

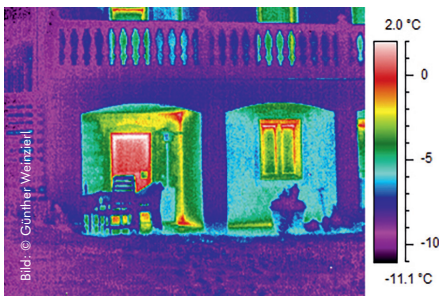


Bild: © Kodny - stock.adobe.com

Wärmebildkameras – Kenngrößen für die Auswahl

Das richtige Gerät für den Bauthermografen

Inzwischen ist am Markt eine Vielzahl von Thermografiekameras vom Einsteigerbereich bis zu professionellen Geräten erhältlich. Doch auf welche Kriterien sollte bei der Auswahl einer Kamera geachtet werden?



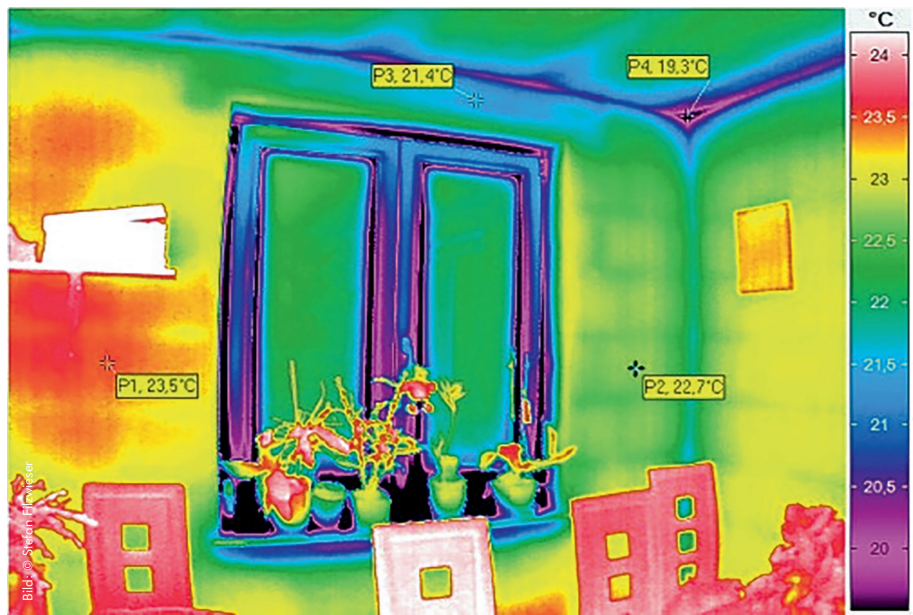
1 | Anwendung Außenthmografie

Folgende Anwendungsgebiete der Bauthermografie können unterschieden werden, wobei sich hier diverse Anforderungen ergeben:

- Innen-/Außenthmografie
- Unterstützung Luftdichtheitsmessung
- Leckageortung
- Fachwerksuche

Am Markt sind Systeme erhältlich, mit denen alle Applikationen abgedeckt werden können. Innen- und Außenthmografie werden bei möglichst stationären Verhältnissen durchgeführt – dabei werden die Oberflächentemperaturverteilungen unter Berücksichtigung bauphysikalischer Prinzipien bewertet. Bild 1 zeigt hier ein Beispiel einer Außenthmografie. An dieser Stelle wird darauf verwiesen, dass die Außenthmografie oftmals nicht anwendbar ist (stationäre Verhältnisse nicht gegeben, hinterlüftete Bauteile) und deshalb der Innenthmografie (siehe Bild 2) der Vorzug zu geben ist. Bei der Unterstützung der Luftdichtheitsmessung können Thermografiesysteme zur Visualisierung und Dokumentation von Undichtheiten, z. B. Kaltlufteintritt an Fugen oder Steckdosen, verwendet werden. Hier gibt es keine nennenswerten Anforderungen an das Kamerasystem.

Bei der Leckageortung und der Fachwerksuche werden instationäre Verhältnisse ausgenutzt (z. B. Aufheizen einer Warmwasserleitung oder Sonnenaufgang auf einer Gebäudeaußenseite). In letzterem Fall ergeben sich die Muster aufgrund unterschiedlicher thermischer Leitfähigkeit (diese inkludiert die Wärmeleitfähigkeit, die Dichte und die spezifische Wärmekapazität). Für die Erkennung der Muster ist die absolute Temperatur nicht ausschlaggebend, die Anforderungen ergeben sich vor allem hinsichtlich thermischer Auflösung.



2 | Anwendung Innenthmografie

Funktionsweise

Thermografiekameras ermöglichen bei nicht transparenten Körpern die berührungslose, bildgebende Erfassung der Oberflächentemperatur. Dabei wird das Prinzip genutzt, dass jeder Körper über dem absoluten Nullpunkt ($-273,16\text{ °C}$) Temperaturstrahlung aussendet. Der maßgebliche Anteil der Strahlung wird hierbei im Infrarotbereich abgegeben. Dieser schließt direkt an den sichtbaren roten Bereich an, die Wellenlänge des für Messgeräte genutzten Bereichs erstreckt sich hierbei von $0,75$ bis $14\text{ }\mu\text{m}$. Über eine Optik wird diese Strahlung auf ein Detektorarray (analog einer Digitalkamera) abgebildet, der bei heute in der Bauthermografie üblichen Kamerasystemen im Bereich von 8 bis $14\text{ }\mu\text{m}$ empfindlich ist. Man bezeichnet diesen Bereich als den langwelligen Bereich (LWIR long wave infrared). Kameras bei Wellenlängen von 2 bis $5\text{ }\mu\text{m}$ (MWIR mid wave infrared) werden vornehmlich für automatisierte Inspektionsaufgaben in der Industrie und R&D-Zwecke verwendet. Der Bereich $0,75$ bis $1,8\text{ }\mu\text{m}$ (SWIR short wave infrared) wird vornehmlich für Applikation bei höheren Temperaturen (größer 250 °C) und Inspektionsaufgaben in der Industrie angewendet.

Der Detektor wandelt die einfallende Strahlung in eine elektrisch messbare Größe um (bei aktuellen Detektoren im Bereich 8 bis

$14\text{ }\mu\text{m}$ ist das z. B. der Widerstand – Mikrobolometerkameras).

In weiterer Folge wird über die Bedieneingabe die reale Strahlungssituation erfasst. Emissionsgrad des Objekts und reflektierte Temperatur werden zur Berechnung der tatsächlich vom Objekt ausgesandten Strahlung berücksichtigt. Dieser Strahlungswert wird über eine Kalibrierkennlinie in einen Temperaturwert umgerechnet. Die Kalibrierkennlinie wird vom Hersteller ermittelt und ist in der Kamera hinterlegt. Der Temperaturwert wird über eine Falschfarbendarstellung im Thermogramm dargestellt. Diese Darstellung kann ebenfalls durch Bedieneingabe verändert werden (Palette und angezeigter Temperaturbereich). Zusammengefasst ist für die Qualität eines Thermogrammes Folgendes ausschlaggebend:

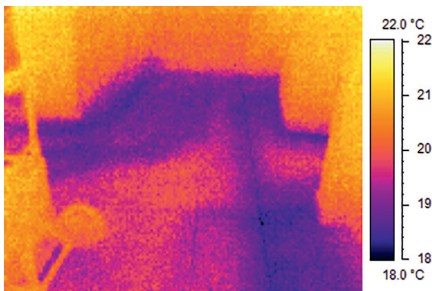
- Hardware (Detektor, ...)
- Optik
- Software und Anzeige
- Thermograf (Bedieneingaben)

Detektor: Spektrale Empfindlichkeit

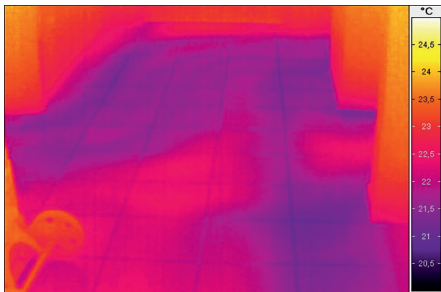
Als Wellenlängenbereich steht wie bereits erläutert der Bereich 8 bis $14\text{ }\mu\text{m}$ zur Verfügung. Im Baubereich ermöglicht das die Messung von Temperaturen auf Glas (Emissionsgrad typischer Gläser $0,85$); eine Messung durch Glas ist damit nicht möglich.



3 | Sichtbares Bild Kühlung



4 | 160 x 120 Pixel, 100 mK, 45 °



5 | 640 x 480 Pixel, 50 mK, 25 °

Detektor: Qualitätskriterien

Die Qualität des Detektors wird durch drei Kenngrößen beschrieben: Thermische, zeitliche und geometrische Auflösung.

Thermische Auflösung: Die thermische Auflösung wird durch ein absolutes Maß beschrieben, der NETD (noise equivalent temperature difference). Diese beschreibt das Detektorrauschen in K (Kelvin) bei 30 °C. Der Wert wird von den Kameraherstellern bestimmt und angegeben. Die gemeinsame Richtlinie des VATH (Bundesverband für angewandte Thermografie Deutschland) und der ÖGfTh (Österreichische Gesellschaft für Thermografie) für Gebäudethermografie und Leckageortung empfiehlt hier einen Wert kleiner 100 mK – Werte von 50 mK und 30 mK sind aktuell verfügbar. Im Übrigen können die Richtlinie Bau-thermografie und die Richtlinie Leckageortung auf der Homepage der ÖGfTh heruntergeladen werden (siehe Ende des Artikels).

Hinweis: Die Kalibrierkennlinie von Thermografiekameras wird bei niedrigeren Temperaturen flacher und das Bildrauschen höher (Außenthermografieaufnahmen).

Hinweis: Manche Thermografiekameras ermöglichen die Bildmittelung (thermische Auflösung wird verbessert). Bei langer Mittelung in Verbindung mit geringen Bildwiederholraten wird die Verwendung eines Statives notwendig.

Zeitliche Auflösung: Die zeitliche Auflösung der Detektoren liegt bei typischen Kameras bei 9 bzw. 50 Hz. Das ist für alle Anwendungen im Baubereich ausreichend und benötigt in der täglichen Arbeit kein Stativ. Selbst ältere scannende Systeme (Bildwiederholrate 1 Hz) sind für die Aufgabenstellung ausreichend, wenngleich diese Systeme auf einem Stativ betrieben werden müssen.

Geometrische Auflösung: Die geometrische Auflösung wird einerseits durch die Anzahl der Bildpunkte des Detektors bestimmt, andererseits über die verwendete Optik. Für die Anzahl an Bildpunkten finden sich in der Richtlinie Bau-thermografie die Angabe von größer gleich 320 x 240 Bildpunkten, für die Leckageortung größer gleich 160 x 120 Bildpunkte (empfohlen 320 x 240 Bildpunkte). Es gibt aktuell Systeme mit VGA und SVGA Auflösung. Maßgeblich für die geometrische Auflösung des Thermografiesystems ist die Kombination aus Detektor und Optik. Die geometrische Auflösung wird durch den momentanen Bildfeldwinkel beschrieben, in den Datenblättern ist der englische Begriff IFOV (instantaneous field of view) zu finden. Dieser beschreibt die minimale Messfleckgröße, bei der die Temperatur richtig gemessen wird. Der ideale IFOV wird üblicherweise in mrad angegeben, sprich, die ideale Messfleckgröße in mm kann einfach durch Multiplikation dieses Werts mit dem Messabstand in m berechnet werden. Achtung: Strukturen kleiner als diese Messfleckgröße sind bei entsprechenden Temperaturunterschieden im Thermobild zu sehen, die angezeigten Temperaturen werden jedoch falsch angezeigt.

Hinweis: Der IFOV wird in den Datenblättern und Bedienungsanleitungen als ideal gerechneter Wert aus Öffnungswinkel der Optik und der Anzahl der Bildpunkte des Detektors angegeben. Für die Berechnung der realen

Messfleckgröße ist ein Optikkfaktor von 3 bis 5 zu berücksichtigen (reale Optik, Mittelungen am Kamerachip). Der reale Messfleck ist daher um diesen Faktor größer.

Beispiel 1: Ein Detektor mit 320 x 240 Bildpunkten in Verbindung mit einer Standardoptik 24 hat einen idealen IFOV von 1,3 mrad. Unter Berücksichtigung eines Optikkfaktors von 3 ergibt sich in zehn Metern Entfernung ein Messfleck von 1,3 mrad x 10 m x 3 = 39 mm.

Beispiel 2: Verwendet man bei Beispiel 1 einen Detektor mit 80 x 60 Bildpunkten, so ergibt sich eine Messfleckgröße von 157 mm. Temperaturwerte für Objekte oder Strukturen kleiner 157 mm werden falsch gemessen.

Man denke bei Beispiel 1 und 2 an die Temperaturmessung auf Fensterrahmen bei der Außenthermografie.

Auswirkung auf die Praxis: Bild 1 zeigt eine Aufnahme mit 320 x 240 Bildpunkten und einer NETD von 150 mK, die geometrische Auflösung ist ausreichend, das Bildrauschen erkennbar, obwohl eine Palette verwendet wurde, die das Rauschen unterdrückt. Im Gegensatz dazu zeigt Bild 2 eine Aufnahme mit 640 x 480 Bildpunkten und einer NETD von 50 mK. Hier ist ein Rauschen trotz kontrastreicher Palette nicht zu erkennen.

Im nächsten Beispiel wird eine Fußbodenheizung zur Kühlung verwendet, die Aufnahmen wurden während der Abkühlphase aufgenommen. Bild 3 zeigt das sichtbare Bild, Bild 4 eine Aufnahme mit einem 160 x 120 Detektor und 100 mK NETD, Bild 5 dieselbe Szene mit 640 x 480 Bildpunkten und einer NETD von 50 mK. Neben der thermischen Auflösung sind hier deutlich die Unterschiede in der geometrischen Auflösung sichtbar (Fugen).

Detektor: Temperaturstabilisierung

Handelsübliche Thermografiesysteme im langweiligen Bereich müssen nicht gekühlt werden. Die Eigentemperatur des Detektors beeinflusst die Temperaturmessung. Des Weiteren können sich Detektoren bei Betrachtung einer Szenerie mit höheren Temperaturen erwärmen (thermisches Gedächtnis). Gute Infrarotkameras weisen daher einen temperaturstabilisierten Detektor auf. Üblicherweise liegen diese

Temperaturen im Bereich 30 bis 40 °C, höhere Temperaturen belasten die Akkulaufzeit. Für den Bauthermografen äußert sich das Fehlen einer Temperaturstabilisierung in schwankenden Temperaturen bei z. B. Wechsel von der Außen- zur Innenthermografie.

Messbereich

Für den Baubereich wird ein Messbereich von -20 bis 100 °C empfohlen. Aktuelle Kameras erfüllen die Anforderungen im Baubereich.

Option Digitalkamera

Einige der verfügbaren Systeme bieten eine zusätzliche Digitalkamera inklusive der Überlagerung des Thermogramms mit der Aufnahme im sichtbaren Bereich. Das ermöglicht die verbesserte Verortung von Auffälligkeiten und trägt so besser zum Verständnis bei. Eine Digitalkamera für die Dokumentation weiterer notwendiger Dinge für den Bericht ersetzt das allerdings nicht.

Hinweis: Bei der Leckageortung wird empfohlen, die Auffälligkeiten am Objekt zu kennzeichnen, um Fehler der Übertragung vom Thermogramm auf das Objekt zu vermeiden.

Hinweis: In schriftlichen Berichten sollte immer zusätzlich ein reines Thermogramm angegeben werden, da eine Zuordnung zu Temperaturwerten in überlagerten Bildern nicht möglich ist.

Optik

Es gibt Systeme mit fixen Objektiven und Wechselobjektiven. Je nach Aufgabenstellung ist der Einsatz von Wechselobjektiven zu bevorzugen, Standardobjektive haben einen Öffnungswinkel von ca. 20 bis 30°, Teleobjektive von 10 bis 15° und Weitwinkelobjektive einen Öffnungswinkel größer 40°. Bei größeren Arbeitsabständen ist hinsichtlich geometrischer Auflösung den Teleobjektiven der Vorzug zu geben (Anwendung Außenthermografie), bei Innenthermografie ermöglichen Weitwinkelobjektive die Aufnahme größerer Gesichtsfelder bei geringeren Arbeitsabständen in den Wohnräumen. An sich können die Aufgaben zumeist ohne Objektivwechsel durchgeführt werden, die Anzahl an Infrarotaufnahmen kann durch Wechselobjektive minimiert werden, daher ist derartigen Systemen der Vorzug zu geben.



6 | Die höchsten Anforderungen ergeben sich bei der Innen- und Außenthermografie.

Kriterium Software

Diese gliedert sich üblicherweise in die Software auf der Kamera und der Möglichkeit der Berichterstellung. Die Software zur Berichterstellung ist inzwischen sehr umfangreich und sollte für den Baubereich ausreichend Funktionalität zur Verfügung stellen. Die Einbindung bestehender Officepakete ist vor dem Kauf abzuklären. Teile dieser Funktionalität sind hier in der Kamerasoftware abgebildet, die genannten Hinweise beziehen sich in der Folge auf beide Softwareumgebungen.

Falschfarbenanzeige der Temperaturwerte: Defakto alle Systeme ermöglichen die Verwendung unterschiedlicher Paletten zur Visualisierung der Temperaturwerte. Hier ist darauf zu achten, dass unterschiedliche Paletten einen unterschiedlichen Eindruck vermitteln. So bietet die Regenbogenpalette die Möglichkeit der deutlicheren Visualisierung von Temperaturunterschieden über den gesamten Temperaturbereich (siehe Bild 2). Viele Systeme bieten die Möglichkeit der Verwendung nichtlinearer Paletten, hierbei wird Bereichen mit wenigen Temperaturwerten mehr Farben zur Verfügung gestellt, damit können kleinere Auffälligkeiten deutlicher visualisiert werden.

Hinweis: Die Verwendung nichtlinearer Paletten macht es unmöglich, Temperaturwerte aus den Thermogrammen abzulesen, in schriftlichen Berichten sollte daher zusätzlich immer eine lineare Palette verwendet werden.

Angezeigter Temperaturbereich: Dieser erfolgt über Einstellung des oberen und unteren

Temperaturwerts des Farbkeils bzw. über den Mittelwert (Helligkeit) und die Temperaturspanne (Differenz oberer zu unterer Temperatur, entspricht dem Kontrast). Spezielle Anforderungen an die minimal einstellbare Temperaturspanne sind bei der Leckageortung gegeben, hier werden in den Richtlinien 2K empfohlen.

Automatikfunktionen: Autofokus ist hilfreich, aber nicht immer anwendbar.

Hinweis: Ein unscharfes Bild ergibt falsche Temperaturwerte.

Automatikfunktionen wie Einstellung der oberen und unteren angezeigten Temperatur sind für eine Ersteinstellung hilfreich, bei Anwendungen wie dem Vergleich mit einem Referenzbauteil (z. B. Vergleich von Fenstern einer Front) ist dies nicht zu verwenden. Der Thermograf sollte in der Lage sein, diese Einstellungen inklusive einfacher Messfunktionen auf der Kamera durchzuführen, nachträglich bei der Auswertung festgestellte Auffälligkeiten machen möglicherweise einen erneuten Einsatz vor Ort notwendig.

Anzeige

Die Anzeige erfolgt bei den Systemen auf Monitoren oder in eigenen Viewern. Monitore sind für Vorortanalysen gut geeignet, um dem Kunden einfache Ergebnisse und Auffälligkeiten zu präsentieren. Bei Tageslichtanwendungen, im Speziellen Anwendungen bei Sonnenschein wie der Beurteilung von Fachwerken ist Systemen mit eingebauten Viewern der Vorzug zu geben.



Bild: © agenturfotografie - stock.adobe.com

7 | Der Anwender hat den größten Einfluss auf die Qualität einer Infrarotaufnahme.

Thermograf

Der Anwender hat den größten Einfluss auf die Qualität einer Infrarotaufnahme. Das Thermografiesystem liefert immer Thermogramme, jedoch keine Garantie für die Richtigkeit der angezeigten Temperaturwerte. Verwendete Paletten oder Temperaturbereiche können einen entsprechenden Eindruck in den Thermogrammen erwecken, unscharfe Aufnahmen oder falsch eingestellte Messparameter machen einen Bericht angreifbar und lösen gegebenenfalls teure und falsche Maßnahmen aus. Entsprechende Schulungen bis hin zu Personalzertifizierung nach international anerkannten Normen (ISO 9712) sollten daher als flankierende Maßnahmen in Betracht gezogen werden. Kameraanbieter und Fachverbände bieten hierzu entsprechende Informationen.

Weitere Kriterien

Kalibrierung: Für die Anwendung der Außen- und Innenthermografie ist die Messung absoluter Temperaturwerte notwendig. Infrarotkameras werden vom Hersteller kalibriert und inklusive Kalibrierzertifikat ausgeliefert. Die Kalibrierung kann selbsttätig überprüft werden (z. B. mittels Kalibrierstrahlern), eine Neukalibrierung benötigt Zeit und ist entsprechend einzuplanen. Das sollte im Falle der Bauthermografie kein Hindernis darstellen, die Modalitäten sollten beim Kauf abgeklärt werden (z. B. Möglichkeit eines Ersatzsystems während der Kalibrierung).

Bedienbarkeit: Systeme mit Tasten- bis zu Touchbedienung sind erhältlich, die Auswahl hängt hier vom Geschmack des Benutzers ab.

Akku: Bei aktuellen Systemen stellt die Akkulaufzeit kein Kriterium mehr dar, gegebenenfalls sind Ersatzakkus bei den Messungen mitzuführen.

Zusätzliches Equipment: Bei Außen- und Innenthermografie empfiehlt sich die Erfassung zusätzlicher Größen, wie der Außen- und Innentemperatur, der Luftfeuchte und der Windgeschwindigkeit. Kamerasysteme mit automatisierter Kopplung dieser Messgeräte bieten hier Bedienkomfort.

Fazit

Die höchsten Anforderungen ergeben sich bei der Innen- und Außenthermografie, diese lassen sich wie folgt kurz zusammenfassen: Detektor 320 x 240 Bildpunkte, NETD kleiner 100 mK, Messbereich -20 bis 100 °C, kalibriertes System mit temperaturstabilisiertem Detektor. Kamerasoftware mit manueller Bedienmöglichkeit für einfache Temperaturmessaufgaben vor Ort. Für diese Minimalanforderungen finden sich Systeme in fast allen Preissegmenten, je nach Anwendung und Häufigkeit ist ein entsprechend höherwertiges System zielführend. Für größere Büros ist eine Kombination unterschiedlicher Systeme durchaus in Betracht zu ziehen.

Links

<https://www.thermografie.co.at/>

<https://www.thermografie.co.at/expertenwissen-normen/normen-und-richtlinien/richtlinien1>

Günther Weinzierl, Dipl.-Ing.

ist Generalsekretär der ÖGfTh (Österreichische Gesellschaft für Thermografie), allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger, Zertifizierter Thermograf nach ISO 9712 Stufe 3 und VDS-zertifizierter Sachverständiger für Thermografie. Zudem ist der Geschäftsführer METEG Ingenieurbüro GmbH.

Dr. Thomas Grünberger

ist Präsident der ÖGfTh, Mitglied in mehreren thermografischen Fachausschüssen zur Personalzertifizierung und ZfP, CTO (Chief Technology Officer) der plasmio Industrietechnik GmbH sowie Lektor an der FH Wiener Neustadt

Kontakt unter:

office@thermografie.co.at

Die Österreichische Gesellschaft für Thermografie

Die ÖGfTh ist seit ihrer Gründung im Jahr 1988 unpolitisch und nicht auf Gewinn gerichtet. Sie verfolgt den Zweck, ein Forum für Erfahrungsaustausch, Information und Weiterbildung zu sein. Erreicht wird das durch:

- Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Fachverbänden
- Mitarbeit in wichtigen europäischen Normen- und Fachausschüssen
- Information unserer Mitglieder über Zertifizierungs- und Schulungsmöglichkeiten sowie über aktuelle Gesetzgebung
- Veranstaltung von und Teilnahme an Tagungen und Seminaren

Weitere Ziele sind die Schaffung bzw. laufende Überarbeitung von Qualitätskriterien für Bericht, Befund, Gutachten oder Zeugnis erstellende Verwender von Thermografiegeräten sowie die Beratung von Kammern, Behörden und öffentlichen Institutionen auf dem Gebiet der IR-Thermografie.

