

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 101 (1983)
Heft: 14

Artikel: Anwendung der Thermographie im Bauwesen
Autor: Hirt, Heinz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75109>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

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:

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

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

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*.

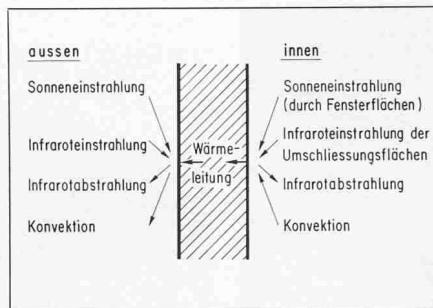


Bild 6. Explizite Darstellung der Wärmetransportvorgänge an der Gebäudehülle

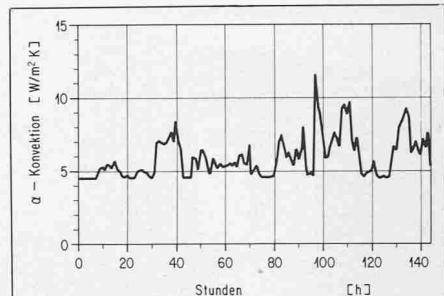


Bild 7. Konvektiver Wärmeübergang an einer horizontalen, glatten Metalloberfläche (Messresultate)

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 stadt-klimatologische 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 Anwendungsbiete 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

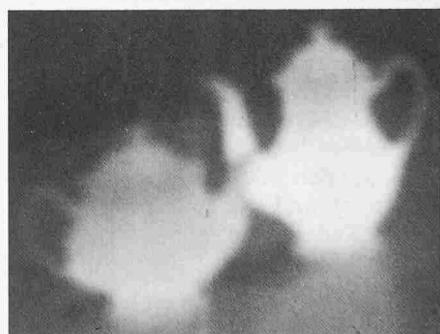
mit mehr und wärmerer Flüssigkeit gefüllt als der kleine Krug.

Bild 1. Photographische Aufnahme zweier Krüge



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 2. Thermographische Aufnahme zweier Krüge



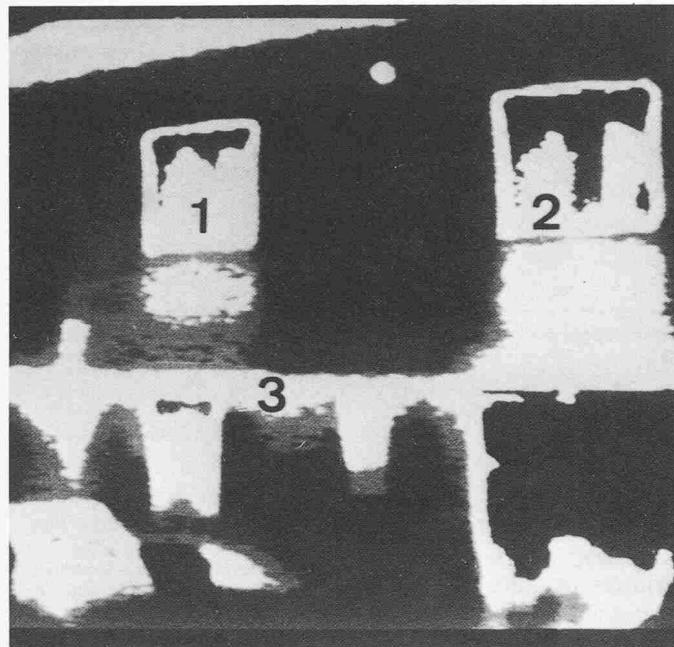


Bild 3. Thermographische Aufnahme einer Fassade



Bild 4. Photographische Aufnahme einer Fassade

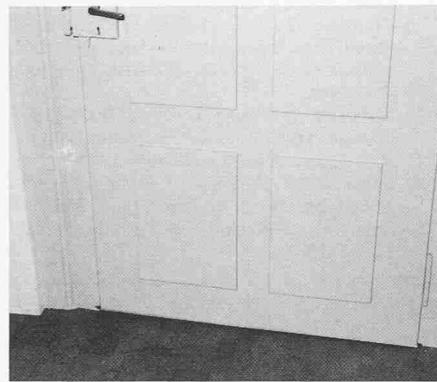


Bild 5. Photographische Aufnahme einer Zimmertür

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

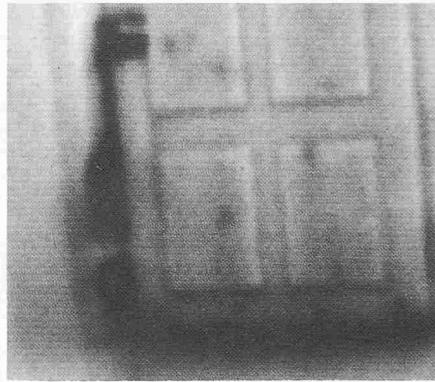


Bild 6. Thermographische Aufnahme einer Zimmertür

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, wo bei 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 Außenbauteil 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 statio-näre Zustand bei fehlender Sonneneinstrahlung für *doppelverglaste Fenster* in-folge der geringen Wärmekapazität und der grossen Wärmeleitfähigkeit fast immer gegeben. Für *Wände* aber müssten je nach Konstruktionsart die konstan-ten Verhältnisse über einen Zeitraum von einigen Stunden für leichte und bis zu einigen Tagen für schwere Konstruktionen dauern, bis sich ein statio-närer Zustand einstellt. Solche Bedin-gungen können real nie angetroffen werden.

Es ist deshalb wichtig, die Umweltbedingungen vor und während der Mes-sung, den Aufbau und die Materialart der zu messenden Konstruktion sowie weitere Einflussfaktoren zu kennen, um trotzdem mit Überlegungen des peri-odischen instationären Wärmedurch-ganges [1] Aussagen machen zu können. Bei dieser Gelegenheit möchte ich be-to-nen, dass es sich bei diesem Vorgehen um eine Methode handelt, bei der *qua-litative 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 Richtli-nien für die Handhabung von thermo-graphischen Aufnahmen begründet werden. Ohne einschlägige Kenntnis-sen 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 Inter-pretation thermischer Unregelmä-sigkeiten erfordert speziell ausgebilde-tes 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 *Ver-ein schweizerischer Experten für Bau-thermographie* (VSEB) haben sich mit

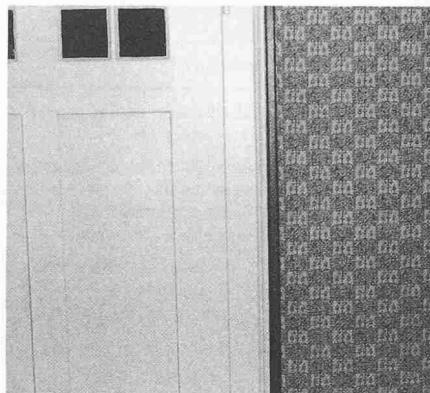


Bild 7. Photographicische Aufnahme einer Wand (rechts) und einer Zimmertür (links)

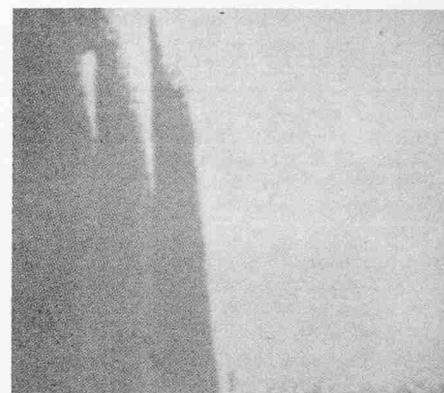


Bild 8. Thermographische Aufnahme desselben Ausschnitts wie Bild 7

Tabelle 1. Randbedingungen einer thermographischen Messung

Bedingungen	Einflussfaktoren	Störfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> - Die aktuellen Anforderungen an die Messung können in Abhängig-keit der bauphysikalischen Eigen-schaften 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 Temperatur-schwankungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Charakteristik der Gebäu-de-Aussenwand, z.B. Lage von Isolationsschichten, Baumaterialien usw. - Strahlungseigenschaften des Oberflächenmaterials - Klimatische Faktoren - Zugänglichkeit für einfache Inspektionen - Einfluss der Umwelt - Tageszeit und Witterungs-verhältnisse 	<ul style="list-style-type: none"> - Unterschiedliche Raum-temperaturen innerhalb des Gebäudes - Windeinflüsse - Aufnahmewinkel und Aufnahmedistanz - Unterschiedliche Druck-differenzen im Baukörper

der Standardisierung thermographi-scher Aufnahmen und deren Interpre-tation befasst [2, 3]. Es werden hier die wichtigsten Elemente der Standardisie-rungsbemühungen umschrieben.

Im Vordergrund aller Bemühungen steht eine Methode für die *qualitative* Ermittlung von bauphysikalischen Un-regelmässigkeiten. Quantitative Metho-den sind möglich, aber mit viel Auf-wand verbunden.

Neben der Spezifikation der Messgerä-te, Angaben über das Messprinzip, die Minimalanforderungen an die Mess-einrichtungen befassen sich die Richtli-nien mit den Messbedingungen, den Ausführungsvorschriften und den An-forderungen an den thermographi-schen Bericht. In Tabelle 1 werden die wesentlichsten Bedingungen und Fak-toren, die zur Berücksichtigung emp-fohlen werden, zusammengestellt.

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

- Mindestens 12 Stunden vor und wäh-rend der Untersuchung soll die mini-male Lufttemperatur – Differenz in-

nen/aussen – mehr als 10 K betragen.

- Während dieses Zeitraums darf die Schwankung der Aussenlufttemperatur nicht mehr als $\pm 30\%$ der Diffe-renz bei Beginn der Messung betra-gen. (Damit soll ein «quasi stationärer» Zustand angestrebt werden.)
- Während des 12-Stunden-Zeitraumes muss die Sonneneinstrahlung be-kannt sein.
- Mindestens 12 Stunden vor Beginn der Thermographie soll keine direkte Sonneneinstrahlung auf die zu mes-senden Gebäudeoberflächen erfol-gen.
- Die Minimum und Maximumtem-pe-ratur des Messplatzes sollte für eine Periode von 24 Stunden bekannt sein, bevor mit der thermographi-schen Messung begonnen wird.

Im weitereren umschreiben die Richtli-nien die Ausführung der Messungen, die Auswertung der Thermogramme und insbesondere verschiedene Typen von Temperaturbildern, die für ent-sprechende Defekte charakteristisch sind (z. B. Luftdurchlässigkeit, Kälte-brücken, nicht vorhandene Isolation usw.). Ferner ist ein sehr wichtiger Be-standteil 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 Maximumswerte, 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,

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.*