

Untersuchungen von Gebäudehüllen mit Hilfe der Infrarot-Thermographie

Autor(en): **Beyer, Rolf**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **12 (1984)**

PDF erstellt am: **15.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-12172>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Untersuchungen von Gebäudehüllen mit Hilfe der Infrarot-Thermographie

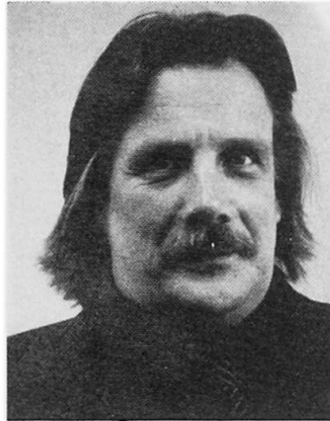
Checking the Thermal Insulation of Buildings by Means of Infrared Thermography

Contrôle des façades au moyen de la thermographie infrarouge

Rolf BEYER

Dipl.-Ing.
Consult. Eng.

Düsseldorf, Bundesrep. Deutschland



Rolf Beyer, geboren 1943. Studium FH Wuppertal und Ruhr Universität Bochum. Seit 1976 als Beratender Ingenieur selbständig. Lehrbeauftragter der Universität Gesamthochschule Wuppertal. 1978/79 Gründung und Partner der Gesellschaft für Sondermessungen GSI mbH, Düsseldorf und der Beyer-Hartmann-Ing.-Sozietät. Beschäftigungsgebiet: Statik, Konstruktion, Energieeinsparung, Thermographie.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine weltweite Verknappung und ständige Verteuerung der Primärenergie führt zu höheren Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden. Eine wichtige Möglichkeit, die Wärmedämmung von Gebäudehüllen zu überprüfen und Schwachstellen sichtbar zu machen, ergibt sich mit Hilfe der Infrarot-Thermographie. Die IR-Thermographie ist ein berührungsloses Messverfahren im Infrarotbereich des elektromagnetischen Wellenspektrums. Es dient zur Auffindung von Wärmeverlusten in Form von thermischen Schwachstellen, Wärmebrücken und anderen wärmetechnischen Leckagen.

SUMMARY

The worldwide shortage and constantly rising cost of primary energy are leading to higher standards in the thermal insulation of buildings. An important method of checking the thermal insulation of buildings and exposing weak points is provided by the use of infrared thermography. IR thermography is a no-contact measurement process in the infrared range of the electromagnetic wave spectrum. It is used for locating heat losses in the form of thermal weak spots, thermal bridges and other thermal leaks.

RESUME

Une pénurie mondiale et une augmentation permanente du coût de l'énergie primaire conduisent à de plus grandes exigences pour la protection des bâtiments contre les pertes de chaleur. Le contrôle de l'isolation thermique des façades et la mise en évidence de points faibles peut être réalisé par la thermographie infrarouge. Cette dernière représente un procédé de mesure sans contact, dans la gamme infrarouge du spectre des ondes électromagnétiques; elle sert à détecter les pertes de chaleur sous la forme de "points faibles" thermiques, de ponts de chaleur ou d'autres fuites thermo-techniques.



1. EINLEITUNG

Durch die weltweite Verknappung und ständige Verteuerung der Primärenergie werden in vielen Staaten der nördlichen Halbkugel höhere Anforderungen an den Wärme- und Feuchtigkeitsschutz von Gebäuden gestellt. In der Bundesrepublik Deutschland ist seit dem 1.1.1984 eine neue, verschärfte Wärmeschutzverordnung in Kraft getreten. Diese Neufassung der Wärmeschutzverordnung soll die mittleren, rechnerischen Transmissionswärmeverluste, ausgedrückt durch k-Werte, weiter bis etwa 20 - 25 % gegenüber dem Anforderungsniveau des Jahres 1977 absenken. In der neuen Wärmeschutzverordnung werden nun auch erstmalig bei baulichen Änderungen an bestehenden Gebäuden Anforderungen an den Wärmeschutz gestellt. Energieeinsparung in Wohn- und sonstigen Gebäuden ist aber nur durch die Summe vieler, aufeinander abgestimmter Maßnahmen und vor allen Dingen durch deren Kontrolle möglich.

Eine wichtige Möglichkeit, die Wärmedämmung der Gebäudehüllen zu überprüfen, zu dokumentieren und zu beurteilen, ergibt sich mit Hilfe der Infrarot-Thermographie. Die Thermographie ist ein berührungsloses Meßverfahren im Infrarotbereich zur flächendeckenden Ermittlung von Oberflächentemperaturen und zur Auffindung von Wärmeverlusten in Form von Wärmebrücken, Undichtigkeiten und thermischen Schwachstellen.

Diese Vorteile lassen sich zur wärmetechnischen Beurteilung von Gebäudehüllen gut anwenden. Bauphysikalische Mängel, Planungsfehler und mangelhafte Ausführung sind mit dieser Methode in der Heizperiode zu erkennen. Durch rechtzeitiges Aufdecken dieser Mängel können so dauerhafte Schäden an den Gebäudehüllen vermieden werden. Die Oberflächentemperaturen eines Gebäudes sind von einer Reihe von Einflüssen abhängig, die bei thermographischen Bewertungen von Gebäuden zu berücksichtigen sind. Bei sorgfältiger Beachtung der Randbedingungen, auf die in Abschnitt 4 noch eingegangen wird, sind je nach Aufwand qualitative und auch quantitative Aussagen über den aktuellen thermischen Zustand der Gebäudehülle möglich. Mit dieser Methode wird damit ein Beitrag geleistet, die thermische Qualität von Gebäuden zu erhöhen und zu verbessern. Auch hier ist, wie in anderen Fachbereichen, neben einer entsprechenden Gerätekonfiguration auch entsprechendes Fachpersonal erforderlich. Darüber hinaus sind ausreichende bauphysikalische Kenntnisse wichtig, um die Meßergebnisse zu interpretieren und Vorschläge für eventuelle Verbesserungen und Sanierungsmaßnahmen zu unterbreiten.

2. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Das menschliche Auge nimmt elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,4 - 0,8 μm in Form von sichtbarem Licht wahr. Das Sonnenlicht enthält neben dem sichtbaren Licht auch ultraviolette und infrarote Strahlung. Das sichtbare Licht und die Infrarotstrahlung sind ebenso elektromagnetische Wellen wie Röntgen- und Gammastrahlen oder Rundfunk- und Fernsehwellen. Alle elektromagnetischen Wellen unterliegen den gleichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Sie unterscheiden sich nur in ihrer Wellenlänge und Frequenz. Eine Übersicht des elektromagnetischen Spektrums zeigt Bild 1. Der Mensch kann die Infrarotstrahlung, die ständig auf uns einwirkt, zwar nicht sehen, bei starker Intensität aber auf der Haut spüren. Die Infrarotstrahlung ist ein wichtiger Informationsträger über den augenblicklichen physikalischen Zustand und die chemische Zusammensetzung der uns umgebenden Körper. Auch die Menschen selbst sind Temperaturstrahler. Entdeckt wurde der infrarote Strahlungsanteil im elektromagnetischen Spektrum der Sonnenstrahlung durch den Engländer, Sir William Herschel. Jeder Körper mit einer größeren Temperatur T als 0 K besitzt thermische Energie. Die Energie wird nach bestimmten physikalischen Gesetzen abgestrahlt, und zwar im langwelligen Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Nach dem von Max Planck formulierten Strahlungsgesetz ist die spektrale Strahlungsdichte einer von einem schwarzen Körper ausgehenden Strahlung direkt abhängig von der Wellenlänge und dessen absoluter Temperatur. Die materielle Beschaffenheit des Körpers spielt dabei aber keine Rolle.

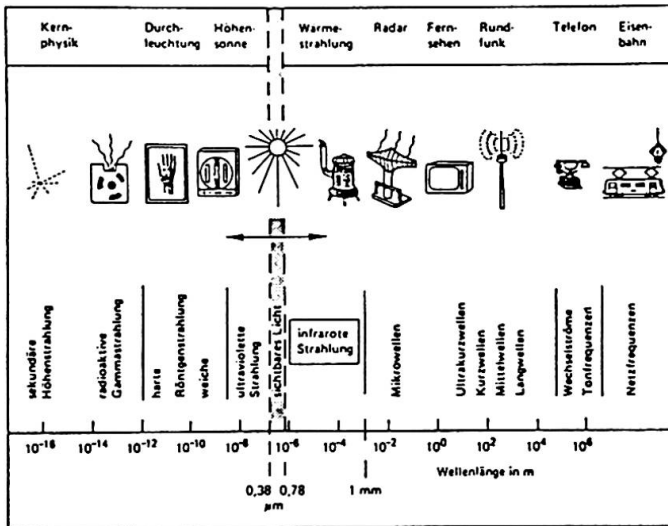


Fig. 1 Elektromagnetisches Wellenspektrum [1]

In Abhängigkeit von der Temperatur hat die Wärmestrahlung eine sehr unterschiedliche spektrale Zusammensetzung. Je höher die Temperatur ist, desto größer ist der Strahlenanteil im Bereich des sichtbaren Lichtes. Auch das Maximum der spektralen Strahlungsdichte verschiebt sich zu kurzen Wellenlängen. Mit guter Näherung beschreibt das Wiensche Verschiebungsgesetz diesen Zusammenhang.

$$\lambda = \frac{2900}{T} \text{ [} \mu\text{m} \text{]}, \quad (1)$$

mit T in K.

Fig. 2 zeigt die spektrale spezifische Abstrahlung eines absolut schwarzen Körpers.

Der für die Infrarotthermographie von Gebäudehüllen interessante Bereich ist die Fläche unterhalb der 300 K-Kurve, was in etwa der Umgebungstemperatur entspricht. Aus dieser Kurve kann man weiter zwei wesentliche Dinge ablesen.

1. Das Strahlungsmaximum liegt bei ca. 10 μm
2. Die Strahlungsintensität unterhalb von ca. 2,5 μm ist fast Null und fällt vom Strahlungsmaximum zu kurzen Wellenlängen relativ steil ab.

Die gesamte spezifische Abstrahlung setzt sich aus der Strahlung in den einzelnen Wellenlängenbereichen zusammen. Nach Stephan - Boltzmann ist die gesamte abgestrahlte Leistung eines Körpers proportional der vierten Potenz seiner Temperatur

$$M_S = \sigma \cdot T^4 \text{ [W/m}^2 \text{]} \quad \text{mit } \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/(m}^2 \text{ K}^4 \text{)]} \quad (2)$$

Die Gleichung (2) gilt allerdings nur für den absolut schwarzen Körper. In der Baupraxis gibt es solche Körper nicht. Baukörper senden nur einen Teil der Strahlung des schwarzen Körpers aus. Die von einer Oberfläche emittierte Strahlung hängt außer von der Temperatur auch von der Oberflächenbeschaffenheit ab.

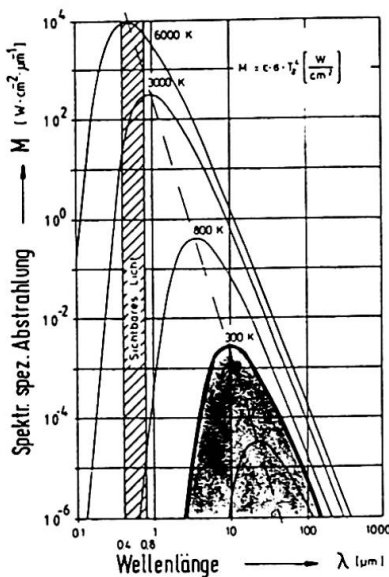


Fig. 2 Spektrale spezifische Abstrahlung eines absolut schwarzen Körpers [2]

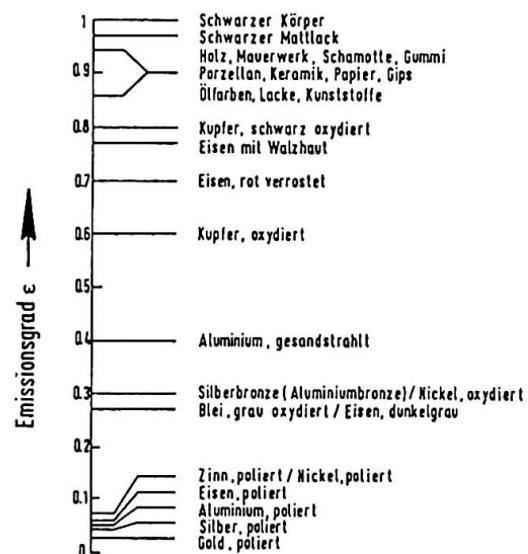


Fig. 3 Emissionsgrad einiger Materialien bei 10 μm [3]



Das Verhältnis der Abstrahlung eines realen Körpers mit bestimmter Oberfläche (Struktur, Farbe, Material) zu der eines schwarzen Körpers gleicher Temperatur nennt man Emissionsgrad ϵ . Beim absolut schwarzen Körper ist $\epsilon = 1$. Der Emissionsgrad einiger Materialien ist in Fig. 3 zusammengestellt. Der Emissionsgrad guter, elektrisch leitfähiger Materialien nimmt im Infrarotbereich sehr niedrige Werte an, wie Fig. 3 zeigt. Flächen aus Gold und Silber wirken daher fast wie ideale Spiegel für jede Wärmestrahlung der Umgebung. Die Auswirkung des Emissionsgrades auf das Wärmebild ist in Fig. 4 [1] dargestellt. Zum Zeitpunkt der Messung haben die Oberflächenmaterialien etwas unterschiedliche Temperaturen. Diese Unterschiede sind auch im Thermogramm in der rechten oberen Bildhälfte gut zu erkennen. Bei Beton und Holz ist der Unterschied der geschwärzten zu den ungeschwärzten Teilflächen gering. Der Emissionsgrad ist nur geringfügig kleiner als eins. Die nicht geschwärzte Aluminiumoberfläche ist im Thermogramm (rechte Bildhälfte unten) deutlich dunkler als die übrigen Flächen. Man erkennt daraus, daß die Fläche einen sehr geringen Emissionsgrad hat, der hier ungefähr bei 0,4 (Aluminium gesandstrahlt) liegt.

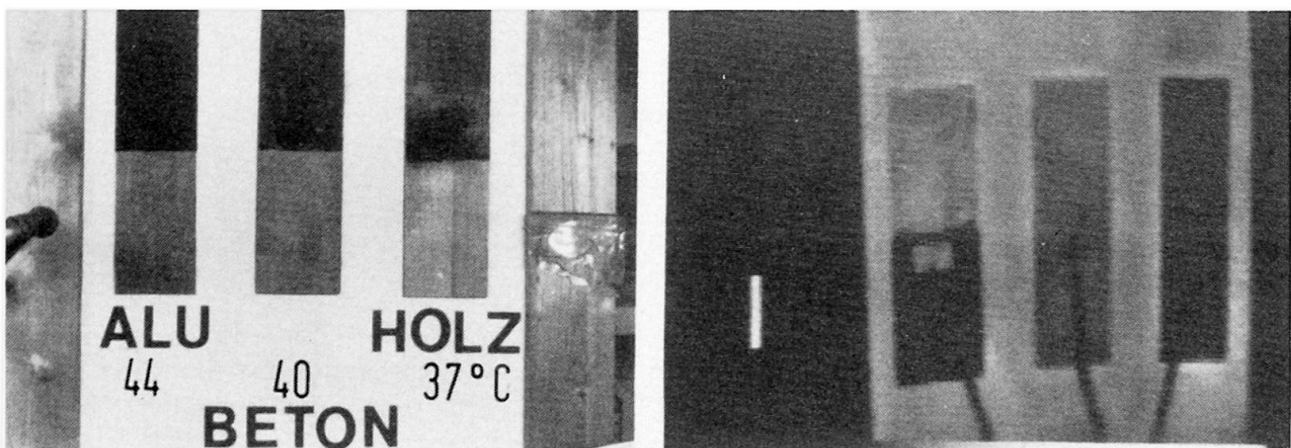


Fig. 4 Orientierungsaufnahme und Thermogramm von Materialproben [1]

Bei der Untersuchung von Gebäudehüllen ist darauf zu achten, daß entsprechende Metalloberflächen, die im Thermogramm dunkler erscheinen, nicht kälter sind, sondern die ermittelten Temperaturen mit den entsprechenden Emissionsfaktoren nach Fig. 3 korrigiert werden müssen.

Da die Infrarotthermographie ein berührungsloses Meßverfahren ist, muß die emittierte Strahlung auf dem Weg vom Objekt zur IR-Kamera die Atmosphäre durchdringen. Die Atmosphäre absorbiert jedoch in bestimmten Wellenlängenbereichen einen Teil der Infrarotstrahlung und zwar umso mehr, je größer die Entfernung Objekt-IR-Detektor ist. Aus diesem Grunde werden thermographische Messungen in absorptionsfreien Wellenlängenbereichen, den sogenannten atmosphärischen Fenstern, durchgeführt, siehe Fig. 5. Wie Fig. 5 zeigt, liegen diese Fenster zwischen 3,5 - 5 μm kurzwellig und zwischen 8,5 - 12,5 μm langwellig. Innerhalb dieser Fenster hängt der von der Atmosphäre absorbierte und abgestrahlte Energiebetrag hauptsächlich von der Menge des vorhandenen Wasserdampfes ab.

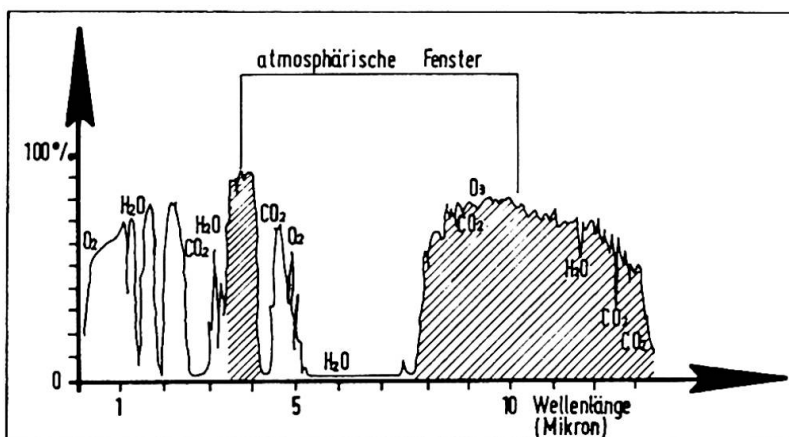


Fig. 5 Atmosphärische Transmission

3. GERÄTEKONFIGURATION

Ein Versuch, die auf dem Markt befindlichen infrarot-optischen Geräte zu systematisieren und zu bezeichnen, zeigt Tafel 1 /3/. Unter Thermographiegeräten werden hier Geräte verstanden, die aufgrund ihres Aufbaus und ihrer Ausstattung dazu geeignet sind, als Meßgeräte eingesetzt zu werden, s. Tafel 1 rechte untere Hälfte.

Tafel 1		
INFRAROT - OPTISCHE GERÄTE		
INFRAROT-KAMERAS: Abbildung auf infrarotempfindlichen Schichten mit einem nachfolgenden Signalverarbeitungsprozeß wie Entwickeln oder elektrisches Abtasten Kamera mit infrarotempfindlichen Filmen Fernsehkamera mit pyroelektrischem Vidicon	INFRAROT-STRAHLUNGSSICHTGERÄTE: abtastende Geräte zur Spektraltransformation in den sichtbaren Bereich unter Verwendung von Einzeldetektoren und/oder Detektorarrays Wärmeortungsgeräte Anzeige der Strahldichte entlang einer geometrischen Linie Wärmebildgeräte Anzeige der Strahldichte über einer geometrischen Fläche	INFRAROT-STRAHLUNGSMESSGERÄTE: abtastende Geräte zur berührungslosen Temperaturmessung unter Verwendung von Einzeldetektoren und elektronischen Auswerteeinheiten Strahlungsthermometer Anzeige der Temperatur als Funktion der Zeit für einen definierten Meßfleck Linescanner Aufzeichnung der Temperatur entlang einer geometrischen Linie während einer definierten Zeitspanne (Abtastzeit)
		Thermografiegeräte Aufzeichnung der Temperatur über einer geometrischen Fläche während einer definierten Bildlaufzeit

Das wichtigste Teil der Thermographiegerätekonfiguration ist die Infrarot-Kamera, siehe Fig. 6. Sie besteht im wesentlichen aus den folgenden Bauteilen:

1. dem Objektiv
 Es ist ähnlich aufgebaut wie bei normalen Fotoapparaten. Das Material, z.B. Germanium, Silizium, Saphir oder Spezialgläser, ist jedoch entsprechend infrarotdurchlässig. Je nach Aufnahmebedingungen kann mit unterschiedlichen Objektiven gearbeitet werden.
2. dem optischen, mechanischen Abtastsystem
 Es funktioniert ähnlich wie bei einem Fernsehaufnahmesystem. Die wärmeabstrahlende Fläche wird punktwise in sehr schneller Reihenfolge abgetastet und von horizontal und vertikal angeordneten, rotierenden Scannings-Prismen auf den Detektor weitergeleitet. Um das abgetastete Bild je nach Prismenstellung in definierte Punkte konstanter Abtastdauer zu zerlegen, ist zwischen Ablenssystem und Detektor eine rotierende Blende angeordnet, siehe auch Fig. 6.
3. dem Detektor, als dem wichtigsten Baustein der IR-Kamera
 Er besteht aus einem winzigen Halbleiterelement, das nacheinander die auffallende Strahlung der abgetasteten Bildpunkte des Objekts in elektrische Signale umwandelt. Nach Verstärkung werden diese Signale synchron zur Abtastung auf den Bildschirm einer Kathodenstrahlröhre zu einem sichtbaren Wärmebild zusammengesetzt. Diese Bildwiedergabe, auch Thermogramm genannt, entsteht ähnlich wie ein Fernsehbild durch punktwisen Aufbau.
 In modernen Thermographiegeräten werden vorwiegend Quanten-Detektoren verwendet. Abgestimmt auf die Lage des atmosphärischen Fensters, siehe Fig. 5 werden in konventionellen Systemen zwei unterschiedliche Typen eingebaut.
 - a) Detektoren, In Sb (Indiumantimonid) Kurzwellenbereich von 2 - 5,5 μm
 - b) Detektoren, MCT (Quecksilber Cadmium Tellurid) von 8 - 14 μm .

Fast alle schnellarbeitenden Quanten-Detektoren müssen während des Betriebes permanent gekühlt werden, um optimale Signal-/Rauschverhältnisse zu erzielen. Als Kühlmittel auf die erforderliche Betriebstemperatur von -196°C dient vor allen Dingen flüssiger Stickstoff für mobile Systeme. Eine Füllung des für den Stickstoff vorgesehenen Dewar-Gefäßes reicht in der Regel für 2 bis 3 Stunden Betriebsdauer.

Fig. 6 zeigt den Aufbau einer IR-Kamera. Moderne Infrarot-Kameras haben ein sequentielles Bildabtastsystem mit 25 Teilbildern pro Sekunde und je fast 28.000 Bildpunkten pro Bild. Dadurch behält man ein relativ flimmerfreies und detailliertes Wärmebild des untersuchten Objektes. Der Meßbereich der Kameras liegt zwischen ca. -30° und $+1600^{\circ}\text{C}$.

Der zweite wichtige Bestandteil der Gerätekonfiguration ist das Bildwiedergabegerät. Hier erscheint das Wärmebild als fünfstufiges Grautonbild auf dem Monitor



eines Oszillographen. Im Schwarz/Weiß-Wärmebild entsprechen die dunklen Grauton-Bildpunkte niedrigen Temperaturen und Bildabschnitte mit hellen Grauton-Bildpunkten höheren Temperaturen. Der Größenausschnitt des Wärmebildes wird durch den Detektor und die Kameraoptik bestimmt, die mit Winkelauflösungen zwischen 5,8 mrad und ca. 1 mrad arbeiten. Bei Verwendung einer 20° Optik, die sich für die Gebäudethermographie gut eignet, erhält man bei 10 m Entfernung vom Objekt einen Bildausschnitt von ca. 3,5 qm. Im Bereich der Gebäudethermographie können die Oberflächentemperaturen unter 1° C genau gemessen werden. Das Wärmebild (Thermogramm) unterscheidet sich grundlegend von einem Normalfoto. Das Foto gibt

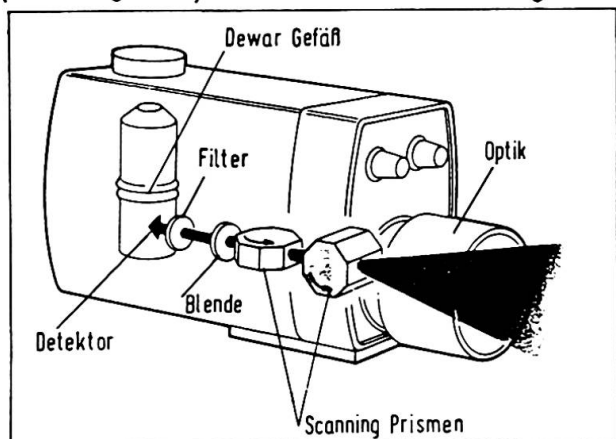


Fig. 6 Aufbau einer IR-Kamera

die von einem Objekt reflektierte Strahlung im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Wellenspektrums wieder. Das Thermogramm gibt die vom Objekt emittierte Eigenstrahlung innerhalb der Empfindlichkeit der IR-Kamera wieder. Das Wärmebild hat eine gröbere Struktur und eine diffusere Konturenwiedergabe. Das liegt vor allen Dingen daran, daß die Wärmeverteilung an der Objektoberfläche fließendere Übergänge ergibt. Um Temperaturunterschiede innerhalb eines Wärmebildes leichter erkennen und ausmessen zu können, sind ein Teil der IR-Kameras mit einer Isothermenfunktion ausgerüstet. Mit dieser

Funktion ist es möglich, im Thermogramm Bereiche gleicher Temperatur durch helle Linien darzustellen. Man erhält ein sogenanntes Isothermenbild. Die Isothermen können auf eine beliebige Temperatur im Bild gelegt werden. Soll so die tatsächliche Oberflächentemperatur ermittelt werden, so sind zusätzlich eine Temperatur an einem Referenzpunkt innerhalb der Meßoberfläche als auch der Emissionsgrad der Referenzoberfläche und des Meßobjektes erforderlich. Mit diesen Werten und den entsprechenden Kalibrierungskurven der Kamera können die augenblicklichen Oberflächentemperaturen nach Gleichung (3) berechnet werden.

$$I_1 = f(\vartheta_1) = \frac{\Delta I_{12}}{\varepsilon_1} + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} I_2 + \left(1 - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\right) I_u \quad (3)$$

Hierin bedeuten:

ϑ_1, ϑ_2 Temperatur in Punkt 1 bzw. 2 des Meßobjektes

ϑ_u Umgebungstemperatur

$I_1 = f(\vartheta_1)$ Funktionswert ϑ_1 aus der Kalibrierungskurve
 $I_2 = f(\vartheta_2)$ Funktionswert ϑ_2 aus der Kalibrierungskurve
 $I_u = f(\vartheta_u)$ Funktionswert ϑ_u aus der Kalibrierungskurve

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ Emissionsgrad in Punkt 1 bzw. 2 des Meßobjektes

ΔI_{12} Differenz der Isothermen Einheiten zwischen den Isothermen-Markierungen für Punkt 1 und 2.

Außerdem lassen sich die Oberflächentemperaturbereiche und die jeweiligen Isothermeneinheiten den entsprechenden Temperaturen zuordnen.

Für den praktischen Geräteeinsatz vor Ort am Objekt und bei der Laborauswertung haben sich ein speziell adaptierter Videorecorder und ein Farbmonitor bestens bewährt. Mit diesem Aufzeichnungsgerät ist es möglich, die Messung vor Ort aufzuzeichnen, um sie dann im Labor mit der nötigen Sorgfalt auswerten zu können. Dabei kann es von Vorteil sein, das erstellte Videobild unter mehreren Gesichtspunkten auszuwerten. Zum einen kann die Information zur Umwandlung der Graustufenbilder in Colorthermogramme benutzt werden. Hierbei werden in einem weiteren Zusatzgerät, dem Farbmonitor, die fünf Graustufentöne zehn Farbstu-

fen zugeordnet. Mit dieser Farbskala können entsprechende Colorthermogramme erzeugt werden, die in vielen Fällen eine bessere Interpretation des Objektes erlauben. Eine weitere Möglichkeit, die Gerätekonfiguration zu erweitern, ist ein Zusatzgerät zur analog/digital-Wandlung der Meßdaten. Damit wird es möglich, über einen Mikrocomputer und Plotter ein entsprechendes digitales Thermogramm zu erzeugen. Mit Hilfe dieser Digitalbilder werden weitere computermäßige Verarbeitungen und Auswertungen der Thermogramme möglich.

4. THERMOGRAPHISCHE MESSUNG

Bei der Untersuchung von Gebäudehüllen soll grundsätzlich zwischen zwei Messungen unterschieden werden

1. Qualitative IR-Thermographie
2. Quantitative IR-Thermographie.

Die Messungen können je nach Aufgabenstellung und Erfordernissen sowohl von außen als von innen durchgeführt werden. Der Vorteil der Außenthermographie liegt im schnellen Abtasten großer Gebäudeflächen. Außerdem wird die Gebäudenutzung nicht wesentlich eingeschränkt und die Bewohner nicht belästigt. Bei einer Innenthermographie ist die geringe Witterungsabhängigkeit, bessere Randbedingungen und höhere Temporaufösung von Vorteil. Nachteilig ist, daß Möbel und sonstige Gegenstände, die an den Außenwänden stehen, entfernt werden müssen. Das ist oft sehr kosten- und zeitaufwendig. In allen Fällen sind für die Messungen bestimmte

TAFEL 2 - VORAUSSETZUNGEN UND RANDBEDINGUNGEN FOR QUANTITATIVE THERMOGRAPHISCHE MESSUNGEN

1. Zum Zeitpunkt der Messung soll thermodynamisches Gleichgewicht der Gebäudehülle vorhanden sein. Das heißt, es soll sich ein quasi stationärer Wärmestrom eingestellt haben. Die Messungen sollen an entsprechend kalten Tagen in den frühen Morgenstunden, vor Sonnenaufgang, stattfinden.
2. Die Differenz zwischen Innenraum- und Außentemperatur soll möglichst hoch (mindestens 10° K) sein.
3. Die Gebäudehülle soll möglichst trocken sein, d.h. keine Regen-, Schnee- oder Reiffeuchtigkeit besitzen.
4. Die Innentemperatur sollte 20° C nicht unterschreiten und in allen an die Gebäudehülle grenzenden Räume etwa gleich sein.
5. Eine evtl. vorhandene Nachtabenkung muß abgeschaltet werden.
6. Die Fenster und Außentüren sind ca. eine Stunde vor der Messung zu schließen. Roll- und Schlagläden sind zu öffnen.
7. Direkte Fremdstrahlungen (Beleuchtungen etc.) auf die Gebäudehülle sind ebenfalls eine Stunde vor der Messung abzuschalten.
8. Die gemessenen Wandtemperaturen müssen mit den entsprechenden Emissionsfaktoren korrigiert werden.
9. Vorgehängte Fassaden können nicht von außen thermographiert werden, weil sich im Zwischenraum zwischen Fassade und Außenhaut eine Kleinklimazone bildet.
10. Außenmessungen sollen möglichst bei Windstille oder geringer Windgeschwindigkeit ≤ 2 m/s durchgeführt werden. Sonst wird der Wärmeübergangskoeffizient α_a zu stark beeinflußt.

Voraussetzungen und Randbedingungen zu beachten, um entsprechende Ergebnisse zu erhalten. Bei der qualitativen IR-Thermographie sind nicht so strenge Maßstäbe an die Voraussetzungen und Randbedingungen zu legen. Dafür benötigt man zur Beurteilung der thermographischen Meßergebnisse entsprechend Sachverstand und lange Erfahrung, vor allen Dingen bei bautechnischen Konstruktionsdetails und bauphysikalischen Detailfragen. Dennoch ergibt die qualitative thermographische Messung erste Hinweise auf mögliche thermische Schwachstellen, Wärmebrücken und Undichtigkeiten an der Gebäudehülle. Manche versteckten Mängel in der Planung und Ausführung, vor allem auch der entsprechenden Detailpunkte können - wenn überhaupt -



nur thermographisch sichtbar gemacht werden. Aus diesem Grunde ist auch eine vernünftige Dokumentation, und damit eine Beweissicherung der Baumängel möglich. In Schweden beispielsweise gibt es für den dort sehr verbreiteten Bau von Fertighäusern einen Katalog von Musterthermogrammen, mit deren Hilfe bauabnahmereife Gebäude - mit aktuellen erstellten Thermogrammen - verglichen werden. So können Mängel an der Gebäudehülle festgestellt und beseitigt werden. Typische Schwachpunkte in der Gebäudehülle sind vor allen Dingen an den Stellen zu suchen, an denen verschiedene Materialien, Bauteile oder Bauelemente zusammenkommen. Hier treten gerade auch in der heutigen Zeit, trotz hoher energietechnischer Forderung mit niedrigen k-Werten entscheidende Wärmebrücken wegen fehlender Wärmedämmungen, Dichtungen und unsachgemäßer Ausführung der Anschlußdetails auf.

Bei der quantitativen Thermographie wird ebenfalls zwischen Außen- und Innenmessung unterschieden. Um hier echte, aussagefähige Messungen durchzuführen, sollten mindestens die in Tafel 2 genannten Voraussetzungen und Randbedingungen eingehalten sein. Aus diesen Voraussetzungen und Randbedingungen wird ersichtlich, daß die Meßzeiten außerordentlich begrenzt sind und in vielen Fällen diese idealen Voraussetzungen nicht vorhanden sind. Dennoch ist es möglich, bei sorgfältig durchgeführten thermographischen Messungen mit entsprechenden Korrekturen realistische Oberflächentemperaturen zu bestimmen. Die ermittelten Temperaturen können bei zusätzlicher Messung der Lufttemperaturen innen und außen, sowie bei Kenntnis des Wandaufbaus und des Wärmeübergangskoeffizienten, des Wärmedurchlaßwiderstandes $1/\lambda$ und Wärmedurchgangskoeffizienten k überprüft werden.

5. AUSWERTUNG

Wenn alle meßtechnischen Daten wie Datum, Uhrzeit, Gebäudelage im Grundriß, Wetterbedingungen und Geräteeinstellungen in ein Meßprotokoll ordnungsgemäß aufgenommen und eingetragen sind, kann im Labor mit der Auswertung begonnen werden. Um bei der Auswertung und der Dokumentation der Messung die Lage der einzelnen Thermogramme auf der Gebäudehülle zu erkennen, hat es sich als nützlich erwiesen, zusätzlich zu den Thermogrammen als Orientierungshilfe Normalfotos anzufertigen. In diese Normalfotos, schwarz/weiß oder farbig, auch Orientierungsaufnahmen genannt, wird der Ausschnitt der durchnummerierten Thermogramme eingetragen. Damit ist es bei einer großen Anzahl von Thermogrammen relativ leicht möglich, das entsprechende Thermogramm der entsprechenden Stelle der Gebäudehülle zuzuordnen. Da die thermographischen Messungen der Gebäudehülle vor Ort aufgezeichnet werden, kann man im Labor mit aller Sorgfalt die thermischen Schwachstellen, Wärmebrücken und andere Fehlstellen lokalisieren und dann vom Schwarz/Weiß- oder Farbmonitor abfotografieren. Die Fotos vom Farbmonitor werden als Colorthermogramme bezeichnet. Die den Isothermeneinheiten zugeordneten Temperaturen werden nach Gleichung (3) mit einem Computerprogramm berechnet und der entsprechenden Grauton- oder Farbskala zugeordnet. Hierbei sind die Gerätedaten, wie Blende, Filter, Range, Thermal Level, die Objektdaten und Witterungsbedingungen entsprechend zu berücksichtigen. Ein Orientierungsfoto (links) mit zugehörigem Thermogramm (rechts) einer Gebäudehülle eines Wohnhauses zeigt Fig. 7. Will man zusätzlich zu den ge-



Fig. 7 Orientierungsaufnahme und schwarz/weiß Thermogramm

Oberflächentemperaturen ϑ noch Vergleiche zu den angegebenen wärmetechnischen Kenngrößen der DIN 4108 ziehen, muß eine realistische Annahme über die vorhandene Wärmeleitfähigkeit λ der Wandmaterialien und der Wärmeübergangskoeffizienten α getroffen werden. Wegen der besseren Randbedingungen wird die Oberflächentemperatur ϑ_{0i} der Innenseite der Außenwand mit der Thermographie bestimmt. Der k-Wert ergibt sich näherungsweise mit Hilfe der Gleichung (4).

$$k \approx \alpha_i \frac{\vartheta_{Li} - \vartheta_{0i}}{\vartheta_{Li} - \vartheta_{La}} \quad (4)$$

Hierin sind

ϑ_{Li} , ϑ_{La} die Lufttemperaturen innen und außen,
 ϑ_{0i} die thermographisch gemessene Oberflächentemperatur der Außenwand innen und
 α_i der Wärmeübergangskoeffizient innen.

Die Lufttemperaturen können beispielsweise mit einem digitalen Thermometer an mehreren Stellen im ca. 10 cm Abstand von der Wand innen und außen gemessen werden. Wird der Wärmeübergangskoeffizient α_i mit einem Mittelwert von ca. 7 W/qm K eingesetzt, so läßt sich mit (4) der k-Wert für den Bereich der Gebäudehülle bestimmen. Diese Berechnung beruht jedoch auf der Annahme des angegebenen Wärmeübergangskoeffizienten und auf der exakten Ermittlung des Emissionsfaktors.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Wie in den vorherigen Abschnitten dargestellt wurde, ist die IR-Thermographie eine nützliche und hilfreiche Möglichkeit, die aktuelle Temperaturverteilung an Oberflächen von Gebäudehüllen, aber auch an anderen Bauteilen rasch zu erfassen und sichtbar zu machen. Um quantitativ auswertbare Ergebnisse zu erzielen, müssen allerdings gewisse Voraussetzungen und Randbedingungen beachtet werden. Die Durchführung thermographischer Messungen und die Interpretation und Dokumentation der Ergebnisse erfordern entsprechende Erfahrungen auf den Gebieten der Meßtechnik, der Baukonstruktion und der bauphysikalischen Zusammenhänge. Die sich ergebenden meteorologischen und verfahrenstechnischen Einschränkungen haben einen nicht unerheblichen Zeit-, Personal- und Geräteaufwand zur Folge, der sich naturgemäß auch in den Kosten niederschlagen muß. Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse ist es somit möglich, geeignete Sanierungsmaßnahmen - falls erforderlich - in die Wege zu leiten.

Zusammenfassend sind bei der IR-Thermographie zu erkennen:

- schnelle, genaue und umfassende Gewinnung von Informationen über Temperaturverteilungen an Objektoberflächen,
- berührungslose, beweissichernde Messung an und in Objekten ohne Beeinflussung des Meßobjektes und der Meßgrößen durch das Meßverfahren selber,
- Wärmeströmungen in Materialien werden sichtbar und somit kann eventuell entstehendem Schaden vorgebeugt werden,
- entscheidende Maßnahmen zur Energieeinsparung und Aufdeckung von thermischen Schwachstellen können auf dieser Meßgrundlage getroffen werden.

LITERATURVERZEICHNIS

1. SCHICKERT G., Infrarotthermographie als Hilfsmittel bei bautechnischen Untersuchungen. Amts- und Mitteilungsblatt der BAM, Bd. 12, Nr. 4, Dez. 1982.
2. WEBER H. u.a., Thermographie im Bauwesen. Expert-Verlag, Grafenau, 1982.
3. SPECHT H., Thermographie. Sonderdruck aus Funkschau Heft 25/26, 1981.

Leere Seite
Blank page
Page vide