

T 2884

Überprüfung der Festlegung der Bauregelliste zur Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk

Teil 1: Messung der Wärmeleitfähigkeit von Prüfkörpern aus
halbieren Ziegeln

Teil 2: Messung der Wärmeleitfähigkeit von Ziegelscherben

T 2884

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

1999, ISBN 3-8167-5454-6

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>



FORSCHUNGS- UND MATERIALPRÜFUNGSANSTALT
BADEN-WÜRTTEMBERG
OTTO-GRAF-INSTITUT
ABTEILUNG I - BAUSTOFFE

FMPA

**Überprüfung der Festlegung der Bauregelliste
zur Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk
Teil 1: Messung der Wärmeleitfähigkeit von Prüfkörpern
aus halbierten Ziegeln**

Dipl.-Ing. Kurt Zeus



FORSCHUNGS- UND MATERIALPRÜFUNGSANSTALT
BADEN-WÜRTTEMBERG
OTTO-GRAF-INSTITUT
ABTEILUNG I - BAUSTOFFE

FMPA

Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30

10829 Berlin

70569 STUTTGART (VAIHINGEN)
PFAFFENWALDRING 4
TELEFON (0711) 685-2258
TELEFAX (0711) 685-6828
11.06.1999

Forschungsbericht

13-24843/1/Ze/Kr

Überprüfung der Festlegungen der Bauregelliste zur Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk; Teil 1: Messung der Wärmeleitfähigkeit von Prüfkörpern aus halbierten Ziegeln

Mit Forschungsvertrag vom 20.06.1997 beauftragten Sie die FMPA mit der Durchführung von Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Ziegelproben nach dem in unserem Versuchsplan vom 04.12.1996 vorgeschlagenen Vorgehen.

Die für die Versuche erforderlichen Ziegel wurden im Rahmen von Versuchen zur Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von verschiedenen Firmen hergestellt und wurden bis zum 09.12.1996 in der FMPA eingeliefert.

Im folgenden wird über den Zweck und über die Durchführung der Versuche berichtet.

1 Zweck der Versuche und Versuchsprogramm

Nach Anlage 2.7 der Bauregelliste [1] gilt die Festlegung des Rechenwertes der Wärmeleitfähigkeit eines Mauersteins so lange, wie sie durch mindestens jährliche Wiederholung der

Messung an 1 Wandprobekörper bzw. an 1 Probekörper aus dem Steinmaterial überprüft wird.

Nach dem bisherigen Kenntnisstand war es sachgerecht, die jährliche Wiederholungsprüfung bei Leichtbetonsteinen und bei Porenbetonsteinen an abgesägten Steinscheiben im Zweiplattengerät nach DIN 52 612-1 [2] und bei Ziegeln an gemauerten Wänden nach DIN 52 611-1 [3] zu überprüfen.

Da die aufwendige Wandprüfung etwa um das 2-fache teurer ist als die Steinscheibenprüfung, wurde an der FMPA ab 1995 begonnen, ein Vergleichsprüfverfahren zu entwickeln, das bei der jährlichen Überwachungsprüfung von Ziegeln eingesetzt werden sollte. Hierzu wurden 4 der im Zulassungsverfahren zu untersuchenden Ziegel meist hoher Wärmedämmung parallel zur Ziegellängsrichtung halbiert und in den Stirnseiten und Lagerfugenflächen „knirsch“ gestoßen, um dann an je 2 Platten der Abmessungen rd. 50 cm x 50 cm x (0,5 x Ziegeldicke) die Wärmeleitfähigkeit in Anlehnung an DIN 52 612-1 zu messen.

Die bis zur Erteilung des Forschungsauftrags an der FMPA an Wandscheiben und an knirsch gestoßenen Ziegelscheiben ermittelten Wärmeleitfähigkeiten waren gut vergleichbar, so daß davon auszugehen war, daß dieses Ersatzprüfverfahren bei der Überwachung von Ziegeln mit besonderen wärmedämmenden Eigenschaften vergleichbar zu den Prüfverfahren bei den Leichtbeton- und Porenbetonsteinen einsetzbar war.

Die bis zur Erteilung des Forschungsauftrags an Wandscheiben und an nicht vermörtelten Ziegelscheiben aus halbierten Ziegeln ermittelten Wärmeleitfähigkeiten sind in Tabelle 1 (Beilage 1) eingetragen.

Die in den Zeilen 3 sowie 6 bis 8 der Tabelle noch fehlenden Werte waren dann im Zuge des Forschungsauftrags an der FMPA noch zu ermitteln. Um außerdem den Einfluß der Lagerfugenvermörtelung auf die Wärmeleitfähigkeit der Prüfkörper aus halbierten Ziegeln aufzuzeigen, wurden die halben Ziegel, die bis dahin unvermörtelt gemessen worden waren, mit Leichtmauermörtel LM 21 vermörtelt, um dann im Zweiplattengerät erneut die Wärmeleitfähigkeit zu bestimmen. Außerdem sollten die Vergleichsversuche noch durch die Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit an der 11. Wandscheibe aus den Ziegeln RI-27-1,4 (Wabenlochung - 27 Lochreihen) ergänzt werden, die bis dahin nicht bei den Messungen an der FMPA eingeplant war.

Diese Ergänzungsversuche wurden auftragsgemäß durch das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin, finanziert. Über das Ergebnis dieser Anschlußversuche wurde mehrmals beim DIBt und im Sachverständigenausschuß „Wärmedämmstoffe“ berichtet. Nach dem Ergebnis der Versuche wurde ein Merkblatt zur Prüfung von Mauersteinen erarbeitet, das jetzt bei der Überwachung von Mauersteinen eingesetzt werden kann, siehe Abschnitt 2.7 der Bauregelliste.

2 Materialkennwerte

Wurden zur Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung an der FMPA an Mauerwerkswänden aus neuen Mauersteinen Tragfähigkeitsversuche durchgeführt und an Wandscheiben die Wärmeleitfähigkeit gemessen, so wurde ab 1995 nach dem in Abschnitt 4 beschriebenen Verfahren die Wärmeleitfähigkeit an Platten aus den zu untersuchenden Ziegeln geprüft. Ergänzend zu diesen Messungen wurden immer die charakteristischen Materialkennwerte der verwendeten Mauersteine und der Mauermörtel ermittelt.

2.1 Ziegel

Die Materialkennwerte der zur Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung untersuchten neuen Ziegel wurden immer in Anlehnung an DIN 105-2 [4] geprüft. Neben den Abmessungen der Ziegel, der Rohdichte und der Druckfestigkeit wurden auch immer die Dicke der einzelnen Stege, die Lochquerschnitte, der Lochanteil und die Scherbenrohndichte ermittelt, wobei die beiden letztgenannten Materialkennwerte durch das sog. Unterwasserverfahren bestimmt wurden. Einige der wichtigsten Materialkennwerte der an der FMPA ab 1995 geprüften neuen Ziegeln sind in Tabelle 1, Beilage 1, eingetragen.

2.2 Mauermörtel

Die meisten der Zulassungsversuche wurden mit Leichtmauermörtel LM 21 nach DIN 1053-1 [5], einige wenige mit Dünnbettmörtel für Planziegelmauerwerk durchgeführt. Für alle Trag- und Wärmeleitfähigkeitsversuche mit Leichtmauermörtel LM 21 wurde der sog. Referenzmörtel der Firma Perlite, Dortmund, eingesetzt.

Beim Vermörteln der halbierten Ziegel wurden von jeder der 3 hierzu notwendigen Mischungen Prismen zur Bestimmung der Trockenrohichte und der Druckfestigkeit des Mörtels nach DIN 18 555 [6] hergestellt. Außerdem wurden jeweils 2 Platten der Abmessungen 50 cm x 50 cm x 5 cm angefertigt und daran die Wärmeleitfähigkeit des Mauer Mörtels nach DIN 52 612-1 [2] geprüft.

Die Meßergebnisse sind in Tabelle 2, Beilage 2, zusammengestellt. Die Meßergebnisse waren gut, auch hinsichtlich der Streuung, mit den bei den Zulassungsprüfungen ermittelten Werten vergleichbar.

Der bei einigen Zulassungsprüfungen eingesetzte Dünnbettmörtel für Planziegelmauerwerk, der ebenfalls in Anlehnung an DIN 1053-1 bzw. DIN 18 555 untersucht worden war, wies Druckfestigkeiten zwischen 17,2 und 21,5 N/mm² auf.

3 Wärmeleitfähigkeit der Wände

Die im Rahmen der Zulassungsprüfungen zur Erlangung eines Rechenwerts der Wärmeleitfähigkeit ausgeführten Messungen wurden immer an Wandscheiben der Abmessungen 1,50 m x 1,50 m x Dicke der Ziegel durchgeführt.

Die unterste Ziegelreihe wurde jeweils auf den Sockel eines fahrbaren Probekörperträgers in eine rd. 3 cm dicke Mörtelschicht aus Leichtmörtel LM 21 oder in eine rd. 2 mm dicke Dünnbettmörtelschicht gesetzt. Die Mauerwerksscheiben wurden dann jeweils im Läuferverband mit einem Überbindemaß von einer halben Steinlänge aufgemauert.

Die Sichtfläche der Mauerwerksprobekörper auf der die Platten des Schutzrings und der Wärmestrommesser befestigt wurden, wurden mit einer 1 bis 3 mm dicken Mörtelschicht abgeglichen.

Nach Trocknen der Mauerwerksprobekörper bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz wurde die Wärmeleitfähigkeit der Wandscheiben mit dem Wärmestrommeßverfahren nach DIN 52 611-1 geprüft. Hierbei wurden jeweils 9 Meßfühler für die Oberflächentemperaturdifferenz zwischen Kalt- und Warmseite der Mauerwerksprobekörper verwendet, wobei 6 Thermopaare im Bereich der Lagerfugen und 3 Thermopaare im Bereich der Ziegelaußenwandflächen lagen. Die Kammertemperatur der Kaltseite lag jeweils bei 0 °C und die der Warmseite bei

20 °C. Die Meßzeit betrug zwischen 84 Stunden und 96 Stunden, bis eine gleichmäßige Wärmestromdichte erreicht war, bei dem sich der Wert des Wärmestroms q in einer Zeitspanne von drei Stunden gemäß DIN 52 611-1 nicht mehr änderte, d. h. die Änderungsrate unter einem Prozent lag.

Aus dem Wärmedurchlaßwiderstand und der Dicke der Wandscheiben wurde die Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,1r}$ berechnet, die ebenfalls in Tabelle 1 der Beilage 1 eingetragen ist.

Wärmeleitfähigkeit der Prüfkörper aus halbierten Ziegeln

Die rd. 300 mm oder 365 mm breiten Ziegel wurden parallel zur Ansichtsfläche so durchgesägt, daß jeweils 2 gleich dicke Hälften entstanden, wobei der Schnitt meist entlang eines durchgehenden Längsstegs geführt wurde.

Einige der halbierten Ziegel sind auf Beilage 3 und 4 abgebildet.

Die rd. 25 cm, 30 cm und 37,5 cm langen Ziegelhälften wurden anschließend so abgeschnitten, daß jeweils eine Platte der Abmessungen 50 cm x 50 cm x Dicke des halben Ziegels so zusammengesetzt werden konnte, daß in jeder Ziegelreihe eine Stoßfuge lag. Da alle der in die Untersuchungen einbezogenen Ziegel im Stoßfugenbereich mit Nut und Feder ausgebildet waren, wurden die Ziegelhälften an der Stoßfuge immer knirsch aneinandergelegt. Die Wärmeleitfähigkeit der halbierten Ziegel wurde an Platten 50 cm x 50 cm gemessen, bei denen die Ziegelhälften auch im Lagerfugenbereich knirsch gestoßen waren und anschließend an Platten 50 cm x 50 cm, bei denen die Ziegelhälften im Lagerfugenbereich mit Leichtmauermörtel LM 21 oder mit Dünnbettmörtel vermauert waren.

An je 2 dieser Platten wurde der Wärmedurchlaßwiderstand nach DIN 52 612-1 gemessen und anhand der Dicke bzw. der Breite der halbierten Ziegel die Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,1r}$ berechnet. Die Meßergebnisse sind in Tabelle 1 und 3, Beilage 1 und 6, zusammengestellt.

4 Wertung der Meßergebnisse

Die an Platten 50 cm x 50 cm aus halbierten und knirsch gestoßenen Ziegeln gemessene Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,1r}$ lag immer unter der Wärmeleitfähigkeit, die an Wandscheiben aus

ganzen Ziegeln und Leichtmauermörtel LM 21 oder Dünnbettmörtel ermittelt worden war. Hierbei betrug der Unterschied zwischen 0,001 und 0,019 W/mK.

Die an Platten 50 cm x 50 cm aus denselben halbierten, jedoch im Lagerfugenbereich vermörtelten Ziegeln gemessene Wärmeleitfähigkeit lag um 0,001 W/mK bis 0,017 W/mK über oder unter den Werten, die an den unvermörtelten Vergleichsproben gemessen worden waren.

Die Unterschiede sind in der Meßungenauigkeit der eingesetzten Prüfverfahren und in der Streuung der Wärmeleitfähigkeit bei den eingesetzten Baustoffen zu suchen, wie sie bei den verwendeten Leichtmauermörteln nachgewiesen wurde.

Da bei 7 der 11 untersuchten Ziegelsorten eine gute Übereinstimmung zwischen den Werten der Mauerwerksmessung und den der Plattenmessung vorlag, wurde die Plattenmessung aus halbierten Mauersteinen zur Überprüfung der Wärmeleitfähigkeit von Mauersteinen im Zuge der Qualitätskontrolle empfohlen.

Da bei 6 der 8 untersuchten Plattenpaare mit im Lagerfugenbereich knirsch gestoßenen oder vermörtelten halbierten Ziegel eine gute Übereinstimmung bei der Wärmeleitfähigkeitsmessung ermittelt wurde, konnte auch auf ein Vermörteln der Prüfziegel verzichtet werden.

Dies galt jedoch nur bei solchen Mauersteinen, deren Wärmeleitfähigkeit mit der des Mauermörtels näherungsweise vergleichbar war.

Die gute Übereinstimmung der Meßergebnisse veranlaßte den Sachverständigenausschuß „Wärmedämmstoff“ das Prüfverfahren durch eine Richtlinie [7] zu beschreiben, um diese wiederum bei der Überwachung von Mauersteinen in die neue Ausgabe der Bauregelliste einzubinden.

5 Zusammenfassung

Ein gegenüber DIN 4108-4 besserer Rechenwert λ_R der Wärmeleitfähigkeit für Mauerwerk aus Steinen einer bestimmten Rohdichteklasse, unter Verwendung eines bestimmten Mauermörtels nach DIN 1053-1 hergestellt, kann nach Abschnitt 2.7 der Bauregelliste entweder nach

Verfahren 1 - durch Messung entsprechender Wandprobekörper nach DIN 52 611-1 oder nach

Verfahren 2 - durch Messung des Steinmaterials nach DIN 52 612-1 mit anschließender Rechnung ermittelt und festgelegt werden.

Während an Mauersteinen, z. B. aus Leichtbeton, eine Übereinstimmung der Wärmeleitfähigkeit, ermittelt nach Verfahren 1 und nach Verfahren 2, nachgewiesen wurde, konnte diese Übereinstimmung bei Ziegelmauerwerk bisher nicht eindeutig aufgezeigt werden.

Da die aufwendige Wandprüfung etwa um das 2-fache teurer ist, als die Steinmaterialprüfung, wurde an der FMPA begonnen, ein Vergleichsprüfverfahren zu entwickeln, das bei der wärmespezifischen Beurteilung von Ziegeln auch für Mauerwerk eingesetzt werden kann. Hierzu werden je nach Format mindestens 4 der zu untersuchenden Ziegel halbiert und in den Stirnseiten und Lagerfugenflächen „knirsch“ gestoßen, um dann an je 2 Platten der Abmessungen rd. 50 cm x 50 cm x 0,5 x Ziegeldicke die Wärmeleitfähigkeit in Anlehnung an DIN 52 612 zu messen.

Die bisher an zahlreichen Ziegelsorten an der FMPA an Wandscheiben und an knirsch gestoßenen Ziegelscheiben ermittelten Wärmeleitfähigkeiten sind gut vergleichbar, so daß dieses Prüfverfahren zur Beurteilung der wärmedämmenden Eigenschaften von Ziegelmauerwerk herangezogen werden kann.

Der Einsatz dieses Wärmeleitfähigkeitsprüfverfahrens bei der Überwachung zertifizierter Ziegel mit verbesserten Rechenwerten der Wärmeleitfähigkeit wurde in Abschnitt 2.7 der Bauregelliste 1998 geregelt. Das Prüfverfahren mit der Beschreibung der Probekörperherstellung ist im Heft 3/1998 der Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik beschrieben.



(BD Dipl.-Ing. Zeus)

Literatur

- [1] Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C; Mitteilungen Deutsches Institut für Bau-
technik, Sonderheft Nr. 18, Ausgabe 98/1
- [2] DIN 52 612-1 - Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit
mit dem Plattengerät; Durchführung und Auswertung -, Ausgabe September 1979
- [3] DIN 52 611-1 - Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung des Wärmedurchlaß-
widerstands von Wänden und Decken -, Ausgabe April 1978
- [4] DIN 105-2 - Mauerziegel; Leichthochlochziegel -, Ausgabe 1989
- [5] DIN 1053-1 - Mauerwerk; Teil 1: Berechnung und Ausführung -, November 1996
- [6] DIN 18 555 - Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln;
 - 2 - Frischmörtel mit dichten Zuschlägen; Bestimmung der Konsistenz, der Rohdichte
und des Luftgehalts
 - 3 - Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Rohdichte
- [7] DIBt - Richtlinie zur Messung der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10, tr}$ von Mauersteinprobekörpern -,
Fassung Dezember 1997; Mitteilungen DIBt 3/1998

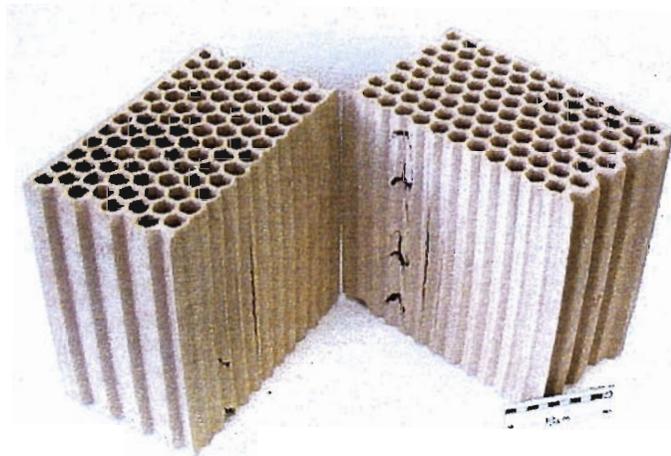
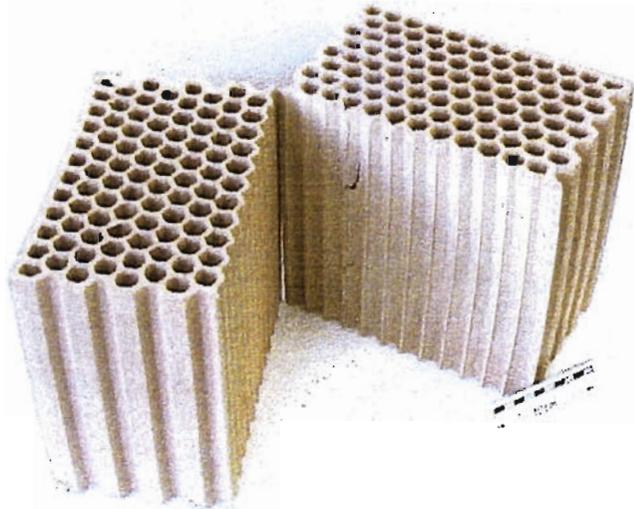
Tabelle 1: Wärmeleitfähigkeit von Ziegelwänden, ermittelt nach DIN 52 611 und Wärmeleitfähigkeit von Proben 50 cm x 50 cm aus halbierten Ziegeln, ermittelt nach DIN 52 612

Zeichen des Auftraggebers	Bezeichnung des Ziegels	Maße			Rohdichte des Ziegels kg/dm ³	Scherbenrohichte kg/dm ³	Lochanteil %	Druckfestigkeit des Ziegels N/mm ²	Wärmeleitfähigkeit der Wand		Wärmeleitfähigkeit der halbierten Ziegel $\lambda_{10,lr}$ (Ziegel) W/mK
		Länge Breite Höhe mm	Stege quer längs außen mm	mit Mörtel					$\lambda_{10,lr}$ (Wand) W/mK		
W-W-25	HLZ 4-0,9-15DF	372	5	0,85	1,61	47	-		LM 21	0,135	0,132
		304	4,5	0,84							
		240	8	0,80							
W-R-25	HLZ 4-0,9-12DF	304	5	0,59	1,47	43	6,1		LM 21	0,128	0,125
		299	4,5	0,67							
		240	12	0,60							
W-R-27	HLZ 4-0,8-12DF	307	5	0,72	1,48	46	~5		LM 21	-	-
		306	5	0,82							
		240	11	0,82							
ME 014	HLZ 8-0,6-10DF	246	5,5	0,60	1,50	60	11,4		LM 21	0,150	0,149
		299	4,5	0,67							
		237	8,5	0,60							
TH 014	HLZ 6-0,7-15DF	301	8	0,67	1,45	54	8,0		LM 21	0,159	0,145
		365	6	0,72							
		237	8	0,60							
UN S-Mt	HLZ 8-0,6-15DF	373	6,5	0,60	1,33	52 ¹⁾	10,1		LM 21	0,148	-
		300	5,5	0,72							
		240	10	0,60							
HE-Mt	HLZ 4-0,7-12DF	239	5,5	0,72	1,50	49 ¹⁾	6,8		LM 21	0,174	-
		364	6	0,82							
		239	10	0,82							
RO-113	HLZ 12-0,9-6DF	244	5	0,79	1,76	50 ¹⁾	16,1		LM 21	0,240	-
		362	5	0,79							
		114	10	0,55							
HH 23-ZS	HLZ Plan 4-0,8-12DF	249	7,5	0,55	1,54	49	6,4		DBM	0,197	0,178
		368	6,5	0,55							
		248	11	0,55							
RI-17-1,4	HLZ 4-0,6-10DF	246	3,6	0,55	1,45	51	6,6		LM 21	0,151	0,149
		303	4,0	0,55							
		247	7,0	0,55							

1) ohne Mörteltasche

Tabelle 2: Rohdichte, Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit des zum Aufeinandermauern der halbierten Ziegel verwendeten Leichtmauermörtels LM 21

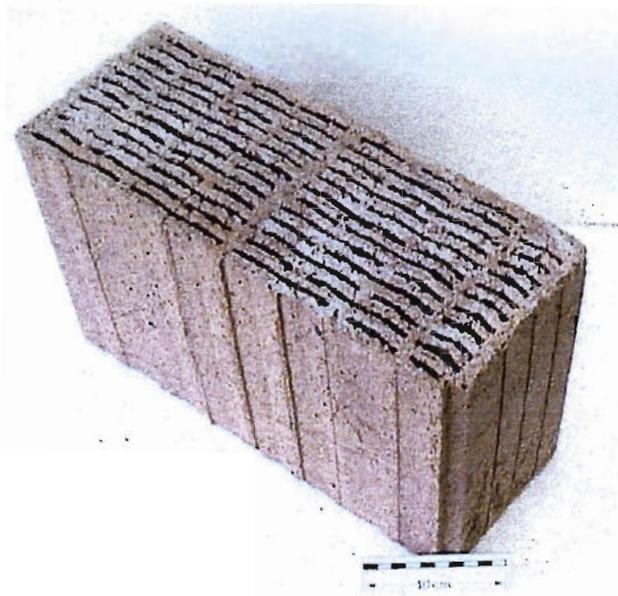
Leichtmauermörtel LM 21 Sack		1	2	3
Trockenmörtelrohddichte	kg/dm ³	0,60	0,65	0,68
Biegezugfestigkeit	N/mm ²	2,45	2,52	--
Druckfestigkeit	N/mm ²	6,55	6,40	7,91
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10, tr}$	W/mK	0,133	0,145	0,179



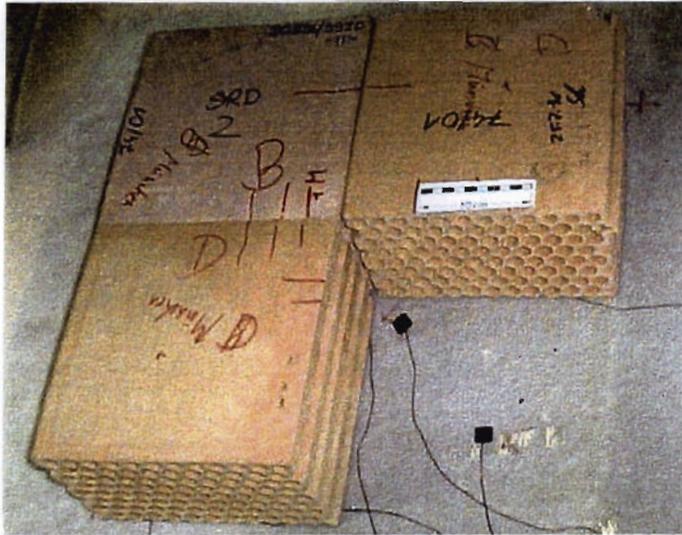
**Halbierte Wabenziegel
Ri-6-Eck mit Sechsecklochung**



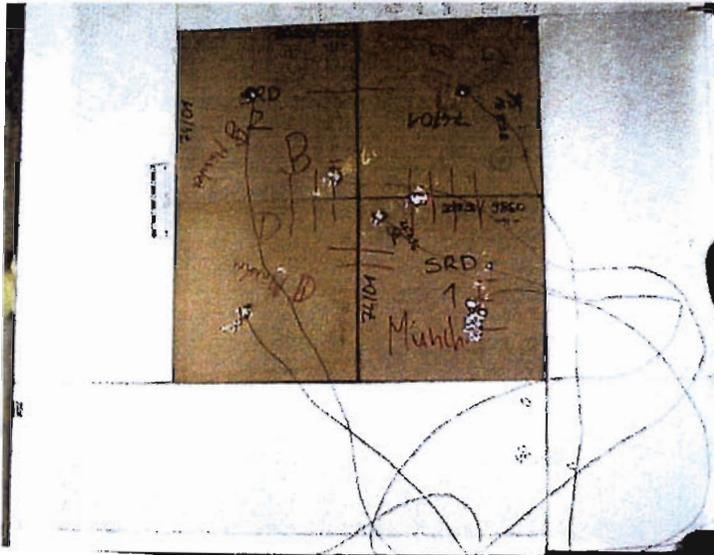
Halbierter Leichthochlochziegel
W-R1-25 mit Rechtecklochung



Halbierter Leichthochlochziegel
W-W-25 mit Wellenlochung



Probekörper 50 cm x 50 cm aus halbierten Ziegeln auf der Heizplatte



Probekörper 50 cm x 50 cm aus halbierten Ziegeln zur Aufnahme der Kühlplatte

Tabell 3 : Wärmeleitfähigkeit von Ziegelwänden, ermittelt nach DIN 52 611 und Wärmeleitfähigkeit von Proben aus halbierten Ziegeln, ermittelt nach DIN 52 612

Kurzbezeichnung der Ziegel	Maße		Rohdichte des Ziegels kg/dm ³	Scherbenrohddichte kg/dm ³	Lochanteil %	Druckfestigkeit des Ziegels N/mm ²	Wärmeleitfähigkeit der Wand		Wärmeleitfähigkeit der halbierten und im Lagerfugenbereich mit LM 21 vermaurten Ziegeln $\lambda_{10, tr}$ W/mK
	Länge Breite Höhe	Stege quer längs außen mm					mit Mörtel $\lambda_{10, tr}$ (Wand) W/mK	knirsch gestoßenen Ziegel $\lambda_{10, tr}$ W/mK	
WI-R 1-25	372	5	0,85	1,61	47	-	LM 21	0,135	-
	304	4,5							
	240	8							
WI-R 2-25	304	5	0,84	1,47	43	6,1	LM 21	0,128	-
	299	4,5							
	240	12							
WI-R-27	307	5	0,80	1,48	46	~ 5	LM 21	0,129	0,126
	306	5							
	240	11							
ME 014	246	5,5	0,59	1,50	60	11,4	LM 21	0,150	0,147
	299	4,5							
	237	8,5							
	301	8							
TH 014	365	6	0,67	1,45	54	8,0	LM 21	0,159	0,144
	237	8							
	373	6,5							
UN 014	300	5,5	0,60	1,33	521)	10,1	LM 21	0,148	0,148
	240	10							
	239	5,5							
HE-Mt	364	6	0,72	1,50	491)	6,8	LM 21	0,174	0,171
	239	10							
	244	5							
RO-113	362	5	0,82	1,76	501)	16,1	LM 21	0,240	-
	114	10							
	249	7,5							
HH 23-ZS	368	6,5	0,79	1,54	49	6,4	DBM	0,197	0,161
	248	11							
	246	3,6							
RI-17-1,4	303	4,0	0,55	1,45	51	6,6	LM 21	0,151	0,152
	247	7,0							
	250	5,5							
RI-27-1,4	298	5,9	0,53	1,42	68	11,9	LM 21	0,142 2)	0,139
	245	2,5							

1) ohne Mörteltasche

2) Wandmessung mit 17 mittig angeordneten Ziegeln



FORSCHUNGS- UND MATERIALPRÜFUNGSANSTALT
BADEN-WÜRTTEMBERG
OTTO-GRAF-INSTITUT
ABTEILUNG I - BAUSTOFFE

FMPA

**Überprüfung der Festlegung der Bauregelliste
zur Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk
Teil 2: Messung der Wärmeleitfähigkeit von
Ziegelscherben**

Dipl.-Ing. Kurt Zeus



FORSCHUNGS- UND MATERIALPRÜFUNGSANSTALT
BADEN-WÜRTTEMBERG
OTTO-GRAF-INSTITUT
ABTEILUNG I - BAUSTOFFE -

FMPA

70569 STUTTGART (VAIHINGEN)
PFAFFENWALDRING 4
TELEFON (0711) 685-2258
TELEFAX (0711) 685-6828
14.06.1999

Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30

10829 Berlin

Forschungsbericht

13-24843/2/Ze/Kr

Überprüfung der Festlegungen der Bauregelliste zur Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk; Teil 2: Messung der Wärmeleitfähigkeit von Ziegelscherben

Mit Forschungsvertrag vom 20.06.1997 beauftragten Sie die FMPA mit der Durchführung von Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Ziegelproben nach dem in unserem Versuchsplan vom 04.12.1996 vorgeschlagenen Vorgehen.

Die für die Versuche erforderlichen Ziegel wurden von der Firma Rimmele, Ehingen, bezogen und wurden am 09.12.1996 in der FMPA eingeliefert.

Im folgenden wird über den Zweck und über die Durchführung der Versuche berichtet.

1 Zweck der Versuche

Nach Anlage 2.7 der Bauregelliste [1] kann ein von DIN 4108-4 [2] abweichender Rechenwert λ_R der Wärmeleitfähigkeit für Mauerwerk aus Steinen einer bestimmten Rohdichteklasse, unter Ver-

wendung eines bestimmten Mauermörtels nach DIN 1053-1 [3] hergestellt, entweder nach

Verfahren 1 - durch Messung entsprechender Wandprobekörper nach DIN 52 611-1 [4]

oder nach

Verfahren 2 - durch Messung des Steinmaterials nach DIN 52 612-1 [5] mit anschließender

Berechnung

ermittelt und festgelegt werden.

Während an Mauersteinen z. B. aus Leichtbeton eine Übereinstimmung der Wärmeleitfähigkeit, ermittelt nach Verfahren 1 und nach Verfahren 2, nachgewiesen wurde, konnte diese Übereinstimmung bei Ziegelmauerwerk bisher nicht aufgezeigt werden.

Die an verschiedenen Instituten durchgeführten Vergleichsmessungen lassen darauf schließen, daß zwischen der Scherbenrohichte der Ziegel eines Herstellers und der Wärmeleitfähigkeit des Scherbens ein Zusammenhang gemäß der allgemeinen Baustoffkurve besteht. Jedoch war die Abweichung der Versuchsergebnisse, ermittelt an verschiedenen Prüfinstituten, relativ groß. Der Grund dieser Unterschiede dürfte in der aufwendigen Probenvorbereitung und in der unterschiedlichen Meßdurchführung zu suchen sein und war durch einen Ringversuch zu überprüfen.

Ob die an Ziegelscherben ermittelte Wärmeleitfähigkeit jedoch für die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit von Mauerwerk aus Ziegeln bei allen Stegausbildungen gilt oder wegen Anisotropien die weitere Berechnung nach Verfahren 2 zu modifizieren ist, war noch zu untersuchen.

Die zur Erlangung einer guten Wärmedämmung neu entwickelten Ziegel weisen in der Regel nur noch 5 bis 6 mm dicke Außenstege und noch dünnere Innenstege auf. Die Prüfkörperherstellung von weitgehend planparallelen Scheiben aus diesen dünnen Stegen ist sehr aufwendig, wobei für die Messung im Zweiplatten-Gerät zwei oder mehrere Scheiben aus diesen dünnen Stegen aufeinandergelegt werden müssen, um die erforderliche Prüfkörperdicke zu erreichen.

Ob als Ersatz für diesen aufwendigen Prüfkörper eine dickere Scheibe aus einem in demselben Werk hergestellten dickeren Ziegelscherben vergleichbarer Scherbenrohichte verwendet werden kann, war ebenfalls nicht geklärt.

Die hierzu erforderlichen Versuche wurden vom Deutschen Institut für Bautechnik, Berlin, finanziert. Über das Ergebnis der Versuche wurde mehrmals beim DIBt und im Sachverständigenausschuß „Wärmeleitfähigkeit und Wärmedämmstoffe“ berichtet.

2 Versuchsprogramm

Die für die Vergleichsversuche ausgewählten Ziegel, die folgende charakteristische Materialkennwerte aufwiesen, wurden mit den in folgender Tabelle angegebenen Kurzbezeichnungen beschrieben.

Lochform	Anzahl der Lochreihen	Angegebene Scherbenrohddichte kg/dm ³	Kurzbezeichnung
Wabe	17	1,43	W 17 - 1,4
Wabe	17	1,55	W 17 - 1,5
Wabe	27	1,39	W 27 - 1,4
Raute	17	1,57	R 17 - 1,5
Füllkanal ¹⁾	-	1,53	S - 1,5

¹⁾ Schallschutzziegel mit dicken Stegen

Von den jeweils 9 bis 15 eingelieferten Waben- bzw. 30 Rautenziegeln wurden je 4 Ziegel halbiert, zu 2 Probekörpern 50 cm x 50 cm x (0,5 x Ziegeldicke) knirsch zusammengesetzt und hieran in Anlehnung an das im Teil 1 dieses Forschungsauftrags entwickelte Ersatzprüfverfahren [6] die Wärmeleitfähigkeit gemessen.

Von je 8 bis 12 dieser Ziegel wurden die Außenwandungen abgetrennt, um diese ebenfalls zu 50 cm x 50 cm großen Prüfkörpern aus 2 aufeinanderliegenden Außenwandscheiben zusammenzusetzen. Da die Außenflächen der Waben- und Rautenziegel nicht rechtwinklig und eben waren, konnten keine planparallelen, ebenen Scheiben gewonnen werden. Die unebenen Scheiben wurden mit Ziegelmehl aufeinandergesetzt, und die Wärmeleitfähigkeit in Anlehnung an DIN 52 612 gemessen.

Nur von den Schallschutzziegeln konnten aus den Querstegen bis 17 mm dicke Scheiben geschnitten werden, die in 1 Lage nach oben genannter DIN geprüft wurden.

Ergänzend wurden die Abmessungen und die Ziegel- und Scherbenrohddichte der Prüfkörper untersucht.

Diese, von der FMPA vorbereiteten und gemessenen Proben wurden für Vergleichsmessungen an das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) Stuttgart und an das Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München (FIW), Gräfelfing, gesandt.

Über das Ergebnis der Vergleichsversuche sollte dann das IBP zusammenfassend berichten. Im folgenden werden auftragsgemäß nur die an der FMPA durchgeführten Messungen beschrieben und deren Ergebnisse zusammengestellt.

3 Materialkennwerte

Die Bilder 1 bis 5 (Beilage 1 bis 5) zeigen die in die Untersuchungen einbezogenen Wabenziegel, den Rautenziegel und den Füllziegel.

Die Materialkennwerte der Ziegel wurden in Anlehnung an DIN 105-2 [7] ermittelt. Neben den Abmessungen der Ziegel, der Rohddichte und der Druckfestigkeit wurden auch immer die Dicke der einzelnen Stege, die Lochquerschnitte, der Lochanteil und die Scherbenrohddichte geprüft, wobei die beiden letztgenannten Materialkennwerte durch das sog. Unterwasserverfahren bestimmt wurden. Die Meßergebnisse sind - für jeden Ziegel im einzelnen - in Beilage 6 bis 10 angegeben. Auf Beilage 11 sind die charakteristischen Materialkennwerte der Ziegel zusammengestellt.

4 Wärmeleitfähigkeit der Prüfkörper aus halbierten Ziegeln

Die rd. 300 mm breiten Wabenziegel und der Rautenziegel wurden parallel zur Ansichtsfläche so durchgesägt, daß jeweils 2 gleich dicke Hälften entstanden.

Die rd. 24,5 cm bzw. 24 cm langen Ziegelhälften wurden anschließend so zusammengesetzt, daß jeweils eine Platte der Abmessungen 49 cm x 45 cm bzw. 48 cm x 48 cm x Dicke des halben Ziegels entstand, wobei in jeder Ziegelreihe eine Stoßfuge lag. Da alle in die Untersuchungen einbezogenen Ziegel im Stoßfugenbereich mit Nut und Feder ausgebildet waren, wurden die Ziegelhälften an der Stoßfuge immer knirsch aneinandergelegt. Die Wärmeleitfähigkeit der halbierten Ziegel wurde an Platten gemessen, bei denen die Ziegelhälften auch im Lagerfugenbereich knirsch gestoßen waren.

An je 2 dieser Platten wurde der Wärmedurchlaßwiderstand nach DIN 52 612-1 gemessen und anhand der Dicke bzw. der Breite der halbierten Ziegel die Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,lr}$ berechnet. Die Meßergebnisse sind in der Tabelle auf Beilage 12 zusammengestellt.

5 Wärmeleitfähigkeit der Prüfkörper aus Ziegelscheiben

Aus den 5 bis 10 mm dicken Außenstegen der Wabenziegel und des Rautenziegels sowie aus den bis 11 mm dicken Außenquerstegen des Rautenziegels und aus den bis 18 mm dicken Querstegen des Füllziegels wurden Scheiben der Abmessungen rd. 24 cm x 24 cm geschnitten.

Diese Scheiben wurden zu jeweils 2 Platten der Abmessungen rd. 48 cm x 48 cm zusammengesetzt, wobei die Fugen knirsch gestoßen wurden.

Da die Außenstege der Wabenziegel und des Rautenziegels nicht eben waren, mußten einige dieser Scheiben planparallel geschliffen werden. Um die zur Messung erforderliche Mindestdicke der Scherben zu erreichen, wurden die dünnen Scheiben aufeinandergelegt und dazwischen zum Ausgleich von Unebenheiten noch Ziegelmehl verwendet.

An je 2 dieser Platten wurde der Wärmedurchlaßwiderstand nach DIN 52 612-1 gemessen und anhand der Dicke der Platten die Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,lr}$ berechnet. Die Meßergebnisse sind ebenfalls in der Tabelle auf Beilage 12 zusammengestellt.

6 Wertung der Meßergebnisse

Die Meßergebnisse wurden bei mehreren Sitzungen im DIBt im Vergleich zu den vom IBP und vom FIW ermittelten Meßwerten beraten. Da keine Übereinstimmung erzielt werden konnte, und die von der FMPA ermittelten Meßergebnisse auch als Grundlage zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit nicht herangezogen werden konnten, wurden im Zuge dieses Forschungsauftrags keine weiteren Messungen mehr durchgeführt. Zusammenfassend soll hierzu vom IBP berichtet werden.

(BD Dipl.-Ing. Zeus)

Literatur

- [1] Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C; Mitteilungen Deutsches Institut für Bautechnik, Sonderheft Nr. 18, Ausgabe 98/1
- [2] DIN 4108-4 - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden;
Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte -, Oktober 1998
- [3] DIN 1053-1 - Mauerwerk; Teil 1: Berechnung und Ausführung -, November 1996
- [4] DIN 52 611-1 - Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstands von Wänden und Decken -, Ausgabe April 1978
- [5] DIN 52 612-1 - Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät; Durchführung und Auswertung -, Ausgabe September 1979
- [6] DIBT - Richtlinie zur Messung der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,lr}$ von Mauersteinprobekörpern -, Fassung Dezember 1997; Mitteilungen DIBt 3/1998
- [7] DIN 105-2 - Mauerziegel; Leichthochlochziegel -, Ausgabe 1989

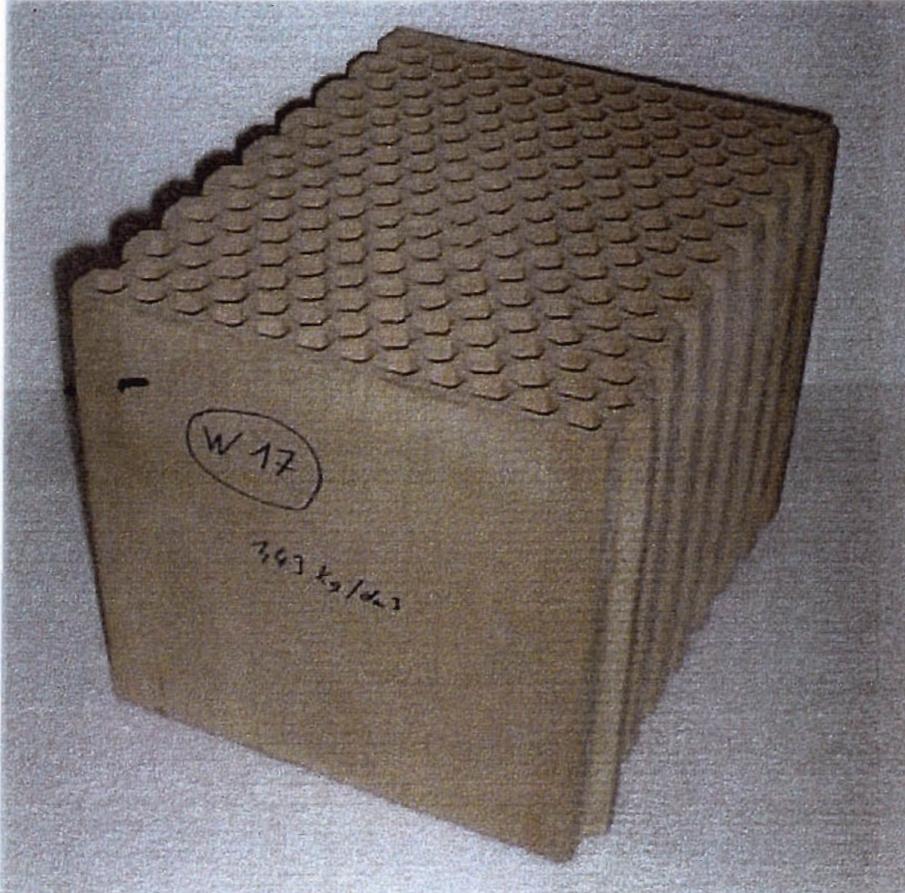


Foto des Ziegels W 17 - 1,4

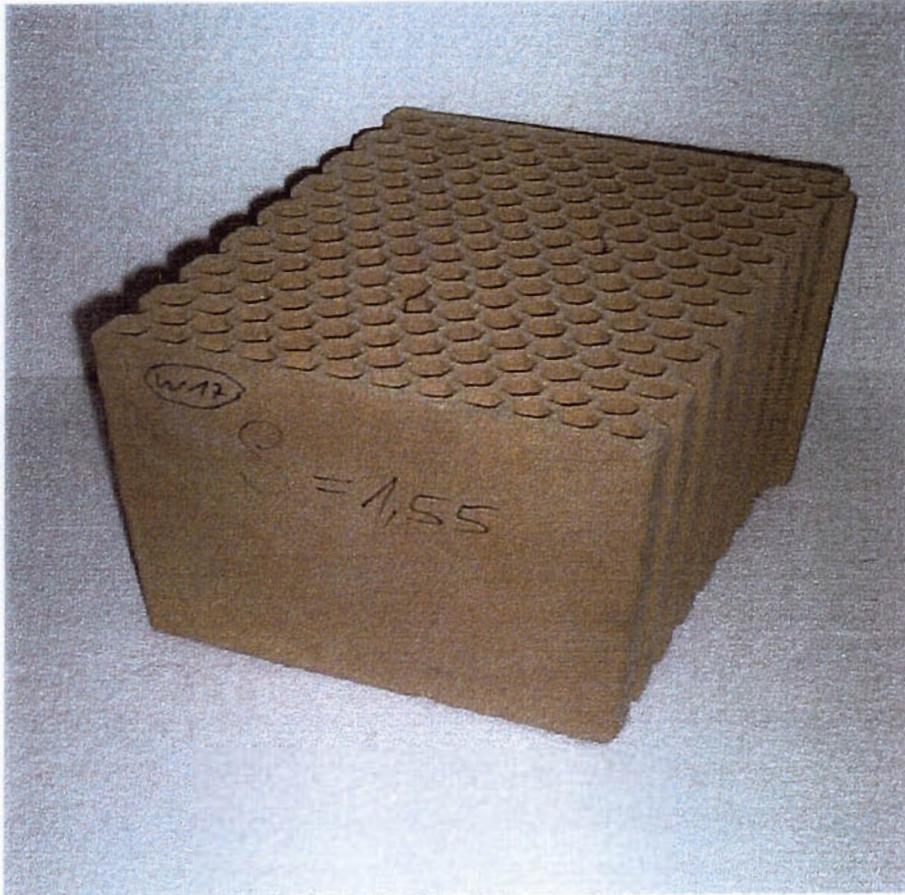


Foto des Ziegels W 17 - 1,5

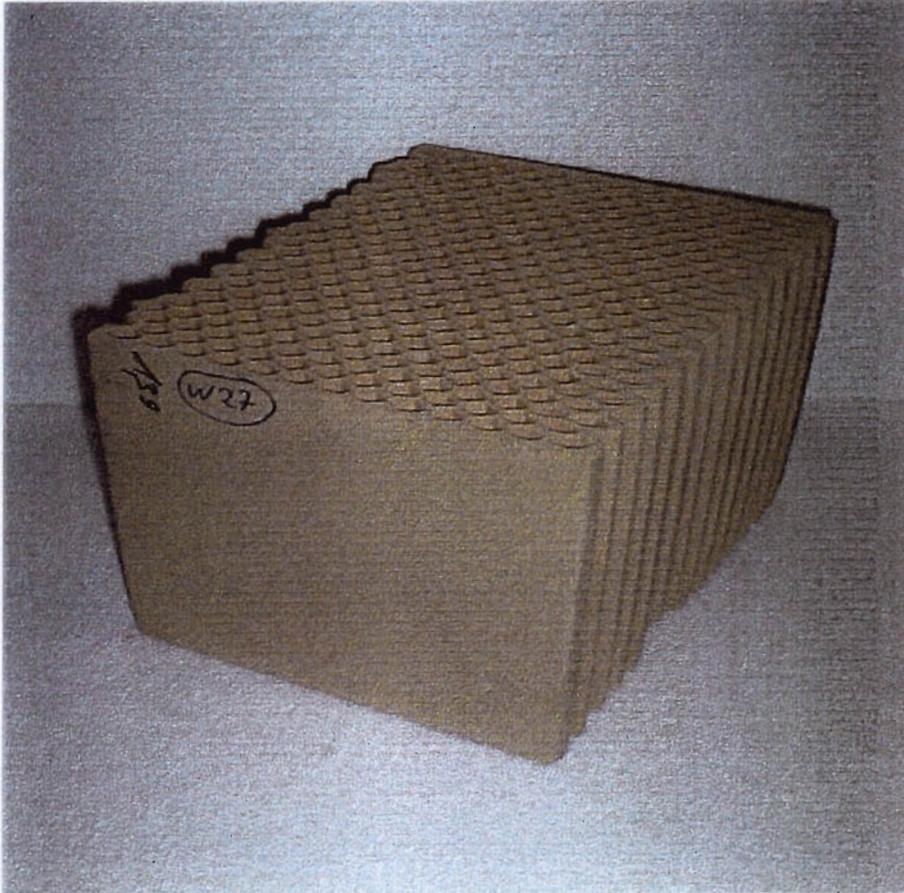


Foto des Ziegels W 27 - 1,4

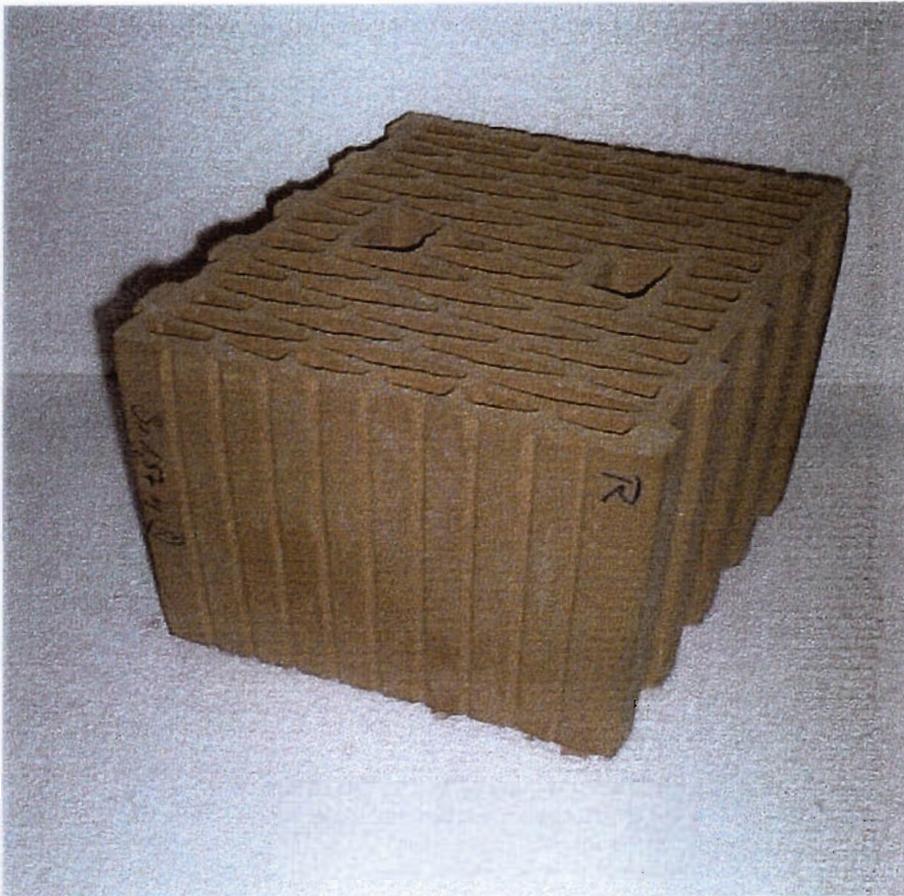


Foto des Ziegels R 17 - 1,5

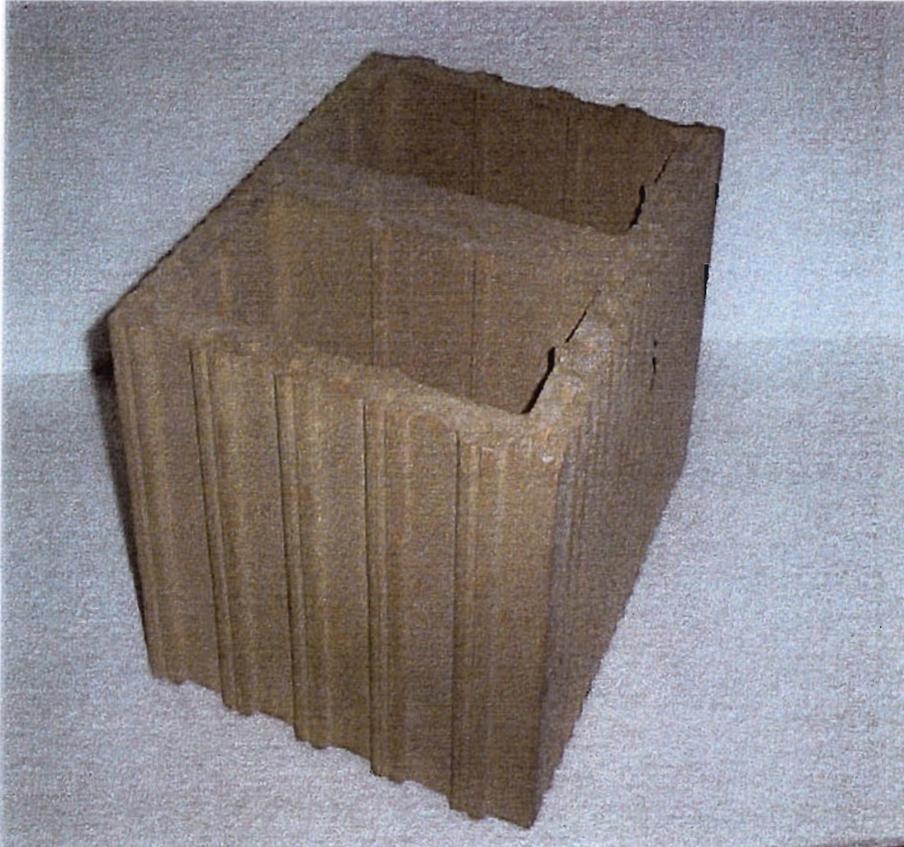
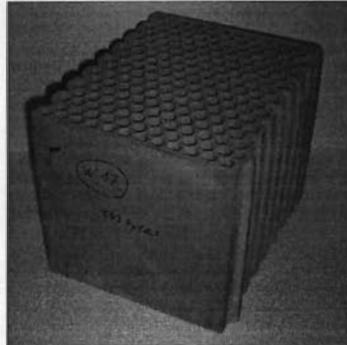


Foto des Ziegels S - 1,5

W 17 - 1,4

PRÜFERGEBNISSE

1. Bild des geprüften Mauersteins



2. Abmessungen, Rohdichte und Scherbenrohddichte

Prüfziegel	Gewicht [g]	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Rohdichte [kg/dm ³]	Scherben- rohddichte ¹⁾ [kg/dm ³]	Scherben- rohddichte ²⁾ [kg/dm ³]
1	10160	246	303	247	0,55	1,13	1,45

3. Lochung und Stege

Lochungsart	Lochform	Anzahl	Abmessungen		Einzelquerschnitt [cm ²]
			Länge [mm]	Breite [mm]	
Löcher	Wabe	135	18		2,1
	Wabe	37	15,8		1,6
	Fünfeck	25	14,5	13,5 16	1,6

Gesamtlochanteil (Löcher+Grifflöcher) [%] 51,3

Lochanteil (Grifflöcher+Mörteltaschen) [%] --

Randabstand der Grifflöcher [mm] --

Abstand der Grifflöcher [mm] --

Dicke der Außenwandung [mm] 7,0

Dicke der Außenwandung (Stirnseite) [mm] 6,5

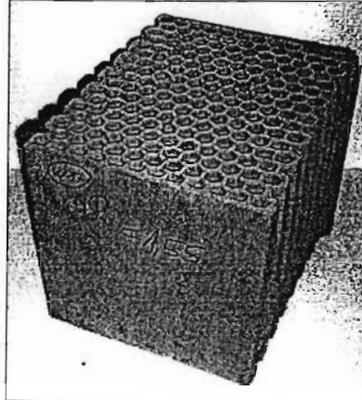
Dicke der Innenstege -längs- [mm] 3,6
 -quer- [mm] 4,0

Lochreihenzahl 17

Summe der Stegdicken [mm/m] 223

¹⁾ Scherbenrohddichte = f(Länge;Breite;Gesamtlochanteil)

²⁾ Scherbenrohddichte = f(Masse trocken; Masse nass; Masse unter Wasser)

PRÜFERGEBNISSE
1. Bild des geprüften Mauersteins

2. Abmessungen, Rohdichte und Scherbenrohddichte

Prüfziegel	Gewicht [g]	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Rohdichte [kg/dm ³]	Scherben- rohddichte ¹⁾ [kg/dm ³]	Scherben- rohddichte ²⁾ [kg/dm ³]
1	10780	245	301	248	0,59	1,21	1,54

3. Lochung und Stege

Lochungsart	Lochform	Anzahl	Abmessungen			Einzelquerschnitt [cm ²]
			Länge [mm]	Breite [mm]		
Löcher	Wabe	128	18,0			2,1
	Wabe	44	15,5			1,6
	Fünfeck	25	14,5	13,5	16,0	1,6

Gesamtlochanteil (Löcher+Grifflöcher) [%] 51,4

Lochanteil (Grifflöcher+Mörteltaschen) [%] --

Randabstand der Grifflöcher [mm] --

Abstand der Grifflöcher [mm] --

Dicke der Außenwandung [mm] 7,1

Dicke der Außenwandung (Stirnseite) [mm] 6,2

Dicke der Innenstege -längs- [mm] 3,4

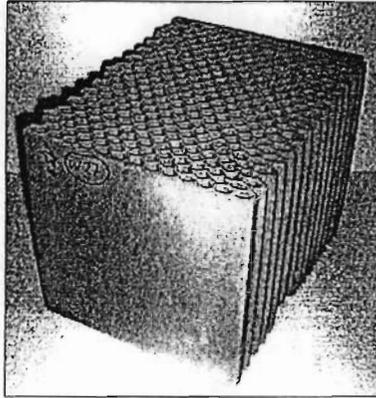
-quer- [mm] 3,4

Lochreihenzahl 17

Summe der Stegdicken [mm/m] 202

¹⁾ Scherbenrohddichte = f(Länge;Breite;Gesamtlochanteil)

²⁾ Scherbenrohddichte = f(Masse trocken; Masse nass; Masse unter Wasser)

PRÜFERGEBNISSE
1. Bild des geprüften Mauersteins

2. Abmessungen, Rohdichte und Scherbenrohddichte

Prüfziegel	Gewicht [g]	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Rohdichte [kg/dm ³]	Scherben- rohddichte ¹⁾ [kg/dm ³]	Scherben- rohddichte ²⁾ [kg/dm ³]
1	9200	240	298	245	0,53	1,28	1,42

3. Lochung und Stege

Lochungsart	Lochform	Anzahl	Abmessungen		Einzelquerschnitt [cm ²]
			Länge [mm]	Breite [mm]	
Löcher	Wabe	275	14		1,3
	Ellipse	42	16	9	1,1
	Fünfeck	21	11	6 15	0,7

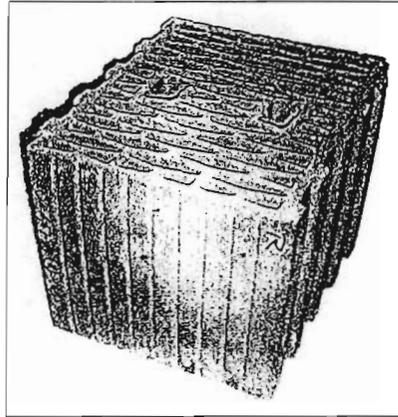
Gesamtlochanteil (Löcher+Grifflöcher)	[%]	58,5	
Lochanteil (Grifflöcher+Mörteltaschen)	[%]	--	
Randabstand der Grifflöcher	[mm]	--	
Abstand der Grifflöcher	[mm]	--	
Dicke der Außenwandung	[mm]	5,5	
Dicke der Außenwandung (Stirnseite)	[mm]	5,9	
Dicke der Innenstege	-längs-	[mm]	2,5
	-quer-	[mm]	2,6
Lochreihenzahl		27	
Summe der Stegdicken	[mm/m]	176	

1) Scherbenrohddichte = f(Länge;Breite;Gesamtlochanteil)

2) Scherbenrohddichte = f(Masse trocken; Masse nass; Masse unter Wasser)

PRÜFERGEBNISSE

1. Bild des geprüften Mauersteins



2. Abmessungen, Rohdichte und Scherbenrohddichte

Prüfziegel	Gewicht [g]	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Rohdichte [kg/dm ³]	Scherbenrohddichte ¹⁾ [kg/dm ³]	Scherbenrohddichte ²⁾ [kg/dm ³]
1	13480	240	293	248	0,77	1,45	1,57

3. Lochung und Stege

Lochungsart	Lochform	Anzahl	Abmessungen		Einzelquerschnitt [cm ²]
			Länge [mm]	Breite [mm]	
Löcher	Trapez	32	65	15 6	6,8
	Trapez	32	29	14 5	2,8
Grifflöcher	Trapez	2	29	44 36	11,6

Gesamtlochanteil (Löcher+Grifflöcher) [%] 47,0

Lochanteil (Grifflöcher+Mörteltaschen) [%] 3,3

Randabstand der Grifflöcher [mm] 45

Abstand der Grifflöcher [mm] 82

Dicke der Außenwandung [mm] 10,5

Dicke der Außenwandung (Stirnseite) [mm] 11

Lochreihenzahl 17

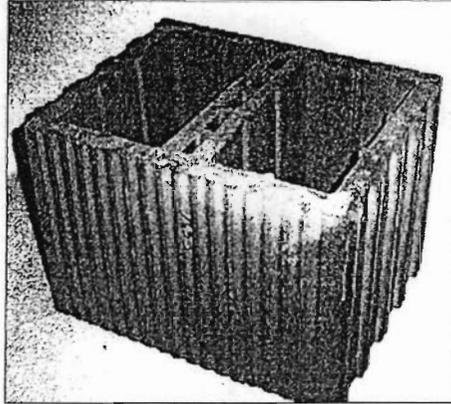
Summe der Stegdicken [mm/m] 210

¹⁾ Scherbenrohddichte = f(Länge;Breite;Gesamtlochanteil)

²⁾ Scherbenrohddichte = f(Masse trocken; Masse nass; Masse unter Wasser)

PRÜFERGEBNISSE

1. Bild des geprüften Mauersteins



2. Abmessungen, Rohdichte und Scherbenrohddichte

Prüfziegel	Gewicht [g]	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Rohdichte [kg/dm ³]	Scherbenrohddichte ¹⁾ [kg/dm ³]	Scherbenrohddichte ²⁾ [kg/dm ³]
1	14820	370	298	248	0,54	1,49	1,54

3. Lochung und Stege

Lochungsart	Lochform	Anzahl	Abmessungen		Einzelquerschnitt [cm ²]
			Länge [mm]	Breite [mm]	
Lochkanäle	Rechteck	2	243,0	131	318,3
Löcher	Rechteck	20	16,5	9,5	1,6
	Rechteck	5	39,8	13,6	5,4
	Kreis	16	8,0		0,5

Gesamtlochanteil (Löcher+Lochkanäle) [%] 63,8

Dicke der Außenstege -längs- [mm] 29
 -quer- [mm] 24

Dicke der Innenstege -quer- [mm] 20

¹⁾ Scherbenrohddichte = f(Länge;Breite;Gesamtlochanteil)

²⁾ Scherbenrohddichte = f(Masse trocken; Masse nass; Masse unter Wasser)

Tabelle: Abmessungen, Stein- und Scherbenrohddichte der Ziegel

Kurzbezeichnung der Ziegel			W 17-1,4	W 17-1,5	W 27-1,4	R 17-1,5	S - 1,5
Abmessungen	Länge,	mm	246	245	240	240	370
	Breite,	mm	303	301	298	293	298
	Höhe,	mm	247	248	245	248	248
Ziegelrohddichte		kg/dm ³	0,55	0,59	0,53	0,77	0,54
Scherbenrohddichte ¹⁾		kg/dm ³	1,45	1,54	1,42	1,57	1,54
Gesamtlochanteil		%	51,3	51,4	58,5	47,0	63,8
Dicke der Außenlängswandung		mm	7,0	7,1	5,5	10,5	29,0
Dicke der Außenquerwandung		mm	6,5	6,2	5,9	11,0	24,0
Dicke der Innenstege		mm	3,6/4,0	3,4/3,4	2,5/2,6	6,4/5,8	2,0
Lochreihenzahl			17	17	27	17	-
Summe der Querstegdicke		mm/m	223	202	176	210	-

¹⁾ durch Unterwasserwägung des ganzen Ziegels ermittelt

Tabelle: Zusammenstellung der Meßwerte zur Wärmeleitfähigkeit

Kurzbezeichnung der Ziegel		W 17-1,4	W 17-1,5	W 27-1,4	R 17-1,5	S - 1,5
Scherbenrohddichte des Ziegels	kg/dm ³	1,45	1,54	1,42	1,57	1,54
Dicke des Prüfkörpers aus halbierten Ziegeln	mm	147/148	145/145	147/146	127/125 ¹⁾	-
Rohddichte des Prüfkörpers aus halbierten Ziegeln	kg/dm ³	0,55/0,55	0,60/0,60	0,52/0,051	0,79/0,78	-
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,lr}$ des Prüfkörpers aus halbierten Ziegeln	W/mK	0,149	0,156	0,127	0,169	-
Dicke des Prüfkörpers aus den Außenwandscheiben	mm	17/16 ²⁾	18/15 ²⁾	15/17 ²⁾	16/18 ²⁾ 24/23 ³⁾	17/18 ⁴⁾
Rohddichte des Prüfkörpers aus den Außenwandscheiben	kg/dm ³	1,2/1,2	1,3/1,2	1,0/1,1	1,3/1,3	1,5/1,5
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,lr}$ des Prüfkörpers aus den Außenwandscheiben	W/mK	0,216 ²⁾	0,256 ²⁾	0,213 ²⁾	0,249 ²⁾ 0,317 ³⁾	0,307 ⁴⁾

¹⁾ Zone mit Griffhilfen abgesägt

²⁾ Prüfkörper aus 2 aufeinanderliegenden Scheiben aus den Längsstegen

³⁾ Prüfkörper aus 2 aufeinanderliegenden Scheiben aus den Querstegen

⁴⁾ Prüfkörper aus 1 Scheibe aus dem Quersteg