

PCE, Collage: Behaneck

THERMOGRAMME sehen nicht nur aus wie Pop-Art-Gemälde – sie sind mittlerweile fast ebenso populär

Mehr als bunte Bilder

Bauthermografie braucht Fachleute – was Kameras können und Thermografen wissen sollten

Thermografie-Kameras entwickeln sich langsam aber sicher zum Standard in den Ingenieurbüros. Doch diese Messtechnik erfordert Expertenwissen. Was muss die Kamera, was muss der Thermograf können? Welche Fehlerquellen lauern bei Aufnahme und Interpretation? Was sollte ein Thermografie-Bericht enthalten?

Marian Behaneck

Thermogramme sehen nicht nur so aus wie Pop-Art-Gemälde – sie sind mittlerweile auch fast ebenso populär. Mit der Infrarotkamera aufgenommene Wärmebilder sind zu einem Synonym für energiesparendes Bauen und Sanieren geworden. Wärmebrücken in den Heizkörpernischen, im Sockel- oder Geschossdecken, potenzielle Schimmelstellen in den Raumecken oder an Fensterlaibungen, Luftundichtigkeiten an Rollladenkästen oder im Dachbereich decken Thermografen schonungslos auf. Doch besondere Baukonstruktionen, Materialien, Umwelt- oder andere Randbedingungen können eine korrekte Messung vereiteln und das Messergeb-

nis verfälschen, weshalb die Aufnahme und Interpretation von Thermogrammen Expertenwissen voraussetzt. Andernfalls kann man schnell die falschen Schlüsse ziehen...

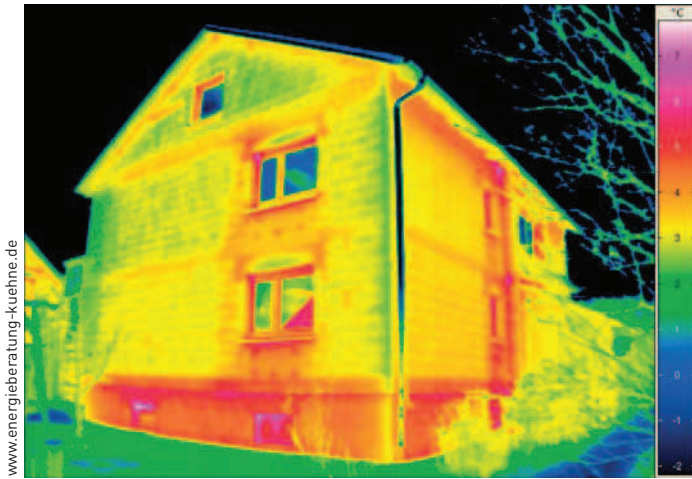
Welche Einflussfaktoren gibt es?

Mehrere Faktoren spielen bei thermografischen Aufnahmen eine Rolle: die Randbedingungen, die Kamera, das Messpersonal, das Messobjekt, die Aufnahme, deren Auswertung und Interpretation ...

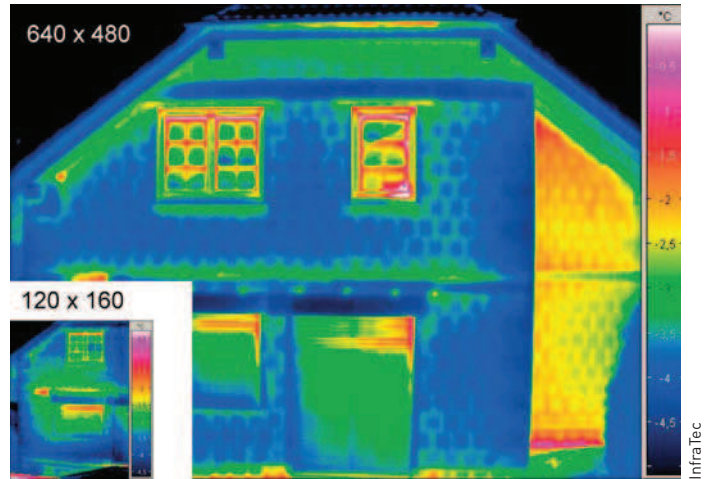
Randbedingungen: Zu den Grundvoraussetzungen korrekter bauthermografischer Aufnahmen zählt eine Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen von mindestens

15 Kelvin über einen Zeitraum von wenigstens 24 Stunden. Der Messzeitpunkt sollte so gewählt werden, dass eine vorhergehende Sonneneinstrahlung auf das Messobjekt keinen Einfluss mehr auf das Messergebnis hat. Thermografen sollten folglich weder zu den Winter- noch zu den Morgenmuffeln gehören, denn bauthermografische Untersuchungen werden am besten bei dicht bewölktem Himmel in den Wintermonaten November bis März und zu später Abend- oder in früher Morgenstunde durchgeführt. Alle Räume des Gebäudes sollten, je nach Bauart und Messaufgabe, über mehrere Stunden gleichmäßig beheizt werden, um möglichst homogene Messbedingungen zu schaffen. Die Messung sollte ferner nicht durch Umwelteinflüsse wie Wind (Windgeschwindigkeit ab ca. zwei Meter pro Sekunde), Regen, Schnee, Nebel etc. beeinträchtigt werden. In der Praxis kann man nicht immer optimale Umgebungsbedingungen abwarten. Sollten die Messaufgabe, Termine oder andere Umstände es erfordern, von obigen Regeln teilweise abzuweichen, muss dies im Messprotokoll dokumentiert und bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Thermografiekamera: Das richtige Werkzeug ist auch bei der Bauthermografie Voraussetzung für gute Ergebnisse (siehe DIB 5/08, Seite 40 bis 45 und DIB 6/08, Seite 44). Die Thermografiekamera sollte zunächst für



AUSSEN THERMOGRAFIEN sollten, auch mit einer extrem guten Kamera, stets nur für eine erste Einschätzung genutzt werden



GUTE ERGEBNISSE setzen gute Werkzeuge voraus – Vergleich unterschiedlicher Kameraqualitäten

Gebäudeanalysen geeignet sein, das heißt, über einen Temperaturmessbereich zwischen minus zwanzig und plus 120 Grad Celsius sowie einen Spektralbereich von 8 bis 14 μm verfügen. Der Detektor sollte mindestens eine Bildauflösung von 320 x 240 Bildpunkten haben. Die thermische Auflösung (NETD) sollte mindestens 0,1 Kelvin (bei 30 Grad Celsius) betragen, bei einer Messgenauigkeit von plusminus zwei Prozent. NETD-Werte von 0,06 Kelvin und weniger ermöglichen präzisere Messergebnisse. Auch die geometrische Auflösung (IFOV) entscheidet über die Bildqualität – sie sollte kleiner als $3,3 \text{ mrad}$ sein. Der IFOV-Wert ist allerdings abhängig vom aktuell eingesetzten Objektiv, das aufgabenbezogen durch ein Weitwinkel- oder Teleobjektiv austauschbar sein sollte. Bei einer optischen Vergrößerung des Bildfeldes (zum Beispiel durch einen Weitwinkelvorsatz) verringert sich die geo-

metrische Auflösung. Zu den Kamera-Einstellmöglichkeiten sollten mindestens der Emissionsgrad (materialspezifischer Wärmeabstrahl-Kennwert des Messobjekts) sowie die reflektierte Temperatur gehören.

Messpersonal: Über die Qualität der Thermogramme entscheidet nicht nur die Kamera, sondern auch, wer sie bedient. Über die technische Bedienung hinaus muss die Messperson mögliche Fehlerquellen und Grenzen der Thermografie kennen sowie die Messergebnisse korrekt interpretieren. Das setzt sowohl bei der Aufnahme als auch bei der Auswertung Kenntnisse aus den Bereichen Optik, Wärmestrahlung, Wärmeleitung, Messtechnik, Materialkunde, Baukonstruktion und nicht zuletzt der Bauphysik voraus. Personen, die beauftragte Messungen und Auswertungen ohne Aufsicht durchführen, müssen zudem nach DIN 54162 / DIN EN 473 in den Stufen 2 oder 3 zertifiziert sein.

Dazu sind entsprechende Schulungen und Zertifizierungsprüfungen Voraussetzung (siehe auch www.vath.de – Zertifizierung).

Messobjekt: Kenntnisse über verwendete Materialien und den konstruktiven Aufbau des jeweiligen Messobjekt sind unverzichtbar, denn sie helfen bei der Deutung thermischer Auffälligkeiten. Verfügt ein Gebäude etwa über eine Vorhangfassade, Holz-Vorsatzschale, ein zweischaliges Mauerwerk oder über einen hinterlüfteten Dachaufbau, sind von Außen keine thermografischen Analysen möglich, weil die Hinterlüftung mit Kaltluft einen konstanten Wärmetransport nach außen unterbindet. Auch die Gebäudeausrichtung, die Hauptwindrichtung, die umgebende Bebauung oder das Nutzungsprofil können bei der Bewertung und Interpretation hilfreich sein. Es ist deshalb sehr nützlich, wenn der Eigentümer/Mieter oder Planer bei der Messung/Auswertung dabei

◀ MINDESTENS ebenso wichtig wie die IR-Kamera ist ...

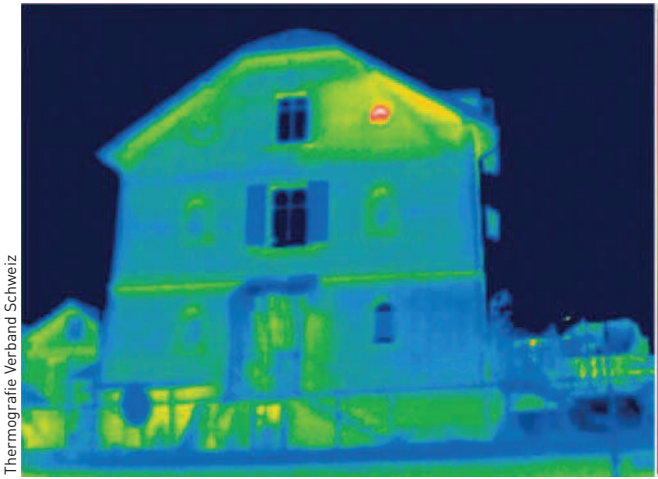
... DER THERMOGRAF, der nach DIN 54162/DIN EN 473, der Stufen 2 oder 3 zertifiziert sein sollte



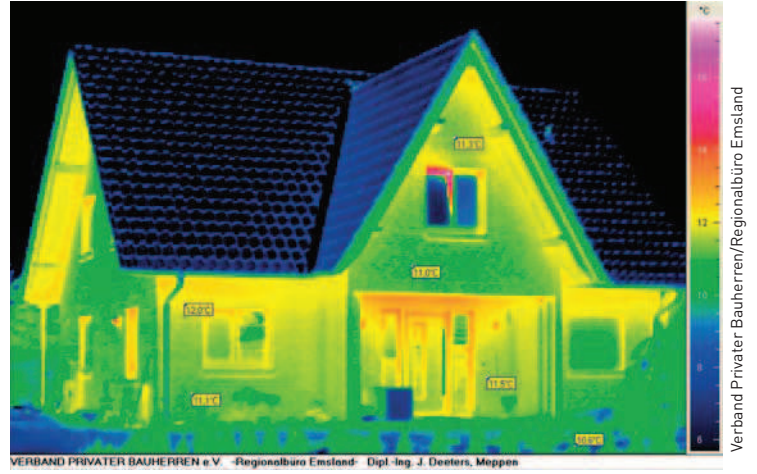
InfraTec, Flir, Testo, Testboy



Stadtwerte Bochum0



UNGLEICHMÄSSIG beheizte Räume können zu Fehlschlüssen führen



KANN EBENFALLS zu Fehlinterpertationen verleiten: „Normaler“ Wärmestau an einem gut gedämmten Neubau unter Gebäudevorsprüngen, Dachüberständen, in Laibungen etc.

ist oder zumindest für Fragen zur Verfügung steht und ferner aktuelle Bestandsgrundrisse, Schnitte, Detailpläne und Baubeschreibungen eingesehen und gegebenenfalls für eine Verwendung im Thermografie-Bericht kopiert/gescannt werden können.

Aufnahme: Um ein Gebäude thermografisch erfassen zu können, ist meist eine Kombination aus Außen- und Innenthermogrammen erforderlich. Während Außenaufnahmen eher eine erste Orientierung und Einschätzung ermöglichen, lassen sich viele bauphysikalische Probleme nur durch eine Innenthermografie aufdecken. Liefern hinterlüftete Fassaden- oder Dachkonstruktionen keine zuverlässigen Temperaturwerte, muss man sich fast vollständig auf Innenaufnahmen verlassen. Möglichen Fehlerquel-

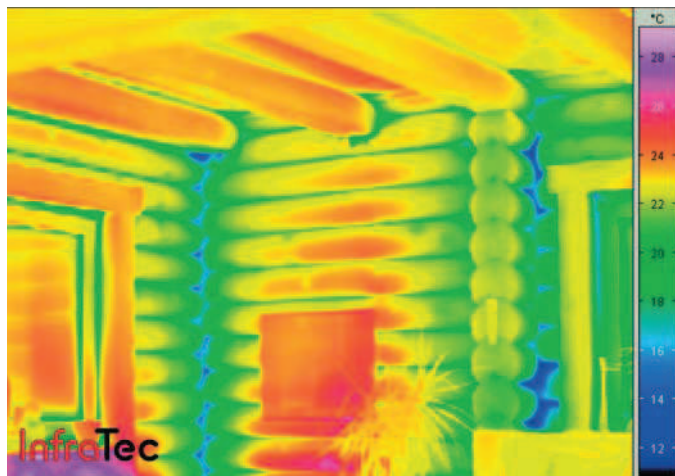
len kann nur durch die genaue Kenntnis des baukonstruktiven Objektaufbaus vorgebeugt werden, ebenso wie bauliche Besonderheiten (siehe auch „Thermografie-Tipps“). Bestimmte bauliche Unzulänglichkeiten wie etwa Luftundichtigkeiten der Dachkonstruktion, von Fassaden-, Fenster- oder Türkonstruktionen, Durchdringungen, Anschluss- und Eckdetails lassen sich am besten mit einer kombinierten Differenzdruck- (Blower-Door) und Thermografie-Messung lokalisieren. Auch eine Leckageortung bei Dampfbremsen und Sperrschichten sowie eine genaue Ortung und Eingrenzung notwendiger Sanierungsmaßnahmen beschleunigt der gemeinsame Einsatz dieser Messwerkzeuge. Ganz wichtig sind auch die Fokussierung und der Bildausschnitt. Zwar lassen sich

bei Thermogrammen falsche oder ungünstige Kameraeinstellungen per Software bis zu einem gewissen Grad nachträglich ausbügeln. Nicht korrigiert werden können aber eine mangelnde Fokussierung, der Bildausschnitt sowie die Messung verfälschende Randbedingungen (s.o.). Zu jeder Thermografie-Aufnahme sollte parallel auch ein Digitalkamera-Foto (Lichtbild) angefertigt werden, um später bei der Auswertung der Thermogramme lokalisierte Schwachstellen und Leckagen einfacher zuordnen zu können. Sinnvoller, als die in der Regel integrierte Digitalfoto-Funktion ist eine separate Digitalkamera ab fünf Megapixel Bildauflösung. Sie ermöglichen das Heranzoomen von Details (Rissen, Schimmel etc.), was im Rahmen der Interpretation weitere Rückschlüsse ermöglicht. Als Zeitaufwand müssen für eine fachgerechte thermografische Untersuchung eines durchschnittlichen Einfamilienhauses mindestens zwei Stunden vor Ort und weitere sechs bis acht Stunden für die Auswertung und Berichterstellung im Büro einkalkuliert werden.

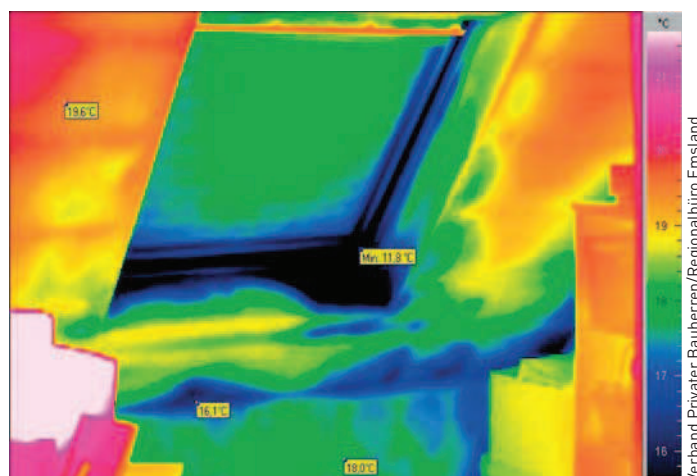
Auswertung: Schon während der Messung sollten Thermogramme vorab begutachtet werden, um einen ersten Eindruck vom Messobjekt zu erhalten, für Plausibilitätsprüfungen etc. Für diese erste Vor-Ort-Auswertung halten aktuelle Kameras zahlreiche Funktionen vor, mit denen sowohl das aktuelle als auch alle bereits aufgenommenen und im Bildspeicher befindlichen Thermografiebilder vorab ausgewertet werden können. Zu den geräteabhängigen Auswertefunktionen zählen die Anzeige der Temperaturskalierung, die Position und den Wert der Min-/Max-Temperatur, wahlweise die Cursor-/Multipunkt-/Multigebietstemperatur, eine Isothermendarstellung und andere. Die eigentliche Auswertung mit Hilfe der zum Lieferumfang gehörenden Auswer-

Thermografie-Tipps

- Ohne ausreichende Temperaturdifferenz keine Messung; Ist der Unterschied zwischen Innen und Außen ausreichend (mehr als 15 Kelvin)?
- Sonne kann Fassaden aufheizen und Temperaturverhältnisse verfälschen, daher am besten in den Morgenstunden messen.
- Unterschiedliche Raumtemperaturen können zu Fehlschlüssen führen, daher in der Regel alle Räume gleichmäßig temperieren.
- Fenster sollten geschlossen bleiben, da entweichende Wärme die Messung benachbarter/darüber liegender Bereiche verfälschen kann.
- Rollläden sollten teilweise geschlossen und geöffnet sein, um den Wärmedämmeffekt geschlossener Rollläden beurteilen zu können.
- Gebäudevorsprünge wie Balkone, Laibungen, Dachüberstände etc. beeinflussen das Wärmeabstrahlverhalten.
- Nur extrem große Wärmeverluste sind bei hinterlüfteten Fassaden, Dächern etc. erkennbar. Auch deshalb parallel auch ...
- ... stets Außen- und Innenaufnahmen anfertigen, um mögliche Fehlerquellen und Interpretationsfehler zu vermeiden.
- Luftundichtigkeiten lassen sich am besten mit einer kombinierten Differenzdruck- und Thermografie-Messung lokalisieren.
- Gläser und Metalle spiegeln die Temperaturverteilung der Umgebung wider, was zu Fehlinterpertationen führen kann.
- Aufgabenbezogen sollten weitere Messverfahren herangezogen werden (Luft-/Bauteilfeuchte, Luftgeschwindigkeit etc.)



UNDICHTIGKEITEN im Innenbereich (eines Holzblockhauses) machen kombinierte Messungen (Blower-Door + Thermografie) sichtbar ...



... DESHALB MÜSSEN (nicht nur im Dachbereich) Außen- durch Innenthermografien ergänzt werden

tesoftware oder einer optionalen, speziell für die Gebäudeanalyse konzipierten Software erfolgt im Büro. Die Auswertesoftware kann Thermogramme am PC-Monitor anzeigen, modifizieren, optimieren, organisieren, analysieren, Digitalfotos gegenüberstellen bzw. mit diesen überlagern und zu einem nachvollziehbaren Thermografie-Bericht zusammenstellen (siehe auch DIB 1-2/10, Seiten 39 bis 43).

Interpretation: Sie ist wohl der heikelste Teil der Bauthermografie, da sie viel Erfahrung und eine Verknüpfung des Know-hows aller unter *Messpersonal* genannten Disziplinen erfordert. Thermogramme liefern nur jeweils eine Momentaufnahme der Oberflächentemperaturverteilung eines Gebäudes, die von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren beeinflusst wird. So kann das Thermogramm einer scheinbar schlecht gedämmten Außenfassade sich bei näherer Betrachtung der äußeren Umstände schnell als eine Momentaufnahme einer von der Sonne aufgeheizten Südfassade erweisen... In jedem Fall sollten zur Interpretation alle verfügbaren Informationen wie Baupläne und Baubeschreibungen, Digitalfotos, aber auch die Gebäudeausrichtung, Sonneneinstrahlung, Hauptwindrichtung, die umgebende Bebauung, das Nutzungsprofil und andere Faktoren berücksichtigt werden. In kniffligen Fällen ist nicht selten geradezu kriminalistischer Spürsinn erforderlich und selbst Profis können danebenliegen, wenn nicht alle relevanten Eckdaten bekannt sind, respektive nicht adäquat berücksichtigt werden. Erst nach einer gründlichen Analyse aller Messergebnisse, der bauphysikalischen Verhältnisse und der Gebäudekonstruktion sollten Vorschläge zur Problembeseitigung gemacht und für das jeweilige Gebäude sinnvolle Energiesparmaßnahmen beschlossen werden. Eine Übersicht aller Einflussfaktoren

und weitere Informationen enthält die Richtlinie zur Bauthermografie des Bundesverbandes für angewandte Thermografie (kurz: VATh, PDF-Download unter www.vath.de, Rubrik → Regelwerke, → Richtlinien). Praktische Mess- und Analysebeispiele enthalten die nebenan angegebenen Literaturhinweise.

Das sollte ein Thermografie-Bericht enthalten

Ein Thermografie-Bericht macht Messungen, deren Auswertung und Interpretationen transparent, nachvollziehbar und für

Laien verständlich. Damit erhält der Kunde aussagekräftige Unterlagen über den energetischen und bauphysikalischen Zustand seines Hauses. Grundsätzlich hängen Struktur, Inhalt und Umfang eines Thermografie-Berichts von der konkreten Aufgabe ab. Folgende Informationen sollte ein Thermografiebericht aber in jedem Fall enthalten: die Aufgabenstellung, den Auftraggeber/nehmer und die Teilnehmer, ferner Klimadaten (Innen-/Außentemperatur, Wetter, Sonneneinstrahlung, Wind etc.), Objektdaten (Adresse, Gebäudetyp, einen Lageplan mit Himmelsrichtung, die Konstruktions-

Weitere Informationen, Adressen, Anbieter

Das Deutsche Ingenieurblatt unterstützt Sie bei Ihrer Online-Recherche: Diese Info- und Anbieterübersicht finden Sie noch einmal, inklusive einer direkten Verlinkung der aufgelisteten Adressen und einer textlich vorbereiteten E-Mail für Ihre Online-Anfrage, unter www.deutsches-ingenieurblatt.de, Suchwort: Bauthermografie.



Weitere Infos im Web*

www.bauthermografie-luftdichtheit.de
www.luftdicht.de
www.thech.ch
www.thermografie.co.at
www.thermografie.de
www.vath.de

Dienstleister mit vielen Beispielen
 Blower-Door + Thermografie etc.
 Thermografie Verband Schweiz
 Österr. Gesellschaft für Thermografie
 Dienstleister mit vielen Beispielen
 Bundesverband für angew. Thermografie

Literatur/Quellen*

- DIN EN 13187:1999-05: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Nachweis von Wärmebrücken in Gebäudehüllen – Infrarot-Verfahren, Beuth 1999
- DIN 54162 / DIN EN 473: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal für die thermografische Prüfung - Allgemeine und spezielle Grundlagen für Stufe 1, 2 und 3, Beuth 2006
- Fouad, N.A./Richter T.: Leitfaden Thermografie im Bauwesen, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2009
- Tanner, C.: Baudokumentation – Infrarotaufnahmen von Gebäuden, Thermografie Verband Schweiz, Neuhausen 2009
- Wagner, H.: Thermografie – Sicher einsetzen bei der Energieberatung, Bauüberwachung und Schadensanalyse, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 2011

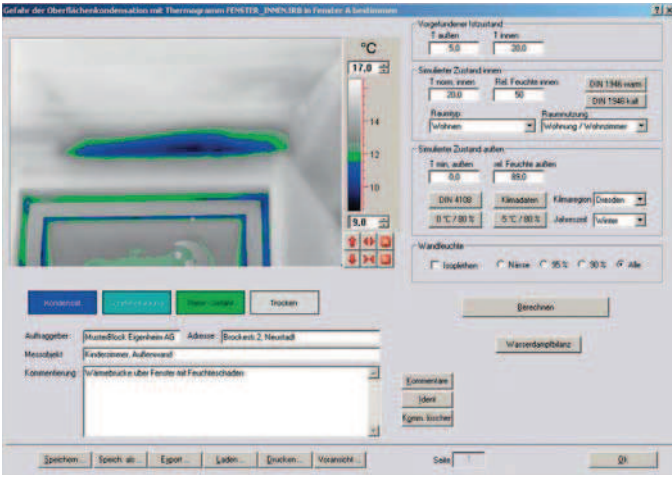
Kamera- und Schulungs-Anbieter*

www.dias-infrared.de
www.irpod.net
www.flir.de
www.fluke.de
www.goratec.com
www.icodata.de

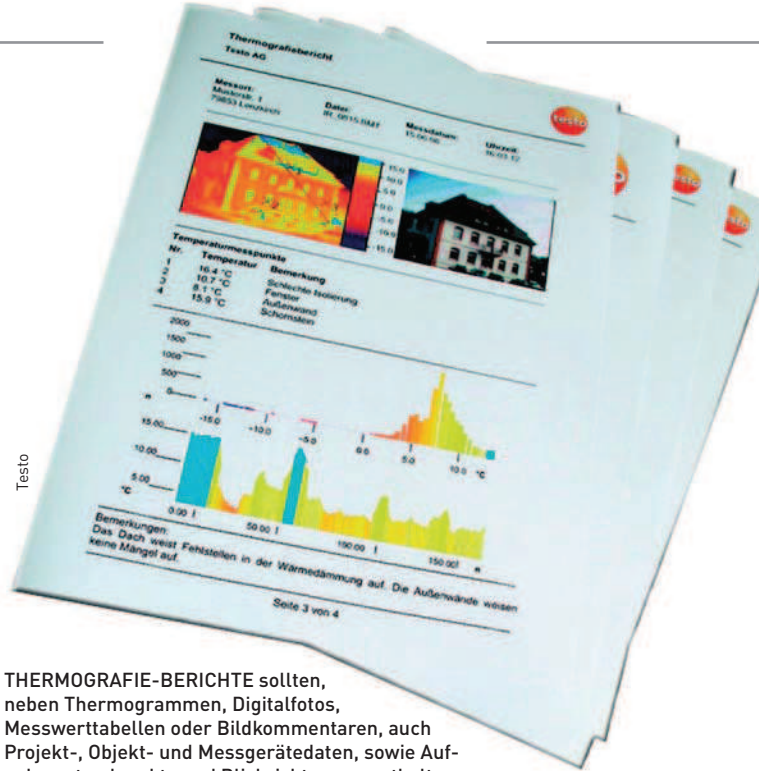
www.infratec.de
www.warensortiment.de
www.testboy.de
www.testo.de
www.trotec.de

* Auswahl, ohne Anspruch auf Vollständigkeit

InfraTec



IM LIEFERUMFANG enthaltene oder optionale, speziell für die Gebäudeanalyse konzipierte Auswertungssoftware rationalisiert das Erstellen von Thermografie-Berichten



THERMOGRAFIE-BERICHTE sollten, neben Thermogrammen, Digitalfotos, Messwerttabellen oder Bildkommentaren, auch Projekt-, Objekt- und Messgerätedaten, sowie Aufnahmezeitpunkte und Blickrichtungen enthalten

weise und Materialien der Gebäudehülle, das Gebäudealter, gegebenenfalls durchgeführte Renovierungsarbeiten, Heizsystem), Messgeräte-Daten (Hersteller, Gerätemodell, Serien-Nummer, ferner: wichtige IR-Kameradaten), Bildinformationen zu jedem Thermogramm (Datum und Aufnahmezeit, Farbpalette mit Temperaturskala, Emissionsgrad, die reflektierte Temperatur, Objektentfernung etc. Zur besseren Orientierung sinnvoll ist insbesondere bei zahlreichen Aufnahmen ein im Grundriss eingetragener Aufnahmezeitpunkt mit Blickrichtung. Jedes Thermogramm sollte ferner durch ein entsprechendes Digitalkamera-Foto ergänzt werden. Wesentlich ist natürlich eine

Auswertung der Thermogramme mit individueller Erläuterung und Bewertung. Bei Problembereichen (Wärmebrücken, feuchten Stellen etc.) sollten passende Vorschläge zu deren Beseitigung enthalten sein. Eine auf die konkrete Aufgabenstellung bezogene Schlussfolgerung und Zusammenfassung sollte den Thermografie-Bericht abschließen. Bei längeren Berichten ist ein Inhalts- und Stichwortverzeichnis sinnvoll.

Fazit: Thermografie ist wichtig, aber nicht alles!

Die Thermografie ist in der Bauwerksdiagnose, für die Qualitätskontrolle und in vielen

anderen Bereichen inzwischen unverzichtbar.

Die zerstörungsfreie Messung hilft, Energie zu sparen und Sachwerte zu erhalten. Ohne das Wissen und das Know-how des Fachmanns können Thermogramme allerdings schnell zu Fehlschlüssen verleiten. Für bestimmte Messaufgaben reichen Thermogramme zudem nicht aus.

Deshalb sollten in Zweifelsfällen stets ergänzende Messverfahren hinzugezogen werden, um thermografische Messungen überprüfen und reproduzieren zu können – etwa Messgeräte zur Bestimmung der Luft- und Bauteilfeuchte, der Luftgeschwindigkeit, Datenlogger etc.