

Anwendung der Thermographie im Bauwesen

Autor(en): **Hirt, Heinz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **101 (1983)**

Heft 14

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75109>

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.

Im Wärmeübergangskoeffizienten α werden zwei unterschiedliche Wärmetransportarten zusammengefasst: der langwellige Strahlungsaustausch der Oberfläche mit der Umgebung (Infrarotstrahlungsaustausch) und der konvektive Wärmetransport zwischen der grenznahen Luftschicht und der Oberfläche. Die Wärmeübergangszahl setzt sich demzufolge aus zwei verschiedenen Anteilen zusammen:

$$(5) \quad \alpha = \alpha_{\text{Konvektion}} + \alpha_{\text{Strahlung}}$$

Diese Grössen sind zeitlich und örtlich variabel und werden durch folgende Parameter beeinflusst:

$$(6) \quad \alpha_{\text{Konvektion}} = f(\Delta \vartheta, v_{\text{Wind}}, \text{Oberflächenrauigkeit})$$

$$(7) \quad \alpha_{\text{Strahlung}} = f(\epsilon_o, \Delta IR)$$

Bedingt durch die an der Aussenoberfläche stärker schwankenden Randbedingungen (Temperatur, Strahlung, Wind) wird ersichtlich, dass der äussere Wärmeübergang α_a eine schwer fassbare Grösse darstellt. In Bild 7 ist der zeitliche Verlauf des konvektiven Anteiles am Gesamtübergang über eine längere Periode dargestellt.

Die quantitativ schwer erfassbaren Wärmetransportvorgänge an der Gebäudeoberfläche sind mit ein Grund, dass thermographische Aussenaufnahmen in der Regel ohne aufwendige Zusatzmessungen nur qualitative Aussagen zulassen. Thermographiemessungen sollten sich daher auf das Gebäudeinnere konzentrieren.

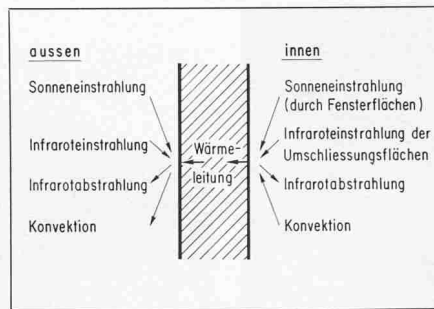


Bild 6. Explizite Darstellung der Wärmetransportvorgänge an der Gebäudehülle

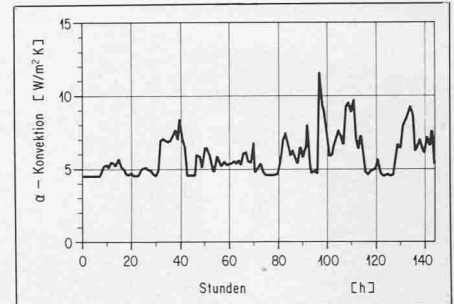


Bild 7. Konvektiver Wärmeübergang an einer horizontalen, glatten Metalloberfläche (Messresultate)

Schlussfolgerungen

Der Einsatz der Thermographie im Bauwesen zur quantitativen Bestimmung der Wärmeverluste ist ohne Durchführung von Zusatzmessungen zur Festhaltung der Randbedingungen nicht sinnvoll. Dies wird durch eine Reihe von ausländischen Untersuchungen bestätigt [1-4]. Dasselbe gilt in noch ausgeprägterem Masse für grossräumige Messungen aus der Luft, welche einen noch höheren Schwierigkeitsgrad bei der Auswertung aufweisen [5-8].

Das Schwergewicht der Anwendung der Thermographie im Bauwesen liegt heute bei der qualitativen Beurteilung von Baukonstruktionen im Zusammenhang mit der Lokalisierung von thermischen Schwachstellen in der Gebäudehülle. Den Randbedingungen muss jedoch auch hier die notwendige Aufmerksamkeit zukommen, um eine zuverlässige Interpretation der Messresultate gewährleisten zu können.

Literaturverzeichnis

- [1] Burch, D.M., Kusuda, T.: «An Infrared Technique for Estimating Building Heat Loss». ASHRAE Transactions 1978
- [2] Serwatzky, G.: «Infrarot-Thermographie». OEL, Zeitschrift für die Mineralölwirtschaft 12, 1979
- [3] Wolfseher, U.: «Energieeinsparung sichtbar gemacht». Wksb 8, 1979
- [4] Künzel, H., Holz, D.: «Möglichkeiten und Grenzen der Infrarot-Thermographie». Bauphysik 5, 1980
- [5] Burch, D.M.: «Infrared Audits of Heat Loss». ASHRAE Transactions 1980
- [6] Goldstein, R.J.: «Application of Aerial Infrared Thermography to the Measurement of Building Heat Loss». ASHRAE Transactions 1978
- [7] Hoffman, U.: «Die Infrarot-Thermographie als Hilfsmittel für stadtklimatologische Untersuchungen». Bauphysik 1979
- [8] Burch, D.M.: «The Use of Aerial Infrared Thermography to Compare the Thermal Resistance of Roofs». NBS Technical Note 1107, 1979

Adresse des Verfassers: Th. Frank, dipl. Ing. ETH, EMPA, Abt. Bauphysik, 8600 Dübendorf.

Anwendung der Thermographie im Bauwesen

Von Heinz Hirt, Spiez

Anwendungsmöglichkeiten

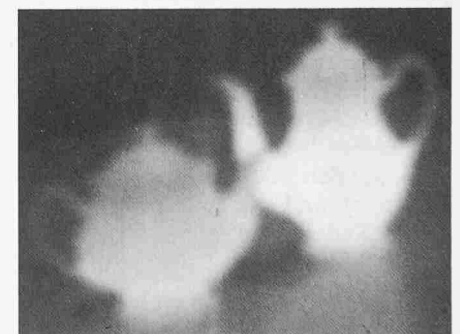
Um den Leser in die Anwendungsgebiete einzuführen, beginnen wir mit einer Aufnahme von Oberflächentemperaturen einfacher Gegenstände. Die Krüge (Bild 1) sind auf einer thermographischen Aufnahme (Bild 2) wiederzuerkennen. Sie unterscheiden sich im Grauton: Heller Grauton bedeutet wärmer, dunkler Grauton bedeutet kälter. Der hellere Krug ist somit wärmer als der dunklere. Da beide Krüge gleiche Materialeigenschaften und gleiche Wandstärken haben, kann folgendes interpretiert werden: Der grosse Krug ist

mit mehr und wärmerer Flüssigkeit gefüllt als der kleine Krug.

Bild 1. Photographische Aufnahme zweier Krüge



Bild 2. Thermographische Aufnahme zweier Krüge



Thermographische Aufnahmen im Bauwesen, z. B. die Aufnahme der Fassade (Bild 3) des Hauses (Bild 4), sind nicht so einfach zu interpretieren: Verschiedene Ursachen führen zu den unterschiedlichen Temperaturverteilungen. Für einen ersten Anwendungsbereich im Bauwesen sind einfache Grautonabstufungen hinreichend.

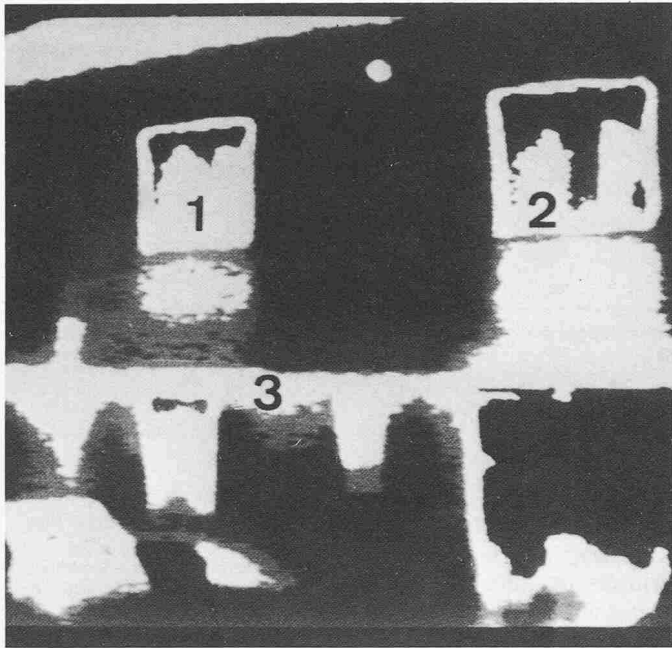


Bild 3. Thermographische Aufnahme einer Fassade



Bild 4. Photographische Aufnahme einer Fassade



Bild 5. Photographische Aufnahme einer Zimmertür

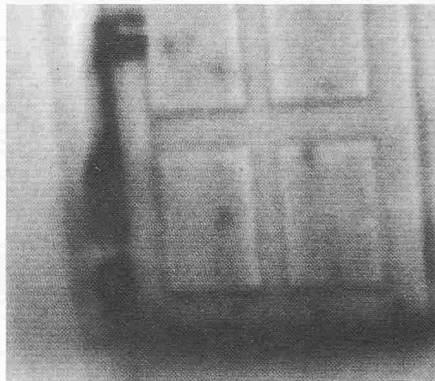


Bild 6. Thermographische Aufnahme einer Zimmertür

Durch Luftströme werden Oberflächentemperaturveränderungen verursacht: Die *Luftdurchlässigkeit* der Gebäudehülle wird sichtbar. Bild 5 zeigt eine undichte Tür: Durch die eindringende, kalte Luft wird die Umgebung abgekühlt und kann sichtbar gemacht werden (Bild 6).

Für die *Überprüfung* von Fenstern, Türen (sowohl neue wie alte), Konstruktionsanschlüssen (z. B. Holz an Backstein) *auf Mängel*, in bezug auf deren Luftdurchlässigkeit, ist die Thermographie ein schnelles und zweckmässiges Hilfsmittel.

Auch über *Benutzungsgewohnheiten* lassen sich rasch wichtige Aussagen machen, z. B. über Lüftungsgewohnheiten bei Grossüberbauungen. Mit einem Blick auf den Bildschirm lässt sich feststellen, ob und wie viele Fenster offen oder halboffen sind.

Ein weiteres Anwendungsgebiet im Bauwesen, bei welchem einfache Grautonaufnahmen hinreichende Resultate

liefern, ist die *Ortung von Heizungsrohren* sowie das Sichtbarmachen von Konstruktionsteilen wie *Holzfachwerken* und *Armierungseisen*.

Für einen weiteren Anwendungsbereich im Bauwesen wird mit wenig zusätzlichem Aufwand die *Temperaturverteilung der Oberfläche* gemessen.

Pro Bild sind etwa 100×100 Punkte einzeln messbar. Die Messpunkte werden elektronisch ausgewertet, z. B. sind für die Bauthermographie Flächen mit gleicher Temperatur innerhalb eines Bereiches (z. B. von 1 K) wichtig und können entsprechend dargestellt werden.

Ist einmal die Verteilung der Oberflächentemperatur ϑ_o bestimmt, können *Aussagen über den Wärmefluss* gemacht werden, z. B. kann der Wärmefluss von der Oberfläche der Teekanne in die Umgebung ϑ_i berechnet werden, wenn auch die Umgebungstemperatur und der Wärmeübergangsfaktor α bekannt sind.

$$(1) \quad q = \alpha(\vartheta_o - \vartheta_i)$$

Wir können diese Methode auf die Wand des Beispiels in Bild 7 anwenden und dabei voraussetzen, dass wir den *k-Wert* der hellen Fläche am Bild 8 mit irgendeiner Methode bestimmen und als k_1 mit der Fläche F_1 bezeichnen, wobei die gemessene Oberflächentemperatur dieser Fläche ϑ_{F_1} beträgt.

Wenn *mit Hilfe der Thermographie* (Bild 8: dunkle Fläche) eine zweite Wandoberflächentemperatur ϑ_{F_2} mit der Fläche F_2 und mit einem Thermometer die Lufttemperaturen der Umgebung ϑ_i innen und ϑ_a aussen gemessen werden, ergeben sich folgende Beziehungen:

$$(2) \quad q_1 = \alpha_i(\vartheta_i - \vartheta_{F_1}) = k_1(\vartheta_i - \vartheta_a)$$

$$(3) \quad q_2 = \alpha_i(\vartheta_i - \vartheta_{F_2}) = k_2(\vartheta_i - \vartheta_a)$$

$$(4) \quad \frac{q_2}{q_1} = \frac{\vartheta_i - \vartheta_{F_2}}{\vartheta_i - \vartheta_{F_1}} = \frac{k_2}{k_1}$$

$$(5) \quad k_2 = k_1 \frac{\vartheta_i - \vartheta_{F_2}}{\vartheta_i - \vartheta_{F_1}}$$

und mit

$$(6) \quad F = F_1 + F_2$$

$$(7) \quad k_m \cdot F = k_1 \cdot F_1 + k_2 \cdot F_2$$

$$k_m = \frac{k_1 F_1 + k_2 F_2}{F}$$

wobei

$$k_m = \text{mittlerer } k\text{-Wert der Fläche } F_1 + F_2$$

Bei diesen Betrachtungen sind *stationäre Verhältnisse vorausgesetzt*. Stationäre Verhältnisse können sich in einem Ausbauteil nur einstellen, wenn über

einen längeren Zeitraum hinweg konstante Raum- und Aussentemperaturen und konstante Wärmeübergangsbestimmungen herrschen. Die Zeitspanne, in der diese konstanten Verhältnisse erreicht werden müssen, hängt von der Wandkonstruktion, d. h. von der Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit der Materialien ab.

In der Bauthermographie ist der stationäre Zustand bei fehlender Sonneneinstrahlung für *doppelverglaste Fenster* infolge der geringen Wärmekapazität und der grossen Wärmeleitfähigkeit fast immer gegeben. Für *Wände* aber müssten je nach Konstruktionsart die konstanten Verhältnisse über einen Zeitraum von einigen Stunden für leichte und bis zu einigen Tagen für schwere Konstruktionen dauern, bis sich ein stationärer Zustand einstellt. Solche Bedingungen können real nie angetroffen werden.

Es ist deshalb wichtig, die Umweltbedingungen vor und während der Messung, den Aufbau und die Materialart der zu messenden Konstruktion sowie weitere Einflussfaktoren zu kennen, um trotzdem mit Überlegungen des periodischen instationären Wärmedurchganges [1] Aussagen machen zu können. Bei dieser Gelegenheit möchte ich betonen, dass es sich bei diesem Vorgehen um eine Methode handelt, bei der *qualitative Aussagen* gemacht werden, die in der Praxis für eine Beurteilung in der Regel hinreichend sind. *Quantitative Angaben* über den Wärmefluss mit Hilfe der Thermographie sind des grossen Aufwandes wegen *nur ausnahmsweise gerechtfertigt*.

Mit den bisherigen Erläuterungen soll auch die Notwendigkeit von Richtlinien für die Handhabung von thermographischen Aufnahmen begründet werden. Ohne einschlägige Kenntnisse könnte mit Fehlinterpretationen viel Missbrauch betrieben werden. Deshalb sind auch die Anforderungen an die mit den Aufnahmen und Interpretationen betrauten Personen, wie sie von der ISO [2] verlangt werden, sehr hoch: «Die Interpretation thermischer Unregelmässigkeiten erfordert speziell ausgebildetes Personal und Erfahrung auf dem Gebiet der Bautechnik, der Bauphysik, der Heizungs- und Lüftungstechnik und der Messtechnik.»

Anforderungen an Umwelt und Personal

Sowohl die *International Organization for Standardization (ISO)* wie der *Verband schweizerischer Experten für Bauthermographie (VSEB)* haben sich mit

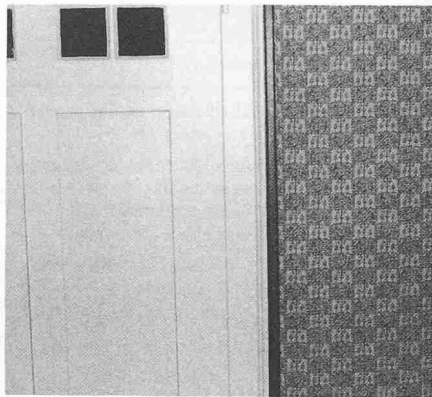


Bild 7. Photographische Aufnahme einer Wand (rechts) und einer Zimmertüre (links)

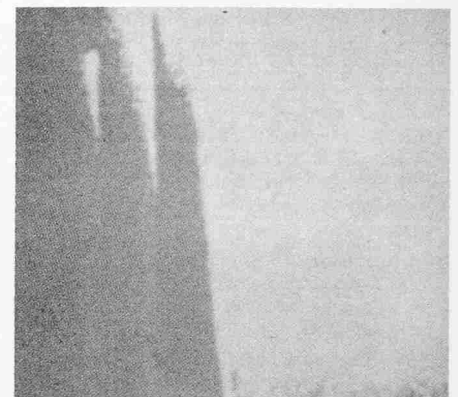


Bild 8. Thermographische Aufnahme desselben Ausschnitts wie Bild 7

Tabelle 1. Randbedingungen einer thermographischen Messung

Bedingungen	Einflussfaktoren	Störfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> - Die aktuellen Anforderungen an die Messung können in Abhängigkeit der bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudewand, die untersucht werden soll, variieren. - Der Temperaturabfall durch die Wand muss genügend gross sein, um die Ermittlung von Temperaturunregelmässigkeiten zu ermöglichen. - Keine direkte oder reflektierende Sonneneinstrahlung - Kein starker Schneefall - Kein dichter Nebel - Keine fremde Wärmequelle - Keine starken Reflexionen - Keine starken Temperaturschwankungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Charakteristik der Gebäude-Aussenwand, z.B. Lage von Isolationsschichten, Baumaterialien usw. - Strahlungseigenschaften des Oberflächenmaterials - Klimatische Faktoren - Zugänglichkeit für einfache Inspektionen - Einfluss der Umwelt - Tageszeit und Witterungsverhältnisse 	<ul style="list-style-type: none"> - Unterschiedliche Raumtemperaturen innerhalb des Gebäudes - Windeinflüsse - Aufnahmewinkel und Aufnahmedistanz - Unterschiedliche Druckdifferenzen im Baukörper

der Standardisierung thermographischer Aufnahmen und deren Interpretation befasst [2, 3]. Es werden hier die wichtigsten Elemente der Standardisierungs Bemühungen umschrieben.

Im Vordergrund aller Bemühungen steht eine Methode für die *qualitative* Ermittlung von bauphysikalischen Unregelmässigkeiten. Quantitative Methoden sind möglich, aber mit viel Aufwand verbunden.

Neben der Spezifikation der Messgeräte, Angaben über das Messprinzip, die Minimalanforderungen an die Messeinrichtungen befassen sich die Richtlinien mit den Messbedingungen, den Ausführungsvorschriften und den Anforderungen an den thermographischen Bericht. In Tabelle 1 werden die wesentlichsten Bedingungen und Faktoren, die zur Berücksichtigung empfohlen werden, zusammengestellt.

Als *Beispiel* werden in der VSEB - Norm [3] für eine mittelschwere Wandkonstruktion (z. B. B 25) - folgende Messbedingungen angegeben.

- Mindestens 12 Stunden vor und während der Untersuchung soll die minimale Lufttemperatur - Differenz in-

- nen/aussen - mehr als 10 K betragen.
- Während dieses Zeitraums darf die Schwankung der Aussenlufttemperatur nicht mehr als $\pm 30\%$ der Differenz bei Beginn der Messung betragen. (Damit soll ein «quasi stationärer» Zustand angestrebt werden.)
- Während des 12-Stunden-Zeitraumes muss die Sonneneinstrahlung bekannt sein.
- Mindestens 12 Stunden vor Beginn der Thermographie soll keine direkte Sonneneinstrahlung auf die zu messenden Gebäudeoberflächen erfolgen.
- Die Minimum und Maximumtemperatur des Messplatzes sollte für eine Periode von 24 Stunden bekannt sein, bevor mit der thermographischen Messung begonnen wird.

Im weiteren umschreiben die Richtlinien die Ausführung der Messungen, die Auswertung der Thermogramme und insbesondere verschiedene Typen von Temperaturbildern, die für entsprechende Defekte charakteristisch sind (z. B. Luftdurchlässigkeit, Kältebrücken, nicht vorhandene Isolation usw.). Ferner ist ein sehr wichtiger Bestandteil der Richtlinien die Festlegung

Tabelle 2. Inhalt eines thermographischen Berichts

Allgemeine Angaben	Messprotokoll je Aufnahme	Auswertung
<ul style="list-style-type: none"> - Kurze Beschreibung der Konstruktionsmerkmale des Gebäudes. (Diese Information hat auf Zeichnungen oder anderen Konstruktionsdokumenten zu basieren.) - Geografische Orientierung des Gebäudes sowie Beschreibung der Umgebung (Gebäude, Vegetation, Topographie). - Spezifikation des Messgerätes einschließlich Modell und Seriennummer. - Aussentemperatur (zum mindesten die Minimum- und Maximumwerte, welche im Verlauf von 24 Stunden vor dem Test und während des Tests beobachtet wurden). - Allgemeine Informationen über die Sonneneinstrahlung. (Beobachtet während 12 Stunden vor dem Start des Tests und während des Tests.) - Niederschläge, Windrichtung, Windgeschwindigkeit während des Tests. - Skizzen/Fotokopien der Gebäude, welche die Position der Thermogramme zeigen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datum und Stunde der Messung - Raumlufttemperatur, Aussentemperatur - Typ des Oberflächenmaterials und der Emissionsfaktor für dieses Material. - Luftdruckunterschied über die windabgewandte und windzugewandte Seite. - Andere wichtige Bedingungen und Faktoren, welche die Testresultate beeinflussen können. (Siehe Tabelle 1) - Thermogramme des Tests unter Festhalten der betreffenden Position. Kommentar der thermischen Bilder. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifizierung der geprüften Gebäudeteile. - Resultat und Analyse jedes Typs von festgestellten Fehlern und Ausmass dieser Fehler - Resultate von zusätzlichen Messungen und Untersuchungen.

des Inhaltes eines thermographischen Berichtes (vgl. Tabelle 2).

Ferner sollte der Bericht Angaben über das weitere Vorgehen oder die zu treffenden Massnahmen enthalten, da es für Auftraggeber, die nicht Bauphysikspezialisten und mit Thermographie vertraut sind, schwer ist, aus der Analyse die Massnahmen zu interpretieren.

Zweckmässiger Einsatz

Zusammenfassend kann folgendes ausgesagt werden: *Als qualitative Methode*

kann die Thermographie im Bauwesen zweckmässig und wirtschaftlich für viele Aufgaben eingesetzt werden:

- genaue *Zustandsaufnahme* des Gebäudekörpers im Rahmen der Beratertätigkeit einer Feinanalyse (z. B. Unregelmässigkeiten in der Isolation, Wärmebrücken, Luftdurchlässigkeit, Benützergewohnheiten)
- Überprüfung von Neubauten bezüglich *Unregelmässigkeiten* (Kontrolle: Sind die Vorschriften eingehalten worden?)
- *Sichtbarmachung* von Rohrleitungen, verdeckten Holzkonstruktionen, Armierungseisen, Feuchtigkeitserscheinungen usw.

nen, Armierungseisen, Feuchtigkeitserscheinungen usw.

Sehr wichtig für die Thermographie scheint mir der *zielgerechte Einsatz* zu sein. Nur so ist ein wirtschaftlicher Einsatz möglich. Zum Beispiel ist der Einsatz im Rahmen einer Energieberatung in jenen Phasen sinnvoll, in denen viele Daten, die für die Thermographie wichtig sind, ohnehin zu erheben sind, also bei der genauen Zustandsaufnahme von Gebäudekörper, haustechnischen Anlagen und Benützergewohnheiten.

So reduzieren sich die Kosten der Thermographie auf die reine Messzeit, die um so kürzer ist, je zielgerichteter gearbeitet wird.

Als Folge des oben Gesagten geht auch hervor, dass die Thermographie (im Rahmen von Energieberatungen) nur dann sinnvoll ist, wenn ein Gebäude im Rahmen einer Grobanalyse bezüglich Energieverbrauch untersucht worden ist und es sich gezeigt hat, dass mit einer Feinanalyse ein Paket wirtschaftlicher Massnahmen zusammengestellt werden kann. In diesen Fällen halte ich die Thermographie für ein zeit- und kostensparendes Hilfsmittel.

Literatur

- [1] Hauri, H.H.: «Berechnung des dynamischen k-Werts». Bauphysik H. 2, S. 50-52, 1979
- [2] International Organization for Standardization (ISO): «Thermal insulation. Infrared method for qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes». ISO-Empfehlung DP 6781.3 E, Anhang A, 1979
- [3] Norm VSEB: «Thermographie». Verband schweiz. Experten für Bauthermographie, Kriens, 1980

Adresse des Verfassers: H. Hirt, dipl. Ing. ETH/SIA, Form + Statik, Hirt + Rohrer AG, Seestrasse 22, 3700 Spiez.