

12 (1985) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

V. König

Hohlräume in Mauersteinen — wärmetechnisch optimiert

Ruhende Luft dämmt Wärme

Eine der wichtigsten Maßnahmen den Heizenergieverbrauch von Gebäuden zu senken, besteht in einer Erhöhung der Wärmedämmung, d.h. einer Verringerung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände. Dies kann durch zusätzliche Dämmschichten aus z.B. Faser- oder Hartschaum-Material, aber auch durch Hohlräume in Mauersteinen erreicht werden. Je kleiner und zahlreicher diese (geschlossenen) Hohlräume sind, desto ruhender ist die eingeschlossene Luft und desto geringer die Wärmeübertragung. Demgegenüber sollen zur Erzielung einer bestimmten Steinfestigkeit und aus materialtechnischen Gründen die Hohlkammern größer sein. Der Steinhersteller hat eine Optimierungsaufgabe nach verschiedenen Parametern zu lösen.

Traditionelle Messung der Wärmeleiteigenschaften

Bis vor wenigen Jahren ließ sich die Wärmedämmung im Mauerwerk aus vermörtelten Steinen nur meßtechnisch ermitteln. Nach DIN 52611 [1] werden Wandprobekörper von z.B. 1,5 m x 1,5 m aufgemauert und dann bei verschiedenen Feuchtegehalten zwischen einem Kalt- und Warmraum die hindurchtretende Wärmemenge bestimmt. Bei homogenen Steinen ohne Hohlkammern (Vollsteine) kann auch an dünneren Platten eine Messung der Wärmeleitfähigkeit im Poensgengerät nach DIN 52612 [2] erfolgen. Neuerdings werden solche Messungen erfolgreich auch an kleineren Platten, die

aus Hohlkammersteinen herausgesägt werden, durchgeführt. Hierdurch ist es möglich, die Materialeigenschaften des Steinscherbens in trockenem oder baupraktisch feuchtem Zustand zu charakterisieren.

Berechnungen mit Hilfe Finiter-Elemente-Methoden

Wenn die Hohlräume in Mehrkammersteinen für ein bestimmtes Steinbild (Steganordnungen) wärmetechnisch gekennzeichnet werden können, lassen sich unterschiedliche Mauersteine rechnerisch vergleichen und bewerten. Hierzu bieten sich Finite-Elemente-Methoden an. Diese Methoden lassen sich auch auf den Wärmetransport durch ein Mauerwerk übertragen. Bei Hohlkammersteinen erfolgt dieser hauptsächlich über die Stege der Kammern, den Steindeckel und die meist vermörtelten Fugen (vertikale Stoßfuge und horizontale Lagerfuge). Die für Mauerwerksoptimierungen wesentlichen wärmetechnischen Einflußgrößen sind somit die Hohlraumgeometrien, die Wärmeleiteigenschaften des Stein- und Mörtelmaterials, die Steinabmessungen (Fugenanteil!) und die Vermörtelungsart. Eine Grundsatzuntersuchung [3] mit Hilfe solcher numerischer Rechenmethoden zeigt quantitativ den Einfluß einzelner Parameter auf den Wärmedurchgang durch das Mauerwerk. Hiernach kann die äquivalente Wärmeleitfähigkeit λ_{eq} eines Mauerwerks einer bestimmten Steinart für verschiedene Rohdichteklassen, d.h. Steinleitfähigkeiten λ_S , bestimmt werden nach

$$\lambda_{\text{eq}} = a \cdot \lambda_{\text{S}}^b$$

wobei die Koeffizienten a und b aus der Regressionskurve einiger Beispielrechnungen ermittelt werden. Der Einfluß unterschiedlicher Vermörtelungen kann mit Hilfe der Gleichung

$$\lambda_{\text{eq}} = c + d \cdot \lambda_{\text{M}}$$

erfaßt werden, wobei λ_{M} die Wärmeleitfähigkeit des Mörtels und c, d die Koeffizienten der Regressionsgeraden sind. Beispiele solcher Abhängigkeiten zeigt das Bild 1 für einen 4-Kammer-Hohlblockstein. Die wärmetechnische Verbesserung bei Ersatz des Normalmauermörtels ($\lambda_{\text{M}} = 0,87 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) durch einen Leichtmauermörtel (z.B. $\lambda_{\text{M}} = 0,15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) wird geringer, je kleiner die Wärmeleitfähigkeit des Steinmaterials ist (also je geringer die Rohdichteklasse). Mit Hilfe solcher vergleichender Berechnungen kann seit kurzem eine Entscheidungshilfe für die Festsetzung von Rechenwerten der Wärmeleitfähigkeiten und ggf. eines Verbesserungsmaßes gegeben werden.

Vergleich von Rechnung und Messung

Ergebnisse von Messungen und Rechnungen sind vergleichbar, wenn die Materialkenndaten der Stei-

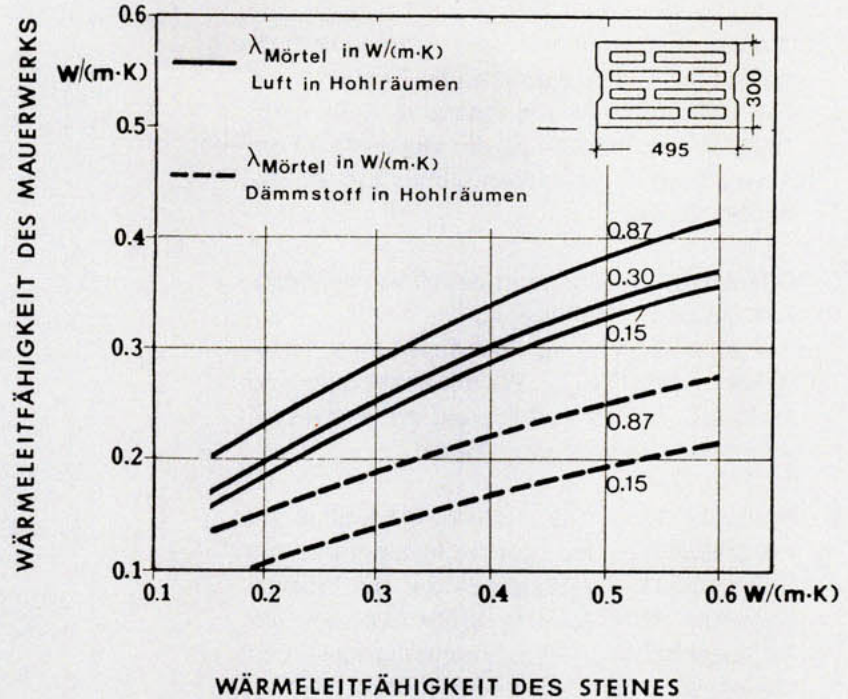
ne und des Mörtels, die zur Wandmessung verwendet wurden, bekannt sind. Mit Normwerten werden in der Regel höhere äquivalente Wärmeleitfähigkeiten berechnet, da Normwerte Zuschläge für Materialstreuungen und den Feuchteinfluß enthalten. Tabelle 1 zeigt den Vergleich am 300 mm breiten Mauerwerk aus Hohlblocksteinen. Die bei der Messung 2 (mit Leichtmauermörtel) verwendeten Steine hatten eine geringfügig höhere Rohdichte. Wird dies in der Vergleichsrechnung 7 nicht berücksichtigt, d.h. eine zu niedrige Wärmeleitfähigkeit des Steinbetons angesetzt, ergibt sich eine deutlich größere Abweichung. Diese Gegenüberstellung zeigt jedoch auch, daß einzelne Einflußgrößen, wie z.B. der Einbau von Leichtmauermörtel, eindeutiger durch die Rechnung bewertet werden können. Bei der Messung überlagern sich Parametervariationen (Materialstreuung, Maßungenaugigkeiten, Feuchteinfluß, Meßfehler u.a.) zwangsläufig in mehr oder weniger starker Weise.

Im Vergleich zum genormten Stein in Bild 1 ergeben die Veränderungen der jetzt verzahnten Stoßfuge und der Kammergeometrien eine Verbesserung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit des unverputzten Mauerwerks von ca. 15 %.

Tabelle 1:

Vergleich der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit von Mauerwerk und dessen Materialien, ermittelt über Wandmessungen nach DIN 52611, Plattenmessungen nach DIN 52612 und über Finite-Differenzen-Rechnungen. Folgender Stein liegt zugrunde: Nicht genormter 4-Kammer-Hohlblockstein 495 mm x 300 mm x 238 mm, unvermörtelte verzahnte Stoßfuge, Lagerfuge mit Normalmauermörtel oder Leichtmauermörtel.

Methode/ Probekörpergröße	Nr.	Rohdichte ρ			Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10, \text{tr}}$		
		Stein	Leicht- beton	Mörtel	Stein	Mörtel	Mauer- werk
-	-	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	W/m·K	W/m·K	W/m·K
Messung am Wandprobekörper 1,5 m x 1,5 m x 0,3 m	1	480	595	1790	-	-	0,169
	2	500	625	500	-	-	0,144
Messung an Steinscheibe 0,25 m x 0,25 m x 0,02 m (aus dem Wandprobekörper- material geschnitten)	3	-	585	-	0,130	-	-
Messung an Mauermörtel 0,5 m x 0,5 m x 0,05 m (gleiches Material wie Wandprobekörper)	4	-	-	1748	-	1,05	-
	5	-	-	523	-	0,133	-
Rechnung Finite-Differenzen- Methode	6	-	(585)	(1748)	0,130	1,05	0,171
	7	-	(585)	(523)	0,130	0,133	0,134
	8	-	(625)	(1748)	0,135	1,05	0,176
	9	-	(625)	(523)	0,135	0,133	0,139

**Bild 1:**

Äquivalente Wärmeleitfähigkeit eines Mauerwerks aus genormten 4-Kammer-Hohlblocksteinen (siehe Skizze, Angaben in mm) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des Steins. Steinhöhe 238 mm, Lagerfuge 12 mm, vermörtelte Stoßfugentasche. Die äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten der Lufthohlkammern sind abhängig von deren Kammergeometrien berechnet.

Vereinfachte Berechnung mit einem Polynomansatz

$$\lambda_{\text{eq}} = 1,09 \cdot 10^{-2} + 7,48 \cdot 10^{-1} \cdot \lambda_{\text{MW}} + 3,11 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{\text{MW}} + 2,66 \cdot 10^{-2} \cdot \lambda_{\text{M}} + 9,94 \cdot 10^{-2} \cdot \lambda_{\text{S}} + 5,09 \cdot 10^{-2} \cdot \lambda_{\text{HK}}$$

Die die Wärmedämmung eines Mauerwerks bestimmenden Einflußgrößen konnten in der Grundsatzuntersuchung [3] bewertet werden. Aus einer großen Anzahl dreidimensionaler Berechnungen von Hohlkammerstein-Mauerwerk ergab eine Regressionsanalyse 5 charakteristische Größen:

- die mittlere Wärmeleitfähigkeit des gesamten Mauerwerks λ_{MW} aus seriellen und parallelen Wärmeleitwiderständen der einzelnen Schichten
- die mittlere Dichte des Mauerwerks ρ_{MW}
- die Wärmeleitfähigkeit des Mörtels λ_{M}
- die Wärmeleitfähigkeit des Steins λ_{S}
- die mittlere Wärmeleitfähigkeit in den Hohlkammern λ_{HK}

Für die Gruppe der Hohlkammersteine aus Leichtbeton läßt sich die äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks aus einem bestimmten Stein relativ einfach näherungsweise bestimmen:

Die Gültigkeitsgrenzwerte dieses Polynomansatzes sind im Bild 1 durch die dort angegebenen Zahlenwerte fixiert. Eine Überprüfung des Polynomansatzes mit Steinen anderer Geometrien, z.B. geschlitzter Vollblöcke, ergibt eine gute Übereinstimmung zur Finiten-Differenzen-Rechnung, sofern die Stoffwerte im untersuchten Wertebereich liegen.

Das vereinfachte Berechnungsverfahren stellt ein wirkungsvolles Hilfsmittel zur näherungsweise Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit von Mauerwerk im Vergleich unterschiedlicher Steinarten dar. Es ist vor allem für Steinhersteller hilfreich, die ihre Steinformate weiterentwickeln wollen. Für die wärmetechnische Optimierung von Hohlkammer-Mauersteinen steht damit eine Auswahl von Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Zur Festlegung amtlicher Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeiten können die hieraus gewonnenen Ergebnisse nicht herangezogen werden; derzeit sind dafür die Ergebnisse von Messungen an feuchten und trockenen Wandprobekörpern nach DIN 52611 oder von einer Kombination aus Messungen und Berechnungen nach der Finiten-Differenzen-Methode erforderlich.

Literatur

- [1] DIN 52611: Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes von Wänden und Decken.
Teil 1: Prüfung im Laboratorium, April 1978;
Teil 2: Weiterbehandlung der Meßwerte für die Anwendung im Bauwesen, Juni 1984. Beuth-Verlag, Berlin.
- [2] DIN 52612: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät.
Teil 1: Durchführung und Auswertung, September 1979; Teil 2: Weiterbehandlung und Meßwerte für die Anwendung im Bauwesen, Juni 1984. Beuth-Verlag, Berlin.
- [3] König, N., Plöger, G., Schüle, M.: Einfluß der Abmessungen und der Hohlkammerausbildung von Hohlblocksteinen auf die Wärmedämmung von Mauerwerk aus Bimsbaustoffen. Bericht BW 171/84, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (1984). Gefördert durch die Forschungsvereinigung der Rheinischen Bimsindustrie, Neuwied.

