Infrarot-Thermographie : mehr als nur Wärmebild

Autor(en): **Florin, C.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme**

Band (Jahr): **37 (1980)**

Heft 10

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-781952

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Infrarot-Thermographie – mehr als nur Wärmebild

Von Chr. Florin, Ing. HTL/STV, c/o Florin & Scherler AG, Infrarot-Messtechnik, 6010 Kriens

Die Tatsache, dass sich der Einsatz der Infrarot-Thermographie im Bauwesen vorwiegend infolge der energiepolitisch unsicheren Lage auch in der Schweiz durchzusetzen vermochte, vermag den Thermographiefachmann nicht ganz zu befriedigen, obwohl mit Hilfe dieser Messtechnik gerade auf dem Gebiete der wärmetechnischen Gebäudeuntersuchung wesentlich umfangreichere Informationen in kürzerer Zeit als bis anhin erarbeitet werden können.

Bedenkt man aber, dass in der Schweiz jährlich Bauschäden in der Höhe von etwa 600 Mio. Franken (offizielle Zahlen von 1979) zu bezahlen sind, welche sich aus etwa 40% Planungsfehlern, etwa 30% Ausführungsfehlern und aus etwa 30% Material- oder Anwendungsfehlern (inkl. natürliche Erosion) zusammensetzen, so erkennt man, dass mit Hilfe dieser Messmethode auch für den Baufachmann und alle am Bau Beteiligten weitere wichtige Informationen erarbeitet werden können. Thermographische Untersuchungen und Kontrollen mit *Erfahrungsrückkoppelung* könnten hier bestimmt zu einer wünschenswerten Entwicklung führen.

Dass dieses Hilfsmittel bisher vom Baufachmann nur wenig eingesetzt wurde oder gar auf Ablehnung stiess, hat verschiedene Ursachen. Nebst der Unsicherheit, dass eventuelle Planungsfehler aufgedeckt werden, besteht die wesentlichste Ursache jedoch in der Unkenntnis der physikalischen Zusammenhänge (auf der messtechnischen und auf der bautechnischen Seite), was oft zu einer Fehleinschätzung der bestehenden Möglichkeiten führt.

Strahlungsphysikalische Grundlagen

Bei der Infrarot-Thermographie wird der Temperaturunterschied zwischen einem Körper und seiner Umgebung (oder zwischen zwei Körpern) ausgenutzt. Einem warmen Körper wird zum Beispiel von seiner kühleren Umgebung Wärme durch Strahlung, Leitung und Konvektion entzogen, bis das thermische Gleichgewicht erreicht ist (bis beide Körper gleich warm sind).

Im folgenden widmen wir uns dem Anteil, welcher durch die Strahlung abgeführt (oder zugeführt) wird, da das Thermographieverfahren auf der Ausnutzung der Strahlung beruht.

Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Wärmestrahlung wird durch das Plancksche Gesetz *(Abb. 2)* beschrieben. Daraus erkennt man für einen «schwarzen» Körper, dass sich der Bereich der Wellenlänge, in dem die Strahlung maximal ist, mit steigender Temperatur gegen den sichtbaren Bereich verschiebt.

Diese Tatsache erkennt man zum Beispiel beim Erhitzen eines Gegenstandes, welcher vorerst für unser Auge nicht «sichtbar warm» erscheint, aber bei genügend hoher Temperatur zu glühen beginnt.

Abb. 1

Erwärmt man den Gegenstand weiter, so erkennt man eine Änderung der Glühfarbe, was die Industrie schon lange dazu bewog, den entsprechenden Farben eine Temperatur zuzuordnen (Anlassfarben). Was im sichtbaren Bereich (Temperaturen über 800°C) zu den Anlassfarben bei einer bestimmten Wellenlänge führt, ist die Strahlungsintensität, welche eindeutig als Funktion der Temperatur definiert werden kann.

Die Zuordnung von Temperaturen bei «schwarzen» Körpern ist relativ einfach, da bei solchen die gesamte auftreffende Strahlung absorbiert wird. In der Natur ist es aber so, dass die zu untersuchenden Objekte nicht als «schwarze» Körper betrachtet werden können.

Natürliche Objekte erscheinen als graue Körper oder farbig *(Abb. 3)*. Farbig erscheint ein Körper, welcher in einem bestimmten Wellen-

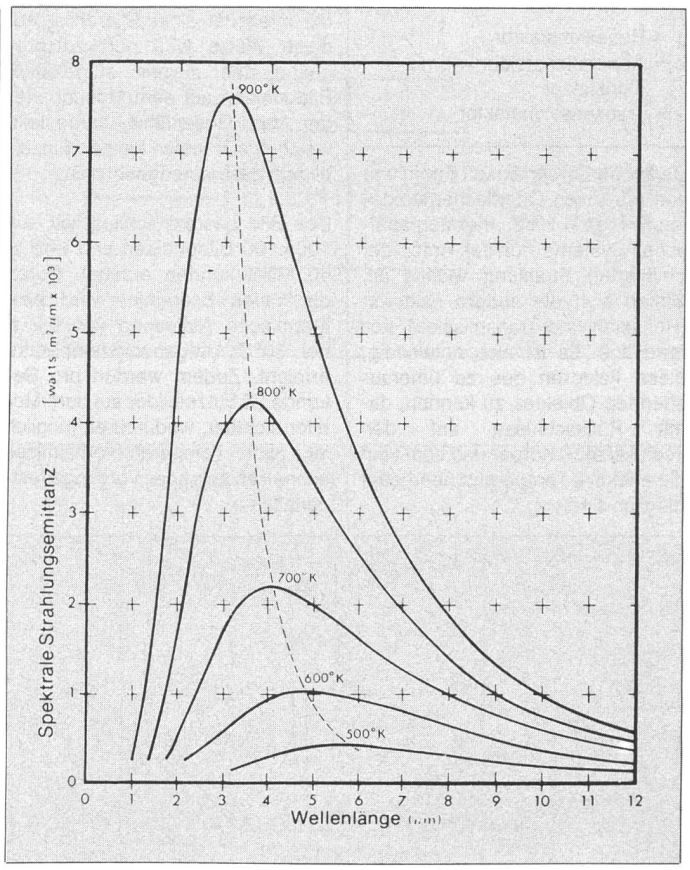

Abb. 2. Das Plancksche Strahlungsgesetz in grafischer Form. Es beschreibt den Zusammenhang zwischen absoluter Temperatur und spektraler Leistungsdichte der Temperaturstrahlung des «schwarzen» Körpers. Die Temperatur ist in °Kelvin = °Celsius +273 angegeben.

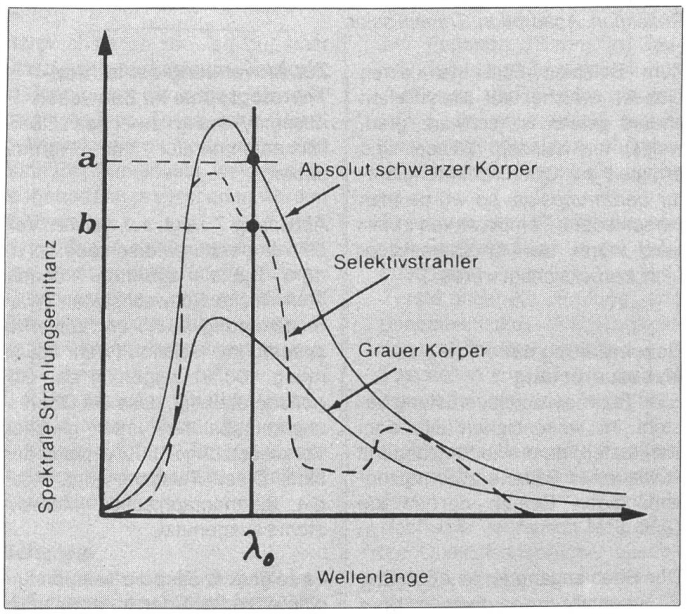

Abb. 3. Darstellung der Strahlungsverteilung des «schwarzen» Körpers und eines realen Strahlers. Die Strahlung des realen Körpers liegt um den Emissionsfaktor unter derjenigen des «schwarzen» Körpers.

längenbereich bevorzugt strahlt. Dieser Körper absorbiert im Gegensatz zum «schwarzen» Körper nur einen Teil der auf ihn fallenden Strahlung und reflektiert den Rest. Betrachtet man die Zusammensetzung der von einem natürlichen Körper ausgesandten Strahlung, so folgt *(Abb. 4)*:

$\varepsilon + \delta + \gamma + = 1$

ϱ = Reflexionsfaktor
ε = Absorptionsfaktor = Emissionsfaktor
γ = Transmissionsfaktor

Da zur berührungslosen Ermittlung von effektiven Oberflächentemperaturen mit Hilfe thermographischer Systeme nur der Anteil der emittierten Strahlung wichtig ist, wirken sich die andern Faktoren (Reflexion und Transmission) störend aus. Es ist also notwendig, diese Faktoren des zu untersuchenden Objektes zu kennen, damit Rückschlüsse auf den «schwarzen» Körper und somit auf die effektive Temperatur überhaupt möglich sind.

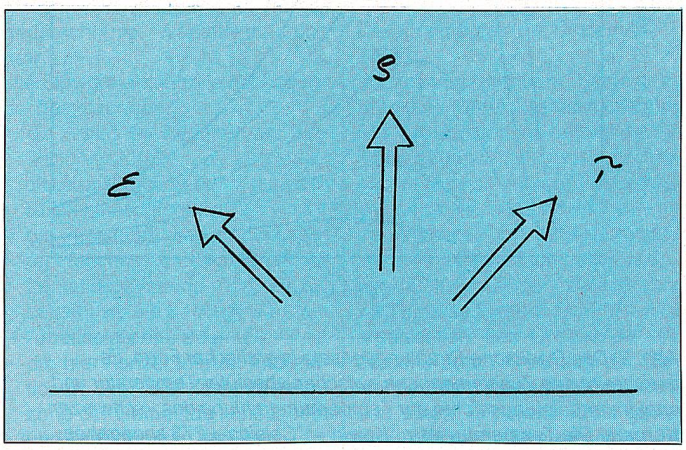

Abb. 4. Die von einer Oberfläche abgestrahlte Energie besteht aus Reflektion, Absorption, Transmission.

Zum Beispiel: Füllt man einen Quader, welcher auf allen Seiten anders gefärbt ist (schwarz, grau, weiss) mit heissem Wasser und ermittelt die Oberflächentemperatur *berührungslos*, so würde man verschiedene Temperaturen ermitteln, wenn der Emissionsfaktor nicht berücksichtigt würde.

Beschreibung der Messausrüstung

Eine Thermovisionsausrüstung besteht im wesentlichen aus dem Kamerateil, dem Wiedergabegerät sowie einer Batterie zum netzunabhängigen Betrieb der Anlage *(Abb. 5)*.

Der Strahlengang ist in *Abbildung 6* schematisch dargestellt. Über ein auswechselbares Siliziumobjektivsystem gelangt die Infrarotstrahlung auf ein rotierendes Prismensystem, wo der gesamte Informationsgehalt eines Bildes, in einzelne Punkte zerlegt, nacheinander auf den Indiumantiomonid-Detektor (Temperaturauflösungselement) fällt. Der Detektor, welcher mit flüssigem Stickstoff gekühlt ist (−196°C), wandelt die entsprechenden Teilstrahlungsbilder in ein elektronisches Signal um und steuert über die Elektronikeinheit die Intensität einer Bildröhre. Auf diese Weise wird nun entsprechend den einzeln aufgelösten Bildpunkten auf dem Monitor wieder das Gesamtbild dargestellt, welches aus vielen kleinen Einzelbildern zusammengesetzt ist.

Das Bild besteht schliesslich aus 100×100 Bildpunkten und wird in 40 Millisekunden erzeugt. Durch die vielen Bildpunkte wird eine thermische Auflösung von 0,2 K bei 30°C Umgebungstemperatur erreicht. Zudem werden pro Sekunde 25 Einzelbilder auf dem Monitor sichtbar, wodurch es möglich ist, auch Temperaturverhältnisse schnell ablaufender Vorgänge festzuhalten.

Zur Anwendung der Infrarot-Thermographie im Bauwesen

Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur und Wärmestrom:

Abbildung 7 zeigt, auf welche Weise Temperaturunterschiede an einem Bauteil auftreten können. Thermische Schwachstellen (Wärmedämmung 50%) und fehlerfrei ausgeführte Isolation (Wärmedämmung 100%) zeigen in der Gegenüberstellung, dass die Oberflächentempeaturen unter gleichen Voraussetzungen verschieden sind. Diese Tatsache wird durch die thermographischen Messsysteme ausgenutzt.

Es zeigt sich, dass die Temperaturdifferenzen auf der Innenwandfläche grösser sind als auf der Aussenwandfläche, was vom Wärmeübergang Luft/Wand herrührt.

Im weiteren erkennt man, dass der Wärmedurchgang durch einen Bauteil wesentlichen Einfluss auf die Oberflächentemperaturen hat und im stationären Falle folgender Gesetzmässigkeit folgt:

1. $Q = \dfrac{Tli - Twa}{1/\alpha i + 1/\lambda}$

2. $Q = \alpha a\,(Twa - Tla)$

3. $1/\lambda = \dfrac{Tli - Twa}{\alpha a(Twa - Tla)} - \dfrac{1}{\alpha i}$

Q = Wärmestrom pro m²
αi = innerer Wärmeübergang
αa = äusserer Wärmeübergang
Tli = Raumlufttemperatur
Tla = Aussentemperatur
Twa = Temperatur der äusseren Wandoberfläche
λ = Wärmedurchgangskoeffizient
Die Wandstärke ist auf die Einheit 1 bezogen.

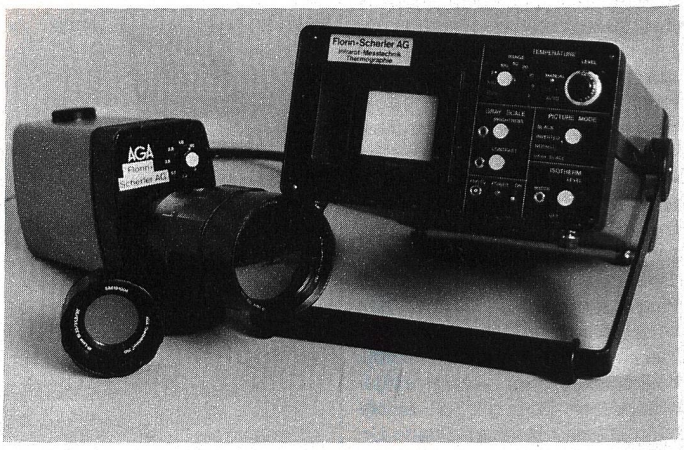

Abb. 5. Die Messausrüstung, bestehend aus Aufnahmeeinheit und Monitor.

Wenn nun die Temperaturen der Aussenluft und der Raumluft bekannt sind und die Oberflächentemperatur der Aussenfläche thermographisch ermittelt wurde, so könnte man durch Einsetzen der aus Tabellen bekannten inneren und äusseren Wärmeübergangskoeffizienten (α_i, α_a) und – unter Voraussetzung stationärer Bedingungen – den Wärmedurchlasswiderstand von Bauteilen bestimmen.
Anhand der Gleichung 3 kann festgestellt werden, in welchem Masse der Wärmedurchlasswiderstand von äusseren Temperaturänderungen beeinflusst wird. Eine Änderung der äusseren Oberflächentemperatur um *0,2°C* beeinflusst bei einem durchschnittlichen Dämmewert den Wärmedurchlasswiderstand über 20%!
Berücksichtigt man zudem, dass für die Gültigkeit solcher Rechnungen stationäre Verhältnisse vorausgesetzt sind, erkennt man, dass Rückschlüsse dieser Art nicht oder nur beschränkt aussagefähig sind. Um Wärmedurchlasswiderstände zuverlässig zu ermitteln, sind Zusatzmessungen mit speziellen Wärmeflussmessgeräten nötig, welche den dynamischen Wärmefluss über eine längere Zeitspanne aufzeichnen. Erst in Zusammenhang mit einem klar definierten Bezugspunkt am Objekt (Wärmeflussmessung, Temperaturmessung) und durch die Kenntnis der örtlichen Verhältnisse bilden thermographische Untersuchungen wertvolle und wichtige Zusatzinformationen, welche schnell und zuverlässige Aussagen über den wärmetechnischen Gebäudezustand erlauben.

Luftundichtheiten in Baukonstruktionen

Unkontrollierte Lüftungsverluste in Bauteilfugen, Fensterrahmen, Rollladenkasten usw. bilden vielfach wesentliche Anteile am Gesamtenergiekonsum eines Objektes.
Luftleckstellen erhöhen den Lüftungswärmebedarf und führen zu einem erhöhten Luftwechsel im Raum, was oft durch erhöhte Raumtemperaturen kompensiert wird. Zudem bilden unbeabsichtigte Öffnungen in Bauwerken einen Gefahrenherd für Feuchteschäden, weshalb solche unbedingt vermieden werden müssen.
Zugserscheinungen und Unbehaglichkeit sind oft auf solche Schwachstellen zurückzuführen.
Hier ist es möglich, mit Hilfe der Infrarot-Thermographie diese Undichtheiten nachzuweisen und zu lokalisieren.
Herrscht im Gebäude Unterdruck, so strömt die Kaltluft durch die Öffnungen in die Konstruktion und führt bei den Schwachstellen auf eine örtliche Temperaturabsenkung, welche nach Ausmass und Lage sehr genau beurteilt werden kann. Für eine zuverlässige Deutung solcher Untersuchungen ist

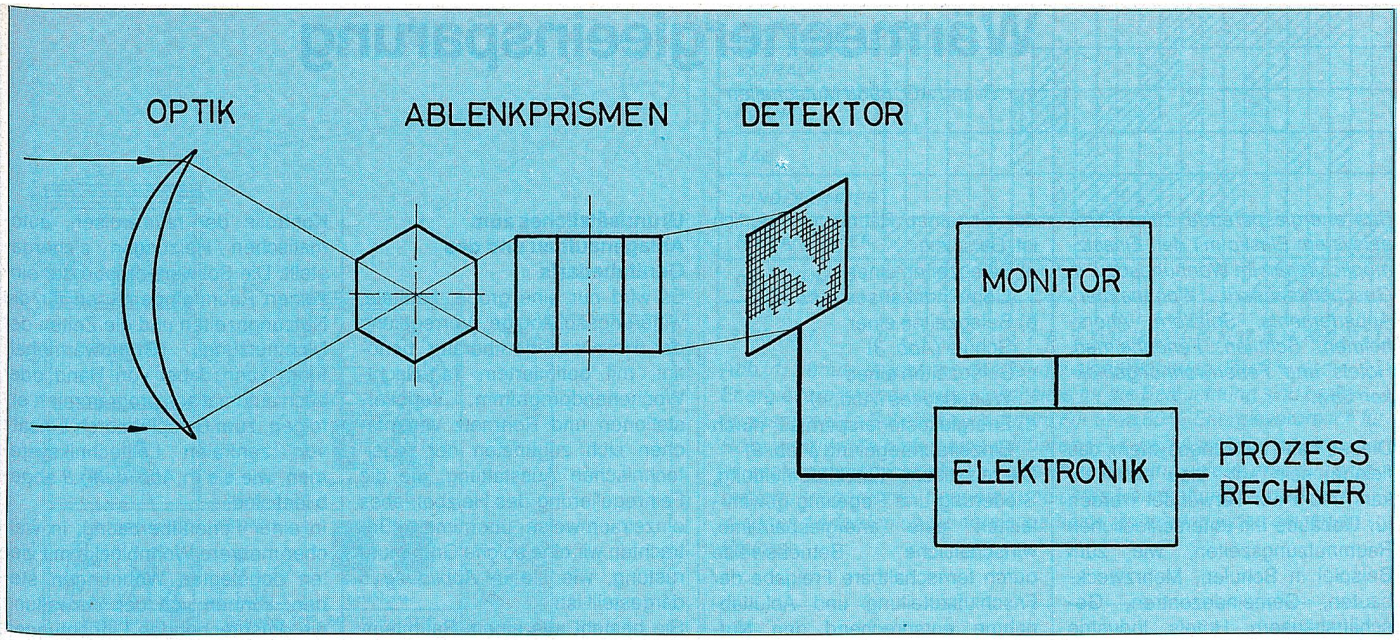

Abb. 6. Strahlengang

es unerlässlich, die örtlichen Druckverhältnisse zu kennen (siehe Anwendungsbeispiele).

Thermographische Untersuchungen von aussen oder von innen

Thermographische Untersuchungen zur Erfassung eines wärmetechnischen Gebäudezustandes erfordern Kontrollen von aussen und innen. Die Erfahrung zeigt, dass die Detailbetrachtung von innen weniger Probleme in messtechnischer Hinsicht ergibt.

Auf der Innenseite sind bei einer isolationstechnischen Schwachstelle grössere Temperaturdifferenzen erkennbar, was die Definition und Deutung einer solchen erleichtert. Luftundichtheiten sind bei Unterdruck im Gebäude von aussen sehr schlecht definierbar. Schwachstellen gegen Estrichräume sind nur von der Innenseite her genau zu lokalisieren und im Ausmass zu klassieren. Dennoch sind auch Aussenuntersuchungen zur groben Übersicht von wichtiger Bedeutung für den Messpezialisten, was vor allem bei grossen Gebäudekomplexen gilt (Industriebauten, Überbauungen).

Vorgehen bei einer messtechnischen Bestandesaufnahme

Bei einer messtechnischen Bestandesaufnahme an einem Baukörper kommen folgende Messgeräte zum Einsatz:

- Infrarot-Messausrüstung
- Wärmeflussmessgerät
- Temperaturmessgeräte
- Windgeschwindigkeitsmessgeräte
- Differenzdruckmessgeräte

Die Bestandesaufnahme am Baukörper beginnt damit, dass das Gebäude vorerst von aussen thermographisch abgetastet wird, um einen Gesamteindruck von eventuell extremen Schwachstellen bereits feststellen zu können.

Anschliessend werden die Untersuchungen *vorwiegend vom Gebäudeinnern* fortgesetzt, indem man zuerst einen repräsentativen Referenzpunkt auswählt und diesen genau ausmisst (z.B. Temperatur, Wärmefluss). Sämtliche untersuchten Bauteile können nun mit Hilfe des Thermographieverfahrens mit dem gewählten Referenzpunkt verglichen werden, so dass bei der Verwendung hochwertiger Messsysteme (z.B. AGA 750) quantitative Aussagen möglich sind.

Nebst der thermographischen Kontrolle der zu untersuchenden Räume werden zusätzlich Temperaturmessungen, Differenzdruckmessungen, Windgeschwindigkeitsmessungen usw. vorgenommen, um eine vollständige Bestandesaufnahme zu garantieren.

Einsatzmöglichkeiten im Bauwesen

«Wenn es warm wird, stimmt etwas nicht.» Diese bereits alte Weisheit hat noch heute Gültigkeit, denn in der Regel äussern sich

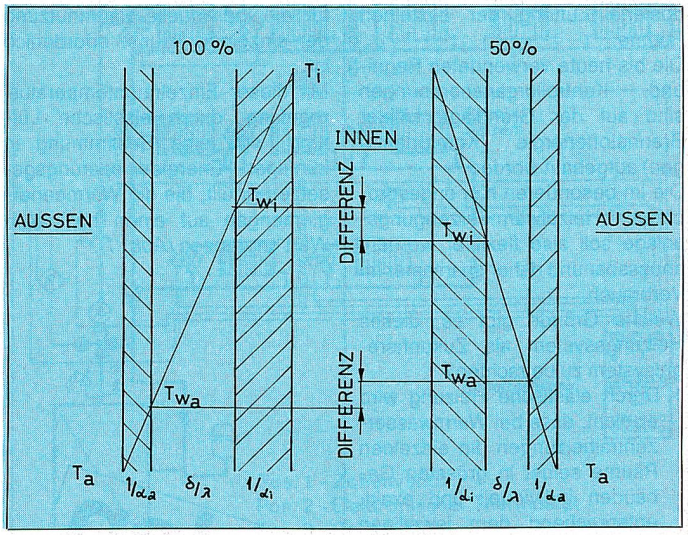

Abb. 7. Wärmedämmung – Gegenüberstellung

Schwachstellen, sei es an einer Maschine oder in einem Gebäude, in Form von thermischen Unregelmässigkeiten. Thermische Unregelmässigkeiten bedeuten aber auch Energieverluste, welche heute mehr denn je vermieden werden sollten.

Hier öffnet sich ein sehr vielseitiges Einsatzgebiet für die Infrarot-Thermographie, da mit diesem Hilfsmittel solche sonst verborgene Schwachstellen aufgezeigt werden können.

Das heisst, die Infrarot-Thermographie wird überall dort eingesetzt, wo aufgrund der Messwerte indirekt Rückschlüsse abgeleitet werden sollen.

Beispiele

- Feststellen von Wärmebrücken
- Auffinden und Sichtbarmachen fehlender oder mangelhafter Isolation
- Feststellen von Luftleckstellen bei Fenstern, Türen, in Bauwerkfugen und dergleichen
- Auffinden und Sichtbarmachen von Lecks an verdeckt liegenden Heizungsrohren (Fussbodenheizung, Fernheizleitungen usw.)
- Erkennen und Sichtbarmachen von Feuchtestellen in der Bausubstanz
- Zerstörungsfreie Prüfung und unbestechliche Nachkontrolle von Isolationsvorschriften
- Feststellen von Trägern, Leitungen und Hohlräumen in der Bausubstanz
- Sichtbarmachen von verdeckt liegenden Fachwerkkonstruktionen
- Nachweis vertraglich festgelegter Qualitätsansprüche bezüglich Wärmedämmung und Luftfeuchtigkeit
- Verkaufs- oder Kaufsempfehlung, Investitionsberatung
- usw.