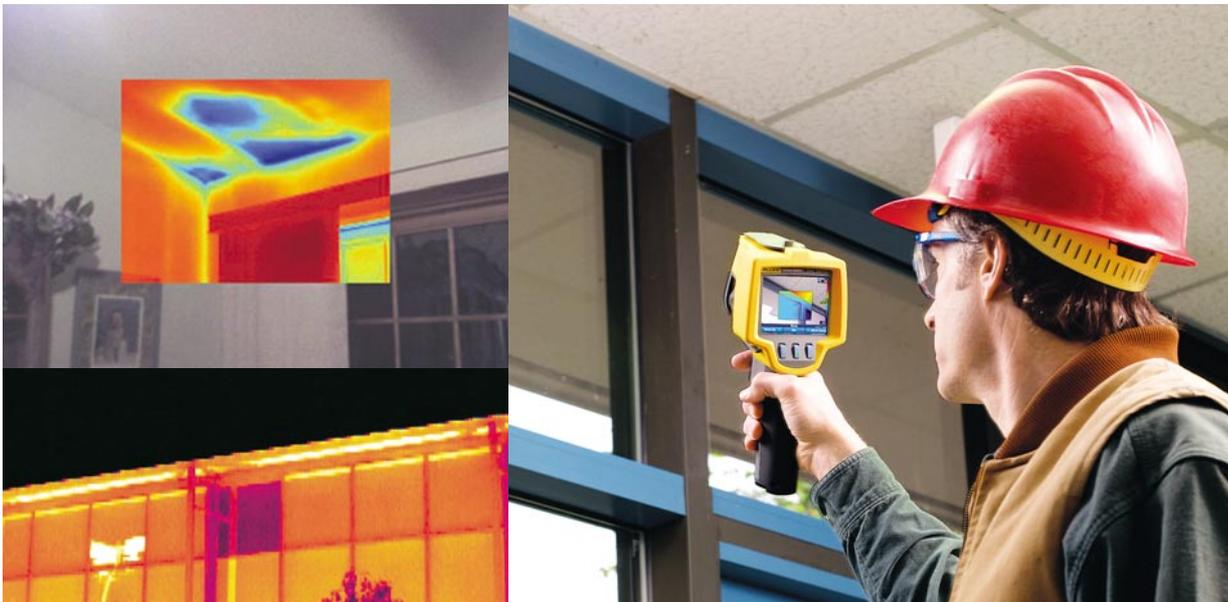


Gebäudediagnose mit Wärmebildkamera



Gesundes Klima, wirtschaftliches Gebäude

Wärmebildkameras gehören schon lange zum Handwerkszeug von Gebäudetechnikern – sie ermöglichen die blitzschnelle Diagnose über die Qualität von Wärmedämmungen, analysieren Kältebrücken und entlarven Baufehler. Gerade für Letztere, aber auch für die Analyse zur laufenden Instandhaltung, ist dieses Instrument zunehmend auch für den Privatanwender und Hausverwalter interessant. Wir stellen die Technik der Wärmebildkamera sowie einige Kameramodelle vor und betrachten die praktischen Ergebnisse der Analyse.

Thermografie – der Schlüssel zur Analyse von Bauwerken und technischen Anlagen

Angesichts rasant steigender Energiepreise, zunehmender Fehler bei der Bauausführung und der Notwendigkeit thermischer Verbesserungen von Gebäuden ist eine Analyse bzw. Diagnose durch geeignete technische Mittel zwingend notwendig, denn viele Baufehler und Mängel sind weder

mit dem bloßen Auge noch durch „Handauflegen“ zu lokalisieren.

Die Infrarot-Thermografie ist ein sehr taugliches Werkzeug zur Diagnose von anormalen Zuständen an Gebäuden, sowohl beim Bau als auch in der Instandhaltung. Durch sehr fein auflösende Infrarot-Messsysteme sind hier selbst kleinste Temperaturunterschiede an Bauteilen, Gebäuden, Maschinen, elektrischen Anlagen, Heiz-, Kühl- und Rohrsystemen



Bild 1: Die IR-Thermografie kann Wärmestrahlungen sehr fein differenzieren. Hier links das verbliebene thermische Abbild einer kurz zuvor auf einem Tisch aufgelegten Hand (FLIR i5) und in der Mitte das „Thermo-Spiegelbild“ einer Person in einer Riffelglastür (Abstand ca. 2,5 m, FLUKE Ti25). Rechts ist beispielhaft gezeigt, wie die Wärmebildkamera auch Füllstände und Wärmeverteilungen innerhalb von Gefäßen und Behältern erfassen kann.

messbar und übersichtlich in Echtzeit darstellbar. Abbildung 1 zeigt an drei Beispielen abseits der technischen Nutzung, wie empfindlich die IR-Thermografie ist.

Je nach Spezifikation und Ausstattung nimmt die Elektronik der Wärmebildkamera z. B. bereits direkt Taupunkt- oder Wärmedämmberechnungen vor und alarmiert bei Anomalien. Diese Aufgabe und noch weitere lösen auch die meist mitgelieferten PC-Analyseprogramme.

Nur mit dieser Technik lassen sich zahlreiche Parameter klar erkennen, als da wären: Gebäudedichtheit, Qualität der Isolation, Einbauqualität von Bauteilen, Wirkung und Funktion von Lüftungen, Heizungen, Klimaanlage, im Betrieb auftretende bzw. sich anbahnende Gebäude- oder Anlagenschäden wie z. B. Undichtheiten, Durchfeuchtungen, Risse, Isolierschäden usw. Abbildung 2 gibt einen Überblick dazu. Hier sind auch weitere Prüfungen aufgeführt, die dem Gebäudetechniker helfen, Schäden zu erkennen und ihnen vorzubeugen.

Auch in der Technik ergeben sich unendliche Anwendungsmöglichkeiten, etwa bei der Analyse von elektrischen Anlagen. Hier lassen sich z. B. überlastete Bauteile sofort und ungefährlich berührungslos analysieren. Das gilt auch für den Einsatz in der Elektronik. Dort kann bei Entwicklung, Service und im Betrieb genau analysiert werden, wo es Schwachstellen gibt, die sich durch Überhitzung von Bauteilen, Leiterbah-

nen, Verdrahtungen, Anschlüssen usw. äußern können. Schließlich ist die Infrarot-Thermografie ein wertvolles Hilfsmittel bei der Errichtung, dem Betrieb und der Instandhaltung von technischen Anlagen, um mangelhafte Konstruktionen und Montagen ebenso zu erkennen wie Verschleißerscheinungen, Störungen und sich anbahnende Ausfälle.

Ursprünglich entstammt die Technik der Wärmebildkamera militärischen Nutzungen. Da die Kamera auch auf größere Entfernung in der Lage ist, Wärmequellen zu identifizieren, eignet sich die Technik sehr gut zum Aufspüren eben dieser am Tage und erst recht in der Nacht. Auch Polizei und Hilfsdienste bedienen sich dieser Technik, etwa bei der Suche nach Personen.

Wie funktioniert's?

Jede Oberfläche, deren Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunkts (-273 °C) liegt, gibt eine Wärmestrahlung ab. Diese liegt im Infrarot-Bereich und ist daher nicht sichtbar wie z. B. Tageslicht, dessen Wellenlänge (wenigstens zum Teil) im für uns sichtbaren Bereich liegt. Der in der Thermografie genutzte Bereich liegt bei 3 bis 14 µm, hier ist die Wärmestrahlung am intensivsten. Schon das bekannte Infrarot-Ther-

Professionelle Gebäudediagnose
Für ein gesundes Klima, eine hohe Wirtschaftlichkeit und zur Erkennung und Vorbeugung von Schäden stehen dem Gebäudetechniker zahlreiche Messmittel zur Verfügung.

Überprüfung auf Eindringen von Feuchtigkeit innerhalb und außerhalb des Gebäudes

Überwachung von Wärmeverlusten durch Temperaturmessung und Wärmebild-Analyse

Überprüfung der Leistungsfähigkeit des Heizungs- und Klimasystems und Erkennung von notwendigen Temperaturen

Beispiele: Aufspüren von Problemen mit dem Zu- und Abluftsystem und von Undichtheiten

Kontrolle der Kessel- und Rohrisolierung mit einer Wärmebildkamera

Stromkontrolle an Brandsensoren zur Beurteilung der Abgastemperaturen

IR-Thermometer FLUKE 561/566/568

Wärmebildkamera FLUKE TIR

Wärmebildkamera FLUKE TIR

Temperatur-/Feuchtemessgerät FLUKE 971

Airmeter FLUKE 975

Airmeter FLUKE 975

Partikelzähler FLUKE 983

Luftströmungsmessgerät FLUKE 922

Strommesszange mit Temperaturmessung FLUKE 902

Überprüfung der Luftqualität in Innenräumen, Lufttemperatur, Feuchte, Partikelkonzentration zur Kontrolle von Filtern, CO- und CO₂-Werte, Luftströmung

Bild 2: Dem Gebäudetechniker steht eine Vielzahl von Messmitteln für die professionelle Gebäudediagnose zur Verfügung. (Bilder: FLUKE)

Bild 3: Mit allen Raffinessen ausgestattet: links die FLUKE Ti25 mit integrierter Digitalkamera, rechts die FLIR i50, die zusätzlich zur Digitalkamera u. a. auch über eine Objektbeleuchtung verfügt



momenter nutzt diese Wärmestrahlung für die berührungslose Erfassung der Temperatur an einem bestimmten Messpunkt. Die Wärmebildkamera hingegen erfasst statt eines einzelnen Punktes einen kompletten Bereich und ist entsprechend komplexer aufgebaut. Auch sie besitzt den Vorteil, aus größerer Entfernung berührungslos Temperaturen messen zu können. Eine Wärmebildkamera arbeitet prinzipiell wie eine digitale Kamera, wie wir es vom Fotografieren her gewohnt sind. „Bildaufnehmer“ sind hier allerdings komplexe Infrarot-Detektoren, die die empfangene Wärmestrahlung in elektrische Signale umwandeln. Im Elektronikteil der Kamera werden diese Signale zunächst zu einem Graustufenbild zusammengesetzt, das zur besseren optischen Unterscheidbarkeit der Temperaturverteilung im detektierten Bild mit einer Falschfarbenskala eingefärbt und schließlich auf einem kleinen Bildschirm wiedergegeben wird.



Bild 4: Baumangel schnell entdeckt: Die Thermografieinspektion deckt falsch eingebaute Fenster auf. Die Beschichtung ist innen statt außen am Fenster angebracht. (Bilder: FLIR)

Je nach Ausstattung und Aufgabenbereich wird hierbei ein unterschiedlicher technischer Aufwand betrieben. So gibt es automatisch fokussierende Objektive ebenso wie manuell einstellbare. Es gibt Kameras mit zusätzlicher optischer Kamera (Abbildung 3), bei denen das Thermografiebild als Bildausschnitt in das Kamerabild eingeblendet wird. Hier ist eine örtliche Zuordnung besonders gut möglich, da die optische Kamera eine weit höhere Auflösung hat, als es durch

den Infrarot-Detektor realisierbar ist. Dessen Auflösung liegt bei hochwertigen Modellen derzeit bei max. 640 x 480 Bildpunkten, üblich sind aber weit geringere Auflösungen, z. B. 140 x 140 Pixel.

Diese Kameras verfügen für dunkle Aufnahmeorte mitunter sogar über eine eigene Objektbeleuchtung. Diese beeinflusst das Thermografiebild nicht, da der Infrarot-Sensor weder für künstliches noch natürliches Licht (das ja auch eine Wärmestrahlung ist, aber weitgehend im für uns sichtbaren Bereich) empfänglich ist.

Je nach Kameratyp sind Temperatur-Unterschiede bis 0,1 K detektierbar. Dabei ist die Empfindlichkeit umso höher, desto niedriger die Umgebungstemperatur für den Infrarot-Detektor ist. So werden für sehr hochwertige und hochempfindliche Systeme mit hoher Bildqualität sogenannte gekühlte Detektoren eingesetzt, das sind speziell gekapselte Detektoren, die mit einer kleinen Kältemaschine z. B. mit flüssigem Stickstoff (-195,8 °C) gekühlt werden. Dass derartiger Aufwand auf stationäre Systeme beschränkt ist, liegt auf der Hand.

Bei tragbaren (und weit preiswerteren) Systemen greift man daher auf sogenannte ungekühlte Detektoren zurück, die lediglich über einen Thermostaten auf einer konstanten Temperatur gehalten werden. Als Kühlelemente dienen hier die bekannten Peltier-Elemente.

Während die gekühlten Systeme mit fotoelektrischen Halbleiter-Arrays arbeiten, kommen bei den ungekühlten Systemen Detektor-Arrays zur Anwendung, die entweder auf eine Temperaturänderung (pyroelektrisch) hin oder ständig, verglichen mit der Umgebungstemperatur, die einfallende Temperaturstrahlung erfassen und in adäquate Ausgangsspannungen umwandeln (Mikrobolometer).

Die Anzeige des Thermografiebildes kann meist unter wählbaren Parametern erfolgen. So sind Graustufenbilder ebenso möglich wie verschiedene Farbskalen, die der jeweiligen Messaufgabe angepasst sind.

Die Speicherung der Bilder inklusive Parametern und Messergebnissen erfolgt heute entweder intern auf per USB aus-

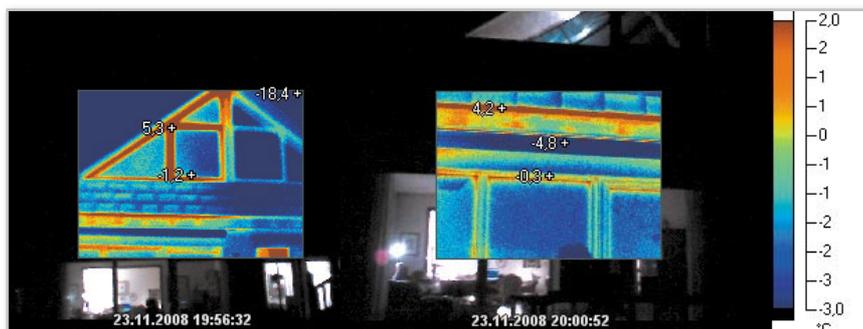


Bild 5: Typische Baufehler – falsche Fensteranschlüsse und fehlende Dämmung im Mauerwerks-Anschlussbereich. Die Folge: hohe Wärmeverluste. (Kamera: FLUKE Ti25)



Bild 6: Dachschaden – erst das Thermografiebild entlarvt den konkreten Schaden am Dach. Hier ein Wasserleck im Ablaufbereich eines Flachdachs. (Bilder: FLIR)

lesbaren Flash-Speichern oder digitalen Speicherkarten, wie z. B. SD-Karten.

Zur Kamera gehört eine sogenannte Report-Software, die die Auswertung, Archivierung und Berichtserstellung auf dem PC möglich macht. So kann man direkt einen normgerechten Untersuchungsbericht inklusive zugehöriger Bilder verfassen, ausdrucken oder versenden.

Der Vollständigkeit halber sei am Schluss des Technik-Kapitels noch erwähnt, dass es darüber hinaus auch aktive Thermografiesysteme gibt, die die Messobjekte durch Infrarotbestrahlung „erwärmen“ und deren Reaktion darauf erfassen. Derartige Systeme findet man vor allem in der Materialprüfung.

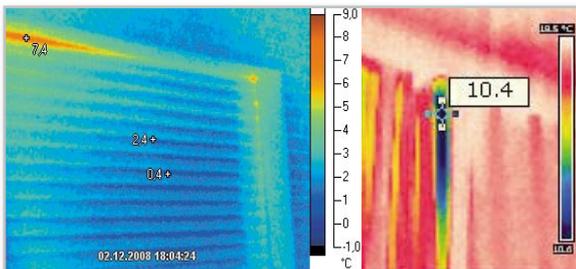


Bild 7: Undichtigkeiten im Bereich Rollladenkasten, links ist die Kastendämmung undicht, rechts das Kälte-Einfallstor Nummer eins im Inneren, die Gurtführung. (Kamera links: FLUKE Ti25, rechts: FLIR i5)

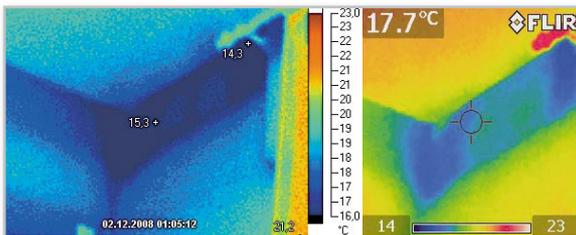


Bild 8: Hier droht demnächst Schimmel – hinter der Tapete durchfeuchtetes Mauerwerk. (Kamera links: FLUKE Ti25, rechts: FLIR i5)

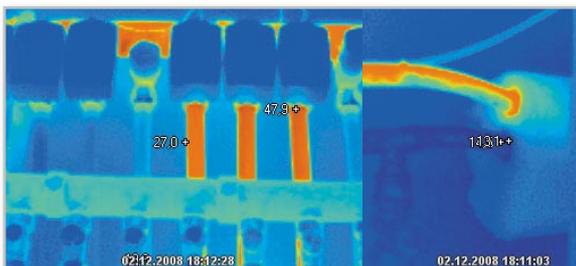


Bild 9: Die Wärmebildkamera ist das ideale Mittel zur Untersuchung und Kontrolle der Heizungsanlage, hier ein Heizungsverteiler mit geöffneten und geschlossenen Heizkreisen und Heizungsrohr mit und ohne Isolierung. (Kamera: FLUKE Ti25)

Anwendungen

Wie aus der Funktionsbeschreibung ersichtlich, ergibt sich durch die verschiedenen Thermografie-Technologien auch ein breites Anwendungsfeld für diese Technik.

Gebäudeuntersuchungen

Die wohl klassische Anwendung ist die im Baubereich. Schon bei der Überwachung der Bauausführung können Mängel frühzeitig erkannt und bereits während der Gewährleistungszeit abgestellt werden. Falsche Bauteile und Ma-

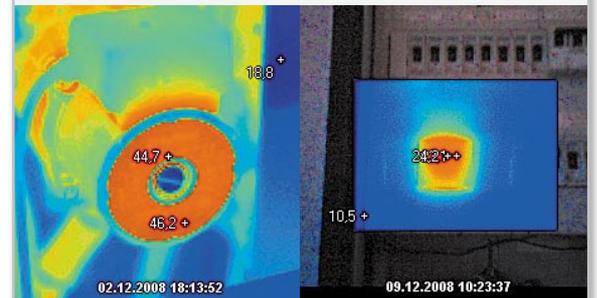
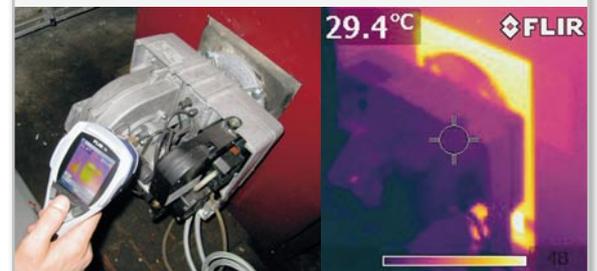
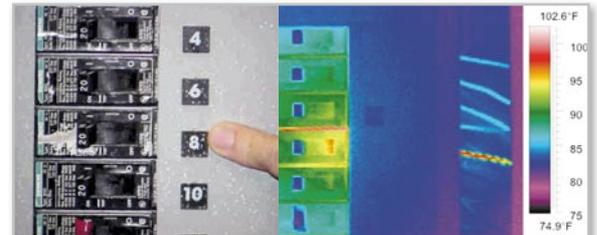


Bild 10: Top geeignet für Fehlersuche und Kontrolle in technischen Anlagen – die oberen drei Beispiele zeigen die FLIR i50 in Aktion, unten FLUKE Ti25.

terialien, mangelhaft ausgeführte Arbeiten, Konstruktionsfehler sind so sehr schnell zu entdecken, wie das Beispiel in Abbildung 4 zeigt.

Im Neubaubereich kann so auch sehr einfach untersucht werden, ob die Bestimmungen im Niedrigenergiehausbau bzw. nach Energiesparverordnung eingehalten werden. So sind Wärmedämmwerte ebenso kontrollierbar wie Luft-Undichtigkeiten, Wärmeverluste (Abbildung 5) und Feuchtigkeit. Der

Einsatz einer Wärmebildkamera ist eigentlich Pflicht für jeden Bauherrn bei der Bauabnahme!

Auch in der Planung von Sanierungen leistet die Wärmebildkamera gute Dienste. Durch die unterschiedlichen Wärmeleiteigenschaften der einzelnen verbauten Materialien kann man z. B. Fachwerk unter Putz, Stahlanker in Stahlbetonbauten, Rohrleitungsverläufe ebenso orten wie Wärmelecks oder eingedrungenes Wasser bzw. Lecks. Auch defekte Dächer, z. B. Flachdächer mit Durchfeuchtungen (Abbildung 6), sind so detailliert und zerstörungsfrei analysierbar, das gilt auch für Straßen und Wege. So kann z. B. der Sanierungsbedarf für die Erneuerung von Fenstern mitsamt ihren Rahmen und Gebäudeanschlüssen oder Rollläden inkl. Wärmedämmung der Wickelkästen (Abbildung 7) anhand der im Wärmebild deutlich sichtbaren Wärmeverluste exakt ermittelt werden.

Einen ganz wesentlichen Einsatz kann die Wärmebildkamera auch in der laufenden Unterhaltung von Gebäuden und ihren technischen Anlagen leisten. Das betrifft den vorbeugenden Brandschutz ebenso wie das Auffinden von Bauwerksteilen mit drohendem Schimmelbefall, von Kältebrücken, Schallbrücken

und Luftundichtigkeiten, Eindringen von Wasser (Feuchteschäden, Abbildung 8), Kontrolle der Heizungs- und Klimaanlage (Abbildung 9), optisch von außen nicht sichtbare Rissbildungen in Mauerwerk, Schornsteinen, Kaminen usw.

Da auch kleine Wärmedämm-Maßnahmen oft große Effekte bringen, lohnt sich die regelmäßige Untersuchung von Fenstern und Fensterrahmen, Türen und Türfugen, um durch geeignete Abdichtmaßnahmen Abhilfe schaffen zu können. Durch das „Setzen“ von Bauwerken über die Jahre entstehen z. B. immer wieder Undichtigkeiten.

Technische Anlagen

Die Temperaturverteilung in technischen Anlagen und Geräten ist nicht nur oft funktionell entscheidend, sie kann auch wertvolle Hinweise über bevorstehende Störungen und Ausfälle geben. Mit der Wärmebildkamera sind überhitzte Bauteile wie etwa Kontakte, Transformatoren, Motoren, elektronische Bauteile exakt ortbar und deren aktuelle Temperaturen einfach mit den Normwerten vergleichbar. Ebenso verhält es sich mit der Funktion von Rohrleitungen, Pumpen, Behältern,

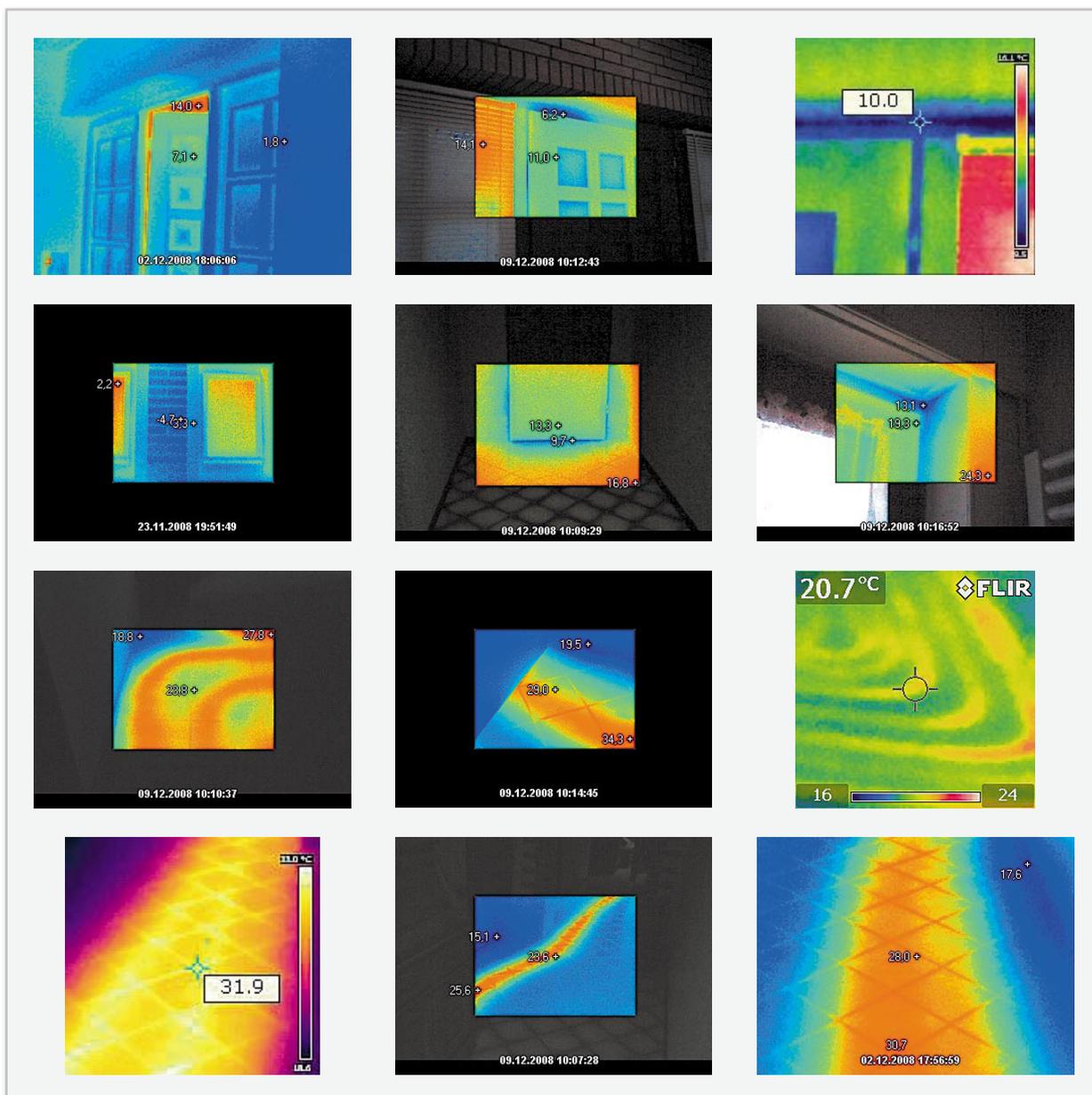


Bild 11: Die Aufnahmen zeigen Beispiele für gute Wärmedämmung, zu sanierende Schadstellen am Bau und im unteren Teil verschiedene Verläufe von Fußbodenheizungen.



Abgasanlagen, Öfen, Kühlanlagen u. v. a. Abbildung 10 zeigt einige typische Beispiele dazu.

Auch Störungen durch mechanische Überhitzungen wie heißgelaufene Bauteile sind so einfach und risikolos erkennbar. Insgesamt leisten Wärmebildkameras hier wertvolle Hilfe bei Inspektionen, Prüfungen, Instandsetzungen. Die Liste der Anwendungen könnte beliebig fortgesetzt werden.

Eine besondere Anwendung macht den Ursprung der Wärmebildkamera, nämlich die Nutzung bei Militär und Polizei, besonders gut sichtbar: BMW setzt eine solche Kamera als Nachtsichtkamera im Pkw-Cockpit ein. Sie erfasst weit voraus die Wärmestrahlung von Menschen und Tieren und bildet diese auf einem Monitor im Cockpit als recht kontrastreiches Graustufenbild ab. So kann man auch bei schlechter Sicht Menschen und Tiere rechtzeitig erkennen.

Entwicklung/Produktion/Service

Schon in der Entwicklung von technischen Produkten, Bauteilen, Materialien usw. ist eine begleitende thermografische Untersuchung wichtig, um später thermische Probleme zu vermeiden, etwa unzulässige Belastungen und Abstrahlungen



Bild 13: Preiswerte, kompakte und leichte Allroundkamera, besonders einfach bedienbar – FLIR i5. (Bilder: FLIR)

Bild 12: Hochwertige Allroundkamera für Bau und technische Anlagen – die FLUKE Ti25 mit Echtbilddarstellung und Bild-im-Bild-System. (Bilder: FLUKE)



Bild 14: Spezialisiert auf alle Aufgaben am Bau – hochwertige Wärmebildkamera FLIR b50 mit Echtbilddarstellung, Bild-im-Bild-System und integrierter Beleuchtung. (Bilder: FLIR)



Bild 15: Der Spezialist für technische Anlagen, die FLIR i50. Ausstattung wie b50. (Bilder: FLIR)

auf andere Bauteile, ungünstige Temperaturverteilungen in Geräten, ungünstige Wärmeleitungen usw.

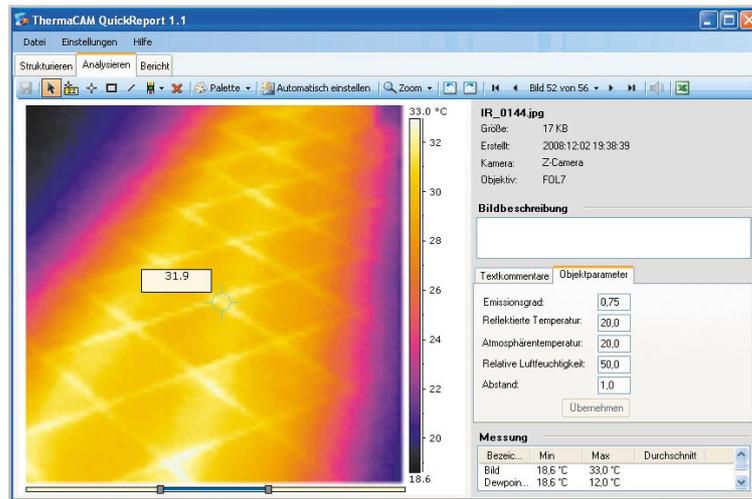
Auch im Testlabor und im Service darf solch ein Messgerät nicht fehlen – so sind Hotspots ebenso überprüfbar wie sich anbahnende Gefahren wegen Überhitzung, Unterdimensionierung, Wärmestau usw.

In der Produktion dient die Thermografie zur Überwachung laufender Prozesse und von Maschinen und Anlagen.

Thermografie privat?

Sieht man in die Preislisten der Hersteller, so sind brauchbare Geräte erst in der Preisklasse ab 2500 Euro zu finden –

Bild 16: Zu jeder Kamera gehört eine Auswertesoftware, die nicht nur eine detaillierte Analyse der Bilder, sondern auch das Verfassen eines Berichts erlaubt. Hier die QuickReport-Software von FLIR.



für die eingesetzte Technologie nicht zu viel, aber eben noch recht teuer. Hochleistungsgeräte überschreiten schnell die 10.000-Euro-Grenze, gekühlte Kameras kosten einige zehntausend Euro.

Dennoch ist der Einsatz sowohl im privaten Bereich als auch z. B. in einer Hausverwaltung oder Gemeinde sinnvoll und sein Geld wert, wie man an den aufgeführten Beispielen sicher gut nachvollziehen kann. Baut man z. B. neu, gehört eine Wärmebildkamera, auch wenn es nur eine „einfache“ ist, einfach zur Bauabnahme, um sofort nicht sichtbare Mängel oder solche „unerklärbarer“ Herkunft orten und belegen zu können. Gutachter, Architekten und Bauingenieure sind oft im Besitz dieser Kameras und setzen sie täglich ein. Sie besitzen auch die nötige Erfahrung, um die Aufnahmen fachlich exakt bewerten zu können.

Es ist aber durchaus nützlich, bei Neubau oder bevorstehender bzw. laufender Sanierung selbst zur Wärmebildkamera zu greifen und eine eigene detaillierte Analyse zu bestimmten Maßnahmen durchzuführen. Faktisch alle Hersteller der Kameras liefern genügend begleitende Informationen mit, oft sogar in kompletten Lehrgängen per DVD oder Internet, um Interessierten die fachliche Beurteilung und den Umgang mit diesen Geräten leicht zu machen.

Man muss die trotzdem recht teure Kamera ja nicht unbedingt kaufen, sowohl einige Hersteller selbst als auch die Händler bieten Leasing- und Leihservices. So kann man sich für relativ wenig Geld eine Kamera leihen und in Ruhe sein Haus bzw. die Baustelle untersuchen, die Ergebnisse auf dem eigenen PC dokumentieren und archivieren. Solche Bilder sind ein starkes Argument gegen pfuschende, unfähige und unwillige Bauausführende, die gern ihre Kunden als echte fachliche Laien behandeln und sie auf mitunter immensen Schäden sitzen lassen. Falsche Dämmungen, falsch eingebaute Türen und Fenster, falsche Materialien, falsch ausgebildete Mauer- und Dachanschlüsse, Wasser im Bau und eine Vielzahl anderer einschlägiger Mängel sind hier perfekt nachweisbar.

Ebenso kann man in Ruhe im bestehenden Bau untersuchen, ob Fenster, Rollladenkästen, Türdichtungen, Dach usw. noch dicht sind oder zu viel Wärme herauslassen. Der Verlauf von Fußbodenheizungen ist genauso sichtbar zu machen wie Störungen in der Heizungsanlage. Abbildung 11 zeigt eine Zusammenstellung von Aufnahmen hierzu.

Einfach zu handhaben

Wir haben einige aktuelle tragbare Kameras der Firmen FLUKE und FLIR einem kurzen Test unterzogen, vor allem, um uns zu überzeugen, ob die Geräte heute wirklich ohne große Vorkenntnisse bedient werden können.

Gegenüber früheren Generationen bieten die Kameras höhere Auflösungen und vor allem eine bessere Ausstattung und einfachere Bedienung. Die Geräte sind selbstkalibrierend und sehr einfach über wenige Tasten und Bildschirmen zu bedienen, die Menüs sind ohne jeden Schnickschnack, wir benötigten kaum einen Blick in die Manuals.

Besonders praktisch ist die laufende Anzeige des wärmsten und kältesten Punkts im Bild, einige Modelle bieten sogar Taupunkt- und Wärmedämmungsalarm durch direkte Temperaturvergleiche im Bild. Auch die Auswahl der Anzeigefarbskala entsprechend dem zu untersuchenden Objekt ist ungemein praktisch.

Alle Modelle speichern die Daten auf handelsübliche Speicherkarten, die von jedem Kartenleser am PC leicht auszulesen sind. Einige Kameras verfügen darüber hinaus über USB-Ports zum direkten Auslesen.

Fortschrittliche Lithium-Akkus sorgen für lange Betriebszeiten, sie sind in den Geräten einfach nachladbar.

Die Abbildungen 12 bis 15 zeigen einige Geräte und ihre Anwendungsbereiche.

Zu allen Geräten gehört eine Dokumentationssoftware, die die nachträgliche Auswertung und Dokumentierung einfach macht (Abbildung 16). Dabei sind z. B. alle Bereiche der abgespeicherten Bilder genau auf ihre Temperaturen untersuchbar, man kann sehr einfach Berichte mit allen Randbedingungen erfassen usw.

Insgesamt muss man selbst als privater Anwender oder Gelegenheits-Benutzer keine Angst vor diesen hochkomplexen Kameras haben, sie sind kinderleicht einsetzbar. **ELV**

Weitere Informationen unter:

www.fluke.de

www.flir.com/de

Mieterservice bei ELV:

www.waermebildkamera.elv.de