

# INSTITUT FÜR BAUPHYSIK DER FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Chr. Kupke

## Bestimmung der Wärmedämmung von Wänden unter instationären Bedingungen

Das im folgenden beschriebene Meßverfahren eignet sich besonders zur Bestimmung der Wärmedämmung (Wärmedurchlaßwiderstand  $1/\lambda$  bzw. Wärmedurchgangskoeffizient  $k$ ) von Wänden in ausgeführten Bauten, da in diesem Fall im allgemeinen schwankende Temperaturen zu beiden Seiten des Bauteils herrschen. Es hat den Vorteil, daß es experimentell einfach und im Vergleich zu herkömmlichen Methoden schnell durchgeführt werden kann und hinsichtlich der Witterung keinen einschränkenden Bedingungen unterliegt. Die Auswertung der Messungen ist allerdings umfangreich und kann praktisch nur auf einer elektronischen Rechenanlage durchgeführt werden.

Die Grundlagen des Verfahrens wurden von Aittomäki<sup>1)</sup> angegeben.

Eine ausführliche Darstellung sowie die Ergebnisse durchgeführter Untersuchungen sind in einem Bericht für das Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau<sup>2)</sup> enthalten.

### 1. Grundlagen des Verfahrens

Die Wärmestromdichte  $\Phi(t_x)$  in einer Wand zur Zeit  $t_x$  kann durch eine unendliche Summe von Gliedern dargestellt werden. Die einzelnen Glieder können abhängig sein von den Temperaturen bzw. den zeitlichen Temperaturverläufen zu beiden Seiten der Wand sowie einer Anzahl von Größen, die vom Aufbau und den Materialien der jeweiligen Wand abhängen. Diese Größen werden im folgenden als Unbekannte bezeichnet.

Eine dieser Unbekannten ist der Wärmedurchlaßkoeffizient  $\lambda$ , falls der Auswertung die Oberflächentemperaturen der Wand zugrunde gelegt werden bzw. der Wärmedurchgangskoeffizient  $k$ , wenn die Lufttemperatur zu beiden Seiten der Wand zugrunde gelegt werden. Es ist das Ziel der Auswertung, diese Unbekannten zu bestimmen.

Die Glieder der unendlichen Summe können ab einer bestimmten Ordnung vernachlässigt werden; damit ist die Anzahl der Unbekannten begrenzt. Zu deren Bestimmung benötigt man ebensoviele Gleichungen, wie Unbekannte vorhanden sind. Die Gleichungen erhält man, indem man sie für verschiedene Zeiten  $t_x$  aufstellt.

Eine Schwierigkeit beim Lösen dieses Gleichungssystems tritt dadurch auf, daß nicht alle Unbekannten in linearer Form vorkommen, sondern zum Teil in Exponentialfunktionen auftreten. Man behilft sich damit, daß diese letzteren Unbekannten, die mit  $\tau_1 \dots \tau_n$  bezeichnet werden, zunächst abgeschätzt werden und das damit entstandene lineare Gleichungssystem gelöst wird.

Setzt man die so bestimmten Unbekannten in das Gleichungssystem ein, so lassen sich damit die Wärmestromdichten  $\Phi'(t_x)$  berechnen. Die Abweichungen zwischen den errechneten Größen  $\Phi'(t_x)$  und den gemessenen Größen  $\Phi(t_x)$  sind ein Maß für die Güte der Abschätzung der im Exponenten stehenden Unbekannten. Diese werden nun variiert, und der Rechengang wird solange wiederholt, bis die Abweichung  $\Phi'(t_x) - \Phi(t_x)$  ein Minimum wird.

### 2. Praktische Durchführung der Messung

Die Wärmestromdichten, sowie die Luft- bzw. Oberflächentemperaturen zu beiden Seiten des Bauteils, werden jeweils zu verschiedenen Zeiten erfaßt. Um Zufälligkeiten bei der Erfassung der Meßwerte zu entgehen, ist es zweckmäßig, die Meßgrößen eine bestimmte Zeit zu integrieren und den Mittelwert zu nehmen. Bei hochdämmenden Wänden muß darauf geachtet werden, daß die einzelnen Meßgrößen kausal voneinander abhängen, d. h. ein Temperatursprung auf der Außenseite der Wand sollte sich auf der Innenseite noch bemerkbar machen. Das Zeitintervall zwischen den Zeiten, an denen die Werte erfaßt werden, sollte zwischen einer halben und zwei Stunden liegen. Für die Erstellung des Gleichungssystems werden die Werte von 12 bis 30 Zeitpunkten benötigt. Dies ergibt eine maximale Meßdauer von 3 Tagen.

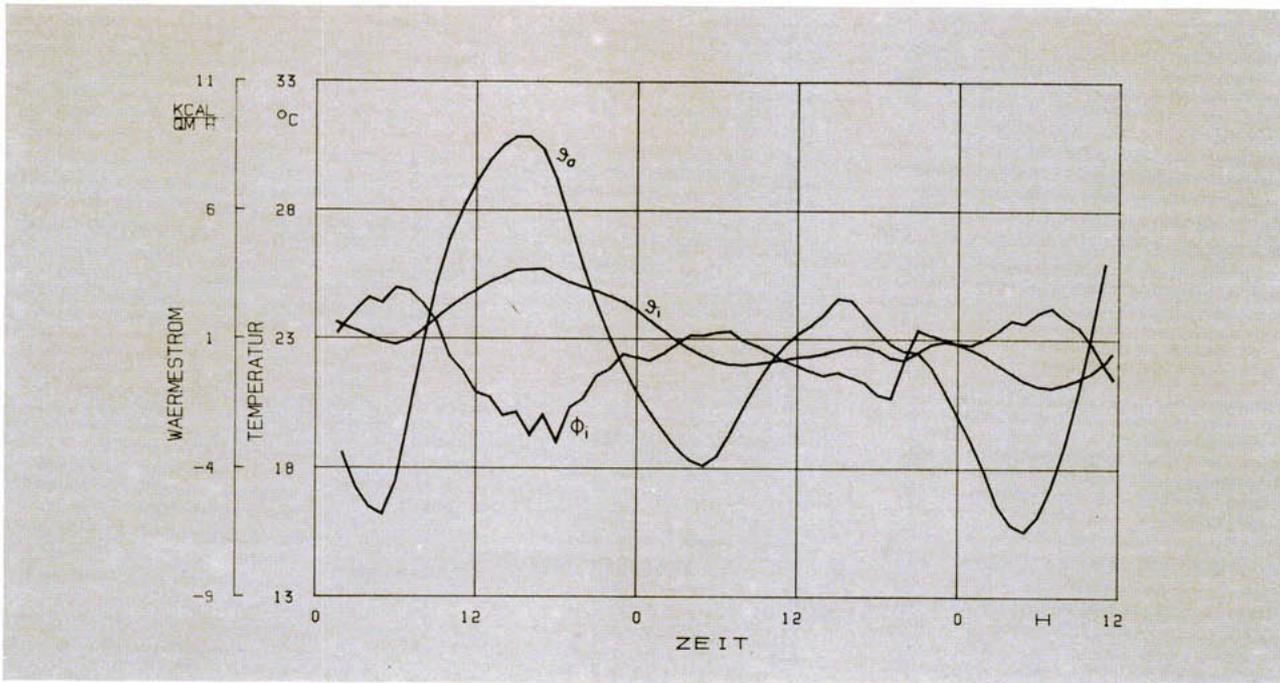
### 3. Ergebnisse und Beispiel

Für eine Wand, für die nach DIN 52611 ein Wärmedurchlaßwiderstand  $1/\lambda$  von  $2,04 \text{ m}^2 \text{ h K/kcal}$  gemessen wurde, sind in Bild 1 die bei einer Untersuchung nach der instationären Methode gemessenen Werte der Oberflächentemperaturen  $\vartheta_o$  und  $\vartheta_i$  sowie die Wärmestromdichte  $\Phi_i$  dargestellt.

Bei der Auswertung werden die im Exponenten stehenden Unbekannten  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  variiert. Zunächst werden die Glieder, in denen  $\tau_2$  und  $\tau_3$  enthalten sind, vernachlässigt und nur  $\tau_1$  schrittweise variiert. Die mittlere Abweichung der gerechneten zu den gemessenen Wärmestromdichten  $\Phi'(t_x) - \Phi(t_x)$  wird als  $\Delta\Phi$  bezeichnet. Im obigen Beispiel erreicht die

<sup>1)</sup> Aittomäki, A.: Determination of the overall heat transfer coefficient of multilayer structures under non-steady-state conditions CIB-Sitzung 1972 in Tegernsee (Obb.).

<sup>2)</sup> Kupke, Chr.: Untersuchung über ein Wärmedämm-Schnellmeßverfahren. Bericht BW 148/76 für das Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn-Bad Godesberg (B II 5 - 800173-20).



**Bild 1**  
Temperatur  $\vartheta_a$  auf der Außenoberfläche, Temperatur  $\vartheta_i$  und Wärmestromdichte  $\phi_i$  auf der Innenoberfläche einer Wand in Abhängigkeit von der Zeit.

Abweichung für  $\tau_1 = 5$  ein Minimum. Danach wird  $\tau_1$  konstant gehalten und  $\tau_2$  variiert usw. Die Ergebnisse der einzelnen Auswertungen sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Man erkennt, daß der Wärmedurchlaßwiderstand  $1/\Delta$  von den Gliedern mit  $\tau_2$  und  $\tau_3$  nur noch wenig beinflußt wird. Glieder höherer Ordnung spielen gar keine Rolle mehr. Dies zeigte sich auch bei den anderen durchgeführten Untersuchungen.

In Tabelle 2 sind eine Anzahl von Ergebnissen der nach der beschriebenen Methode durchgeführten Untersuchungen bei verschiedenen Wänden den Ergebnissen, die aus stationären Messungen nach DIN 52611 resultierten, gegenübergestellt. Die prozentuale Abweichung des instationär gegenüber dem stationär gemessenen Wert wird als Fehler bezeichnet. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, stimmen die Werte mit befriedigender Genauigkeit überein.

**Tabelle 1**  
Ergebnisse bei der Auswertung des Temperaturverlaufs nach Bild 1.

Auswertung	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$1/\Delta$	
				$m^2 h K/kcal$	$\Delta\phi$
1	6,0	—	—	2,17	0,1749
2	5,0	—	—	2,18	0,1734
3	4,0	—	—	2,22	0,1768
4	5,0	1,0	—	2,02	0,1605
5	5,0	1,3	—	2,00	0,1619
6	5,0	0,7	—	2,08	0,1675
7	5,0	1,0	0,4	2,03	0,1605
8	5,0	1,0	0,7	2,03	0,1605

**Tabelle 2**  
Stationär und instationär gemessene Werte des Wärmedurchlaßwiderstandes  $1/\Delta$  von verschiedenen Wänden.

Wand Nr.	Wärmedurchlaßwiderstand $1/\Delta$		Fehler
	stationär	instationär	
	$m^2 h K/kcal$	$m^2 h K/kcal$	%
1	1,22	1,18	3,5
2	2,04	2,03	0,5
3	0,67	0,65	1,5
4	0,32	0,31 <sub>5</sub>	1,5
5	0,51	0,51	0



Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des Instituts für Bauphysik

INSTITUT FÜR BAUPHYSIK DER FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT  
7 STUTTGART 70 DEGERLOCH, Königstraße 74, Tel. (07 11) 76 50 08/09  
Außenstelle: 815 HOLZKIRCHEN (OBB.), Postfach 1180, Tel. (08024) 572