie drahtlos mit der Kamera kommunizieren und beispielsweise Bilder direkt von der Kamera an ein Smartphone oder einen Tablet PC senden (iPhone / iPad).



5. Software

Nach der Durchführung der Inspektion müssen Sie deren Ergebnisse wahrscheinlich Ihren Kollegen oder Ihren Kunden vorstellen. Wärmebilder zu analysieren und verständliche Inspektionsberichte zu verfassen sind wichtige Aufgaben. Sie sollten sicherstellen, dass im Lieferumfang Ihrer Wärmebildkamera ein Basissoftware-Paket enthalten ist, um diese Aufgaben wahrzunehmen.

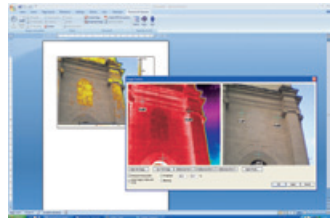


Die meisten Programme, die zusammen mit einer Wärmebildkamera geliefert werden, bieten die grundlegenden Funktionen für Analyse und Berichterstellung. Die Temperaturmessung an einem einzelnen Punkt und einige andere Basismesswerkzeuge gehören zum Lieferumfang.

Wenn Sie mehr Analyse- und Berichterstellungsoptionen benötigen, sollte Ihnen der Wärmebildkamerahersteller ein umfangreicheres Softwarepaket anbieten. Darin sollten beispielsweise folgende Funktionen enthalten sein:

- Flexibles Berichtdesign und -layout für individuell angepasste Berichte
- Leistungsstarke Temperaturanalysetools: Mehrfachmesspunkte, Bereiche, Messung des Temperaturunterschieds
- Triple Fusion Bild-im-Bild (verschiebbar, größenveränderlich, skalierbar)
- Trending-Funktion
- Erstellen von Formeln unter Verwendung der Messwerte der Wärmebilder
- Abspielen radiometrischer Sequenzen direkt im Bericht
- Suchfunktion zum schnellen Auffinden von Bildern für Ihren Bericht
- Panorama-Tool für das Zusammenfügen mehrerer Einzelbilder zu einem großen Bild

Ausgerüstet mit exakten Analysedaten und einem aussagekräftigen Inspektionsbericht wird es Ihnen gelingen, Ihrem Management bzw. Kunden klar zu zeigen, wo potentielle Problemstellen zu finden sind, und von den nötigen Präventivmaßnahmen zu überzeugen.



6. Schulungsbedarf

FLIR arbeitet mit dem Infrared Training Center (ITC) zusammen, ein auf der ganzen Welt agierendes Bildungsnetzwerk, das Schulungen in Übereinstimmung mit den weltweit geltenden Standards durchführt. Das ITC bietet von kompakten Einführungskursen bis zu Zertifizierungskursen alles an. Weiterführende Informationen finden Sie unter www.infraredtraining.com oder www.irtraining.eu.



9

Die Durchführung thermografischer Inspektionen

Sobald die Wärmebildkamera geliefert ist, können die Inspektionen beginnen. Aber wo anfangen? In diesem Kapitel des Ratgebers werden einige Vorgehensweisen vorgestellt, um Ihnen den Anfang zu erleichtern.

1. Die Aufgabenstellung festlegen

Beginnen Sie die Untersuchung, indem Sie den Kunden zum Zustand des Gebäudes befragen. Zum Beispiel: Ist der Energieverbrauch in der letzten Zeit gestiegen? Ist es im Gebäude kalt? Gibt es einen spürbaren Durchzug? Dann ermitteln Sie sowohl Innen- als auch Außentemperatur und überprüfen, ob der Temperaturunterschied für eine Untersuchung des Gebäudes ausreicht (die Differenz sollte mindestens 10 °C betragen).

2. Draußen beginnen

Die Thermografie-Inspektion sollte auf der Außenseite des Gebäudes beginnen. Fehlende Dämmung oder Wärmebrücken lassen sich von hier schnell feststellen. Es ist wichtig, Wärmebilder auch von den Bereichen aufzunehmen, wo alles in Ordnung zu sein scheint. Durch den Vergleich mit Bildern, auf denen Schäden zu erkennen sind, lässt sich das Ausmaß der verschiedenen gefundenen Probleme bestimmen.

3. Innen fortfahren

Als nächstes sollte die Situation von innen betrachtet werden. Das erfordert aber gründliche Vorbereitungen. Bei der Vorbereitung der thermografischen Untersuchung im Gebäude muss der Gebäudeinspektor die geeigneten Maßnahmen ergreifen, um exakte Ergebnisse zu erzielen. Dazu müssen vielleicht Möbel von den Außenwänden gerückt und Vorhänge abgenommen werden. Dies sollte mindestens sechs Stunden vor der Inspektion erfolgen, damit die isolierenden Eigenschaften des Mobiliars die mit der Wärmebildkamera erhobenen thermischen Daten nicht mehr beeinflussen. Wie schon weiter vorne erläutert, ist ein ausreichendes Temperaturgefälle (mindestens 10 °C) zwischen Innen- und Außentemperatur Grundvoraussetzung für exakte thermografische Inspektionen.

Sind diese Bedingungen erfüllt, kann der Gebäudeinspektor damit beginnen, jeden Raum des Gebäudes mit der Wärmebildkamera zu untersuchen. Dabei sollte er genau notieren, wo jedes Wärmebild aufgenommen wurde, eventuell durch Kennzeichnung mit Pfeilen auf dem Boden, um sicher erkennen zu können, aus welchem Winkel die Wärmebilder aufgenommen wurden.

4. Einen Luftdichtigkeitstest durchführen

Kleine Risse und Spalten können Durchzug verursachen. Das ist nicht nur unangenehm, sondern führt oftmals auch zu beträchtlichen Energieverlusten. Luftundichtigkeiten können die für die Heizung verbrauchte Energie um bis zu 50% erhöhen. Mithilfe eines Luftundichtigkeitstests, vielfach auch "BlowerDoor"-Test genannt, lassen sich kleinste Risse sichtbar machen.

Beim "BlowerDoor"-Verfahren werden die durch Schäden in der Gebäudehülle verursachten Luftundichtigkeiten noch verstärkt.

Ein "BlowerDoor"-System setzt sich aus drei Komponenten zusammen: einem kalibrierten Lüfter, einem Türfüllungssystem und einem Gerät, um die Lüfterströmung und den Gebäudedruck zu messen. Der Lüfter des "BlowerDoor"-Systems wird mithilfe der Türfüllung für die Dauer der Messung dicht in eine Außentür eingepasst.



Die "BlowerDoor"-Ausrüstung wird normalerweise in der Eingangstür angebracht.

Für die Messung wird ein Lüfter dazu benutzt, entweder Luft aus einem Raum zu saugen oder in ihn hineinzublasen, um so einen Druckunterschied zu erzeugen. In Fällen, wo die Außenluft kälter ist, wird meistens Luft mittels "BlowerDoor" aus dem Raum herausgesaugt. Daraus ergibt sich, dass der Luftdruck innen niedriger als außen ist, in der Regel beträgt dieser Unterschied etwa 50 Pascal.

Aufgrund des Druckgefälles wird die Außenluft durch die vorhandenen Risse in den Raum hineindrücken. Die Außenluft kühlt den Bereich, in dem sich ein Riss befindet, herunter. Dieser Temperaturunterschied ist auf einem Wärmebild klar als kalter Punkt bzw. Bereich zu erkennen, so dass der Anwender den Weg, den die eindringende Luft nimmt, genau lokalisieren und abbilden kann.

5. Analyse und Berichterstellung

Nach der Untersuchung aller Räume ist es Zeit, ins Büro zurückzukehren, um dort die Bilder zu analysieren und die Ergebnisse in einem Bericht zusammenzufassen.

Dank der von FLIR selbst entwickelten Softwareprogramme (z. B. QuickReport, Tools, QuickPlot, BuildIR und Reporter) kann der Gebäudeprofi schnell und unkompliziert einen umfassenden Bericht über die Gebäudeinspektion verfassen, um ihn Kollegen oder Kunden zu zeigen.



FLIR BuildIR

Mithilfe der Software FLIR BuildIR lassen sich die Wärmebilder analysieren und das Ausmaß der erfassten Gebäudeprobleme wie beispielsweise Eindringen von Luft, schadhafte Dämmung, Wärmebrücken und Schimmelbildung in einem Bericht professionell darstellen. Mit neuen und innovativen Funktionen ist es sogar möglich zu ermitteln, welche Kosten die Energieverluste verursachen.

Zu der Software gehören ein Bildeditor für eine umfangreiche Analyse des Wärmebilds, ein Panorama-Tool und ein Sensor-Tool, um die Bedingungen während der Inspektion graphisch darzustellen. Mit der Panorama-Funktion lassen sich mehrere Bilder zu einem Gesamtbild zusammenführen, aber auch beschneiden und perspektivisch korrigieren. Weitere Highlights sind eine Gitter-/Flächenberechnungsfunktion, die Energiekostenberechnung und individuell anpassbare Berichtvorlagen für Gebäudeinspektionen.

FLIR Reporter

Die Tatsache, dass dieses Programm auf der weit verbreiteten Textverarbeitungssoftware Microsoft Office Word basiert, macht FLIR Reporter zu einem intuitiv und einfach zu bedienenden Werkzeug. Da die meisten Anwender schon wissen, wie man mit Word umgeht, ist nur ein geringes Maß an Schulung nötig, um mit der Erstellung professioneller Berichte einschließlich der Word-Funktion "Automatische Rechtschreib- und Grammatiküberprüfung" zu beginnen.

FLIR Reporter verfügt des weiteren über zahlreiche hochmoderne Funktionen wie Bild-im-Bild, Thermal Fusion, automatische Einblendung der GPS-Positionsdaten, digitaler Zoom, Änderung der Farbpalette, Wiedergabe der vor Ort aufgenommenen Sprachkommentare und automatische Umwandlung von Berichten in das Adobe .pdf Format.



NOTIZEN

A series of horizontal dotted lines for taking notes.



FLIR i3 / i5 / i7



FLIR Ebx-Series



FLIR B-Series



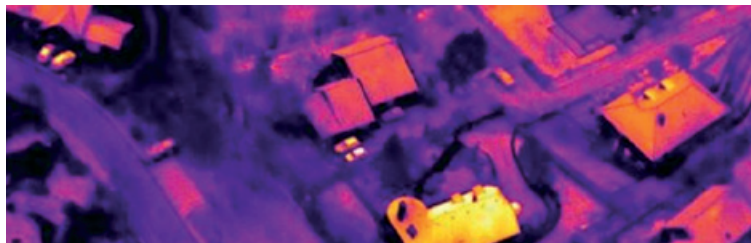
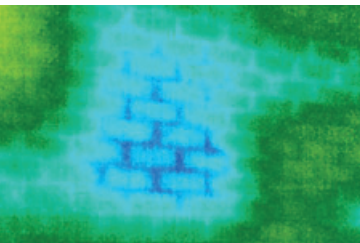
FLIR T600bx-Series



FLIR B620/B660



* After product registration on www.flir.com



Weitere Informationen von einem Experten für Wärmebildkameras erhalten Sie hier:

FLIR Commercial Systems B.V.

Charles Petitweg 21
4847 NW Breda
The Netherlands
Tel. : +31 (0) 765 79 41 94
Fax : +31 (0) 765 79 41 99
e-mail: flir@flir.com

FLIR Systems GmbH

Berner Strasse 81
D-60437 Frankfurt am Main
Germany
Tel.: +49 (0)69 95 00 900
Fax: +49 (0)69 95 00 9040
e-mail: flir@flir.com

FLIR Commercial Systems

Avenida de Bruselas, 15- 3º
28108 Alcobendas (Madrid)
Spain
Tel. : +34 91 573 48 27
Fax.: +34 91 662 97 48
e-mail: flir@flir.com

FLIR Systems AB

Rinkebyvägen 19
PO Box 3
SE-182 11 Danderyd
Sweden
Tel.: +46 (0)8 753 25 00
Fax: +46 (0)8 753 23 64
e-mail: flir@flir.com

FLIR Systems France

19, bld Bidault
77183 Croissy-Beaubourg
France
Tel.: +33 (0)1 60 37 01 00
Fax: +33 (0)1 64 11 37 55
e-mail : flir@flir.com

**FLIR Systems, Middle East
FZE**

Dubai Airport Free Zone
P.O. Box 54262
Office C-13, Street WB-21
Dubai - United Arab Emirates
Tel.: +971 4 299 6898
Fax: +971 4 299 6895
e-mail: flir@flir.com

FLIR Systems UK

2 Kings Hill Avenue - Kings Hill
West Malling
Kent
ME19 4AQ
United Kingdom
Tel.: +44 (0)1732 220 011
Fax: +44 (0)1732 843 707
e-mail: flir@flir.com

FLIR Systems Italy

Via Luciano Manara, 2
I-20812 Limbiate (MB)
Italy
Tel.: +39 (0)2 99 45 10 01
Fax: +39 (0)2 99 69 24 08
e-mail: flir@flir.com

FLIR Systems Russia

6 bld.1, 1st Kozjevnickesky lane
115114 Moscow
Russia
Tel.: + 7 495 669 70 72
Fax: + 7 495 669 70 72
e-mail: flir@flir.com

www.flir.com