

Leichtbeton-Hohlblocksteine mit integriertem Wärmedämmstoff

— Übersicht über eine neue Entwicklung und die damit zusammenhängenden Fragen —

Light-weight concrete hollow blocks with integrated heat-insulating material
- Survey on a new development and the questions arising from this -

Prof. Dr.-Ing. H. G. Meyer^{*)}
Institut für Bautechnik Berlin, Deutschland

Zur Verbesserung des Wärmeschutzes werden die Hohlräume (Kammern) von Hohlblocksteinen mit Wärmedämmstoffen verfüllt. Der Einfluß dieser integrierten Wärmedämmstoffe auf die Wärmedämmung des Mauerwerks wird dargestellt. Um die Größe der Wärmebrücken im Stein zu vermindern, werden häufig die Quersäge der Hohlblocksteine verringert oder von der üblichen Steinform völlig abweichende Querschnittsformen gewählt. Diese Veränderungen sind begrenzt durch die Forderung, daß zwischen Außen- und Innenschale des Hohlblocksteins eine ausreichende, auf Dauer kraftschlüssige Verbindung aus Steinmaterial (Leichtbeton) bestehen muß, damit die gesamte Steinbreite (Dicke des Mauerwerks) für die Tragfähigkeit der Wand wie bei üblichem Mauerwerk in Rechnung gestellt werden kann. Es wird gezeigt, daß die Scherfestigkeit des Steins ein Maßstab für die Kraftschlüssigkeit der Verbindung ist. Es wird versucht nachzuweisen, wie groß diese Scherfestigkeit sein muß, um die gleiche Wandtragfähigkeit zu erreichen wie bei üblichen Steinen.

In order to improve the thermal insulation, the cavities of hollow blocks are filled with heat-insulating materials. The influence of these integrated heat-insulating materials onto the thermal insulation is described. In order to reduce the magnitude of heat build-ups in the masonry unit, it is often usual to reduce the transverse webs of the hollow blocks or to choose a cross-sectional shape completely deviating from the conventional unit shape. These changes are limited by the fact, that a sufficient, loadbearing connection out of stony material (light-weight concrete) is required between the outer and inner leaf of the hollow block, so that the total unit width (thickness of the masonry) can be taken account of for the loadbearing capacity of the wall as in the case of conventional masonry. It is demonstrated, that the shear strength of the masonry unit is a measure for the adhesion of the connection. Proof is established of how much shear strength is required for the same wall loadbearing capacity which is achieved with conventional masonry units.

^{*)} Herrn Dipl.-Ing. H.-J. Irmschler danke ich für seine zahlreichen Anregungen zu dieser Abhandlung.

1 Einleitung

Seit Jahrzehnten gibt es in Deutschland den auch in anderen europäischen Ländern bekannten Leichtbeton-Hohlblockstein. Dies sind großformatige, 5-seitig geschlossene und mit Kammern senkrecht zur Lagerfläche versehene Mauersteine, wie sie z.B. in DIN 18 151 [1] in Deutschland genormt sind. Eine für diese Steinart typische Ausführung ist in der Übersicht Bild 1 (oben links) dargestellt. Die Steine werden in den Festigkeitsklassen 2 (mittlere Steindruckfestigkeit $2,5 \text{ N/mm}^2$), 4 (mittlere Steindruckfestigkeit mind. $5,0 \text{ N/mm}^2$) und 6 (mittlere Steindruckfestigkeit mind. $7,5 \text{ N/mm}^2$) hergestellt. Je nach Kammeranteil und Rohdichte des Leichtbetons werden die Steine in den Steinroh-dichteklassen (Rohdichte des Steins einschließlich der Luftkammern) $0,5$ bis $1,0 \text{ kg/dm}^3$ gefertigt.

Im Zuge der Energieverknappung und Energieverteuerung hat man nun in den letzten Jahren vermehrt versucht, die Wärmedämmung von Mauerwerk mit diesen Steinen zu verbessern. Während man in den ersten Jahren zunächst nur versucht hat, durch Absenkung der Rohdichte des Leichtbetons, vermehrte Anordnung von Kammern und Reduzierung der durchgehenden Betonstege die Wärmedämmeigenschaften zu verbessern, ist man in jüngster Zeit dazu übergegangen, die Kammern der Steine mit Wärmedämmstoffen zu füllen, um so die Wärmedämmung der Steine erheblich zu verbessern. Des weiteren wurden auch neue Steinformen entwickelt, vorwiegend mit dem Ziel, Wärmebrücken innerhalb des Steins zu reduzieren.

Da diese Steine nicht mehr der Norm DIN 18 151 entsprachen, bedurften sie nach den deutschen bauaufsichtlichen Vorschriften einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durch das Institut für Bautechnik in Berlin.

Im folgenden soll über einige Fragen, die im Zusammenhang mit der Zulassung der neuen Steinarten auftraten, berichtet werden.

2 Übersicht über typische Steinarten mit integriertem Wärmedämmstoff

In Bild 1 ist eine Übersicht gegeben über einige typische Steinarten mit integriertem Wärmedämmstoff, wie sie in den letzten Jahren in Deutschland zugelassen wurden. Als Benennung der Steinart wurde die jeweils erteilte Zulassungsnummer gewählt. Nähere Einzelheiten über diese Steinarten und die Bedingungen ihrer Herstellung und Anwendung können den jeweiligen Zulassungsbescheiden entnommen werden. Eine Übersicht über die wesentlichen Merkmale geben auch Irmschler/Meyer in [2].

Hinsichtlich der Konzeption der Steine mit integrierter Wärmedämmung lassen sich einige Untergruppen bilden:

- a) Steine, die in ihrer wesentlichen Formgebung und Kammerausbildung DIN 18 151 entsprechen oder nahekommen, bei denen jedoch in einzelne Kammerreihen Wärmedämmstoffe eingestellt werden (s. Z 17.1-42) oder bei denen alle Kammern mit Wärmedämmstoffen gefüllt werden (s. Z 17.1-201); hierbei können die Kammern wie bei dem Stein nach DIN 18 151 nach oben geschlossen bleiben oder auch durchgehend offen sein. Die hierfür verwendeten Wärmedämmstoffe sind Polystyrolschaumkunststoffe. In der Regel wird der Polystyrolschaumkunststoff als Formteil getrennt von der Steinherstellung geschäumt und dann später in die Kammern des Steins eingestellt. Bei neueren Entwicklungen werden bei der Steinherstellung die Kammern mit Polystyrolperlen gefüllt und diese im Stein durch Heißdampfzuführung zu festen Dämmstoffen verschweißt oder durch Injektion von Bindemitteln verklebt.

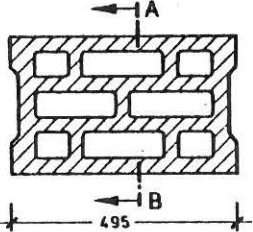
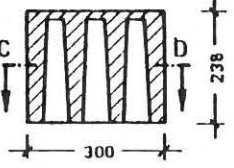
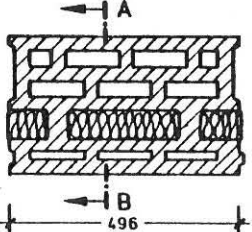
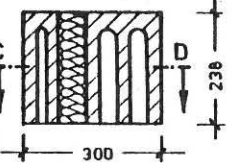
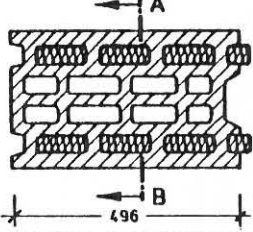
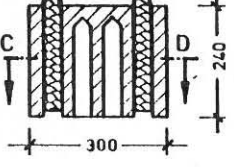
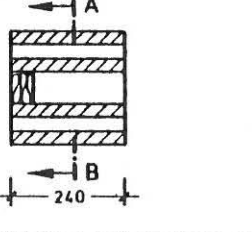
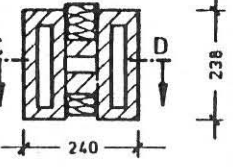
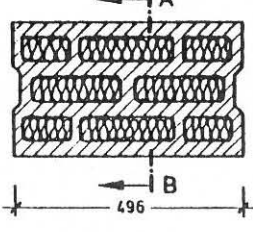
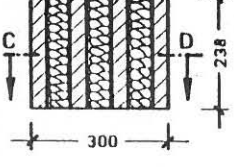
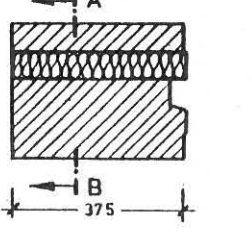
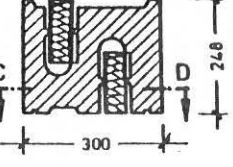
Steinart nach	Steinform		Steinart nach	Steinform	
	Horizontalschnitt Schnitt C - D	Vertikalschnitt Schnitt A - B		Horizontalschnitt Schnitt C - D	Vertikalschnitt Schnitt A - B
DIN 18 151			Zulassung Nr. Z 17.1-1744		
Zulassung Nr. Z 17.1 - 42			Zulassung Nr. Z 17.1 - 220		
Zulassung Nr. Z 17.1 - 201			Zulassung Nr. Z 17.1 - 203		

Bild 1: Übersicht über spezielle Typen von in Deutschland zugelassenen Leichtbeton-Hohlblocksteinen mit integriertem Wärmedämmstoff

- b) Bei dieser Gruppe verläßt man die bisherige Steinform nach DIN 18 151 insofern, als man versucht, möglichst wenig durchgehende Querstege im Bereich der Dämmschicht zu haben, um so Wärmebrücken zu vermeiden. Typische Vertreter dieser Gruppe sind die Steine nach Zulassung Nr. Z 17.1-1744 und auch nach H 17.1-81 (zu letzterem siehe Bild 2).

Eine extreme Weiterentwicklung dieser Steingruppe sind die sog. dreischaligen Steine, bei denen die Wärmedämmschicht ganz durchgeht und keine Querstege mehr zwischen den beiden Steinschalen vorhanden sind. Diese Steine sollen hier jedoch nicht behandelt werden, da sie nach unserer Auffassung nicht mehr als "ein Stein" (Monolith) behandelt werden können.

- c) Zur dritten Gruppe gehören gänzlich von der bisherigen Steinform nach DIN 18 151 abweichende Steine. Hierzu gehören z.B. der Stein gemäß Zulassung Nr. Z 17.1-220. Während bei normalen Hohlblocksteinen die Herstellungsrichtung und damit die Achse der Kammern rechtwinklig zur Lagerfuge angeordnet ist, wird bei diesen Hohlblocksteinen die Herstellungsrichtung und Kammerachse parallel zur Lagerfuge angeordnet. Hierdurch wird die Lagerfuge großflächig unterbrochen, damit in diesem Bereich die Wärmebrücke vermieden wird. In die mittlere frei bleibende Kammer werden auch im Bereich der Lagerfuge Schaumkunststoffplatten aus Polystyrol eingestellt.

Bei dem Stein nach Zulassung Nr. Z 17.1-203 sind keine einzelnen Kammern mehr im Stein vorhanden, sondern 2 in Längsrichtung des Steins durchgehende Kanäle, in die Schaumkunststoffplatten eingesetzt werden; die Kanäle sind so gegeneinander versetzt, daß der Weg in Wärmestromrichtung möglichst lang wird. Die Steine werden auf der Baustelle in jeder Mauerwerksschicht gegeneinander gedreht versetzt, so daß die Polystyrolplatten stets gegeneinander stoßen.

3 Verbesserung der Wärmedämmung durch den integrierten Wärmedämmstoff

Für Leichtbeton-Hohlblocksteine nach DIN 18 151 sind in der DIN 4108 Teil 4 [3] die Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit des mit diesen Steinen hergestellten Mauerwerks λ_R in Abhängigkeit von der Steinrohdichte angegeben. Sie sind für die 30 cm dicken Dreikammersteine in Bild 2 als durchgehender Linienzug angegeben. Die Festlegung der Rechenwerte erfolgte - in erster Näherung - als obere Umhüllende aller für diese Steinart vorliegenden Meßwerte.

Da der Einfluß einzelner wärmegeprägter Kammern, Änderung der Stegform usw. auf die Wärmedämmung der Steine nicht mit einfachen rechnerischen Methoden ermittelt werden kann, muß die Wärmedämmung von mit Steinen mit integriertem Wärmedämmstoff hergestelltem Mauerwerk in besonderen Versuchen festgestellt werden. Die Versuche werden nach DIN 52 611 Teil 1 [4] durchgeführt (Hot-Box-Methode). Aufgrund dieser Messungen werden im Zulassungsverfahren die Rechenwerte für die Wärmeleitfähigkeit λ_R für das Mauerwerk einer jeden Steinart einzeln festgelegt.

Eine Übersicht über die für die einzelnen typischen Steinarten festgelegten Rechenwerte gibt Bild 2.

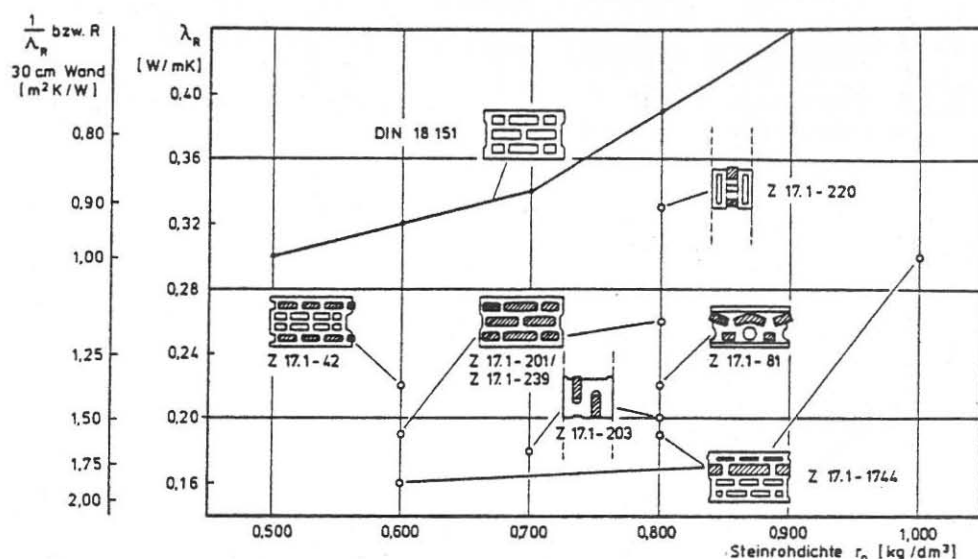


Bild 2: Abhängigkeit des Rechenwertes der Wärmeleitfähigkeit λ_R von der Rohddichte r_0 bei Beton-Hohlblocksteinen mit und ohne integrierten Wärmedämmstoff (Vermauerung mit Normalmörtel)

Aus der Verteilung der einzelnen Punkte ist ersichtlich, daß hier der Einfluß der Rohddichte des Steins nicht mehr so ausgeprägt ist wie bei den genormten Steinen ohne integrierte Wärmedämmschicht. Vielmehr ist hier der Anteil der Wärmedämmschicht und die Formgebung des Steines von Bedeutung. Die Darstellung zeigt, daß durch diese Maßnahmen die Wärmeleitfähigkeit teilweise bis zu 50 % herabgesetzt werden kann, d.h. bei gleicher Wanddicke wird ein doppelt so großer Wärmedurchlaßwiderstand der Wand erreicht. Die Vergleichswerte beziehen sich immer auf mit Normalmauermörtel gemauerte Wände; bei Anwendung von Leichtmauermörteln kann in jedem Fall eine weitere Verbesserung erreicht werden.

4 Tragverhalten der Steine mit integriertem Wärmedämmstoff

4.1 Einfluß auf die Steifigkeit

Die Steifigkeit wird in Deutschland durch das Ergebnis der an einem einzelnen Stein durchgeführten Druckfestigkeitsprüfung definiert. Bild 3 zeigt eine Prinzipskizze über die Durchführung der Druckfestigkeitsprüfung. Der Einfluß der Formgebung des Steines auf die Steindruckfestigkeit kommt insofern nicht zum Ausdruck, obwohl zur Erreichung der gleichen Steindruckfestigkeit bei den einzelnen Steinen teilweise eine andere Betondruckfestigkeit des Steinmaterials erforderlich ist.

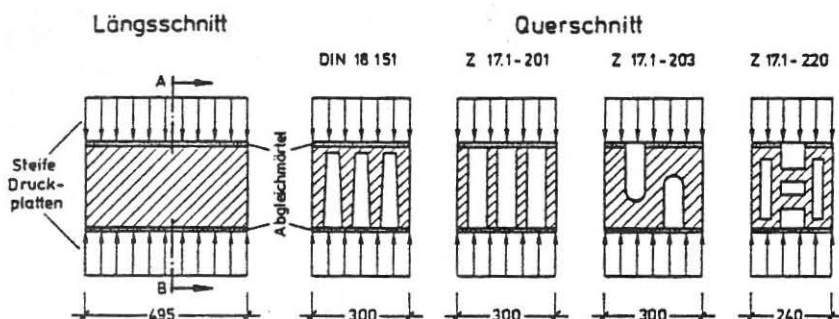


Bild 3: Prüfung der Steindruckfestigkeit - Prinzipskizze -

4.2 Einfluß der Steinform auf die Wanddruckfestigkeit

4.2.1 Wanddruckfestigkeit unter zentrischem Druck

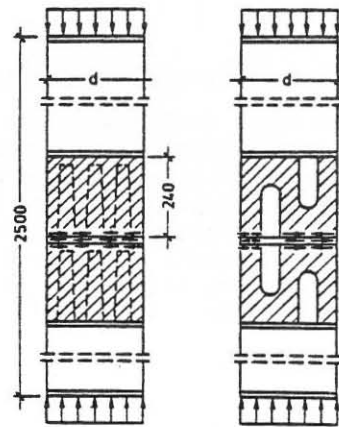
Für die Bemessung von Mauerwerk nach den deutschen Berechnungsnormen (z.B. DIN 1053 Teil 1) [5] werden im allgemeinen Grundwerte der zulässigen Druckspannung angegeben. Die Grundwerte der zulässigen Druckspannung werden auf Grund von Wanddruckversuchen an geschoßhohen Wänden unter zentrischer Druckbeanspruchung festgelegt. Die Versuchsdurchführung erfolgt nach DIN 18 554. [6]

Die Grundwerte der zulässigen Druckspannung werden mit einem Sicherheitsbeiwert $\gamma = 3$ gegenüber der Wanddruckfestigkeit festgesetzt. Aus den zahlreichen Versuchen, die hierzu durchgeführt wurden, konnte ein in erster Näherung linearer Zusammenhang zwischen Steindruckfestigkeit und Wanddruckfestigkeit festgestellt werden, s.z.B. Kirtschig [7].

Für einen Teil der neuen Steine bestehen nun Zweifel, ob diese sich entsprechend der Steinfestigkeitsklasse in die oben genannte Abhängigkeit zwischen Wanddruckfestigkeit und Steindruckfestigkeit einordnen lassen. Nach zahlreichen Veröffentlichungen muß davon ausgegangen werden, daß beim Wanddruckversuch unter zentrischer Belastung der Bruch dadurch eingeleitet wird, daß die Querverformung des Mauermörtels in der Lagerfuge den Stein auf Querkzugfestigkeit beansprucht (siehe Bild 4 a).

Diese Zugspannungen werden bei den Hohlblocksteinen durch die teilweise auch versetzt durchgehenden Querstege und die durchgehende Abdeckplatte des Steines aufgenommen. Bei einem Stein gemäß Zulassung Nr. Z 17.1-203 bzw. 17.1-220 sind diese durchgehenden Querstege nicht mehr vorhanden und auch nicht die durchgehende Abdeckplatte. Die Spannungsverteilung in der Fuge kann man sich nun entsprechend Bild 4 b vorstellen.

Bild 4: Prüfung auf Wanddruckfestigkeit unter zentrischer Druckbeanspruchung - Prinzipskizze -



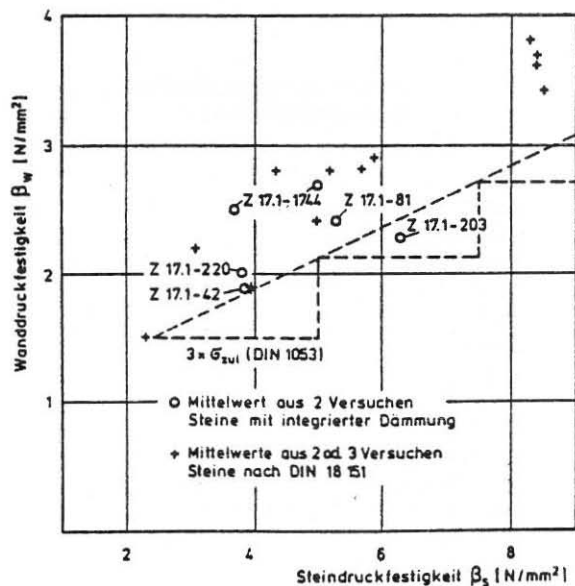
a) Stein nach DIN 18 151

b) Stein nach Z 17.1-203

Durch diese andere Spannungsverteilung könnte es trotz gleicher Steindruckfestigkeit (geprüft nach Bild 3) zu unterschiedlicher Wanddruckfestigkeit gegenüber den genormten Steinen kommen. Um hierüber einen Überblick zu gewinnen, wurden die bisher bekannten Wanddruckversuche an Steinen nach DIN 18 151 in Bild 5 eingetragen und den bei den zugelassenen Wandbausteinen ermittelten Wanddruckfestigkeiten gegenübergestellt.

Die Gegenüberstellung zeigt, daß bei den nur gering von DIN 18 151 abweichenden Steinen kein signifikanter Unterschied der Wanddruckfestigkeit vorliegt und daß lediglich der Stein nach Zulassung Nr. Z 17.1-203 mit den durchgehenden Kanälen eine geringfügig geringere Wanddruckfestigkeit zu haben scheint. Um eine systematische Aussage treffen zu können, bedürfte es aber noch einer größeren Versuchszahl.

Bild 5: Wanddruckfestigkeit in Abhängigkeit von der Steindruckfestigkeit für Mörtelgruppe II ($\beta_M = 2,5 \text{ N/mm}^2$)



4.2.2 Wanddruckfestigkeit unter exzentrischer Belastung

Die Annahme einer zentrischen Beanspruchung der Wand ist jedoch eine sehr grob vereinfachende Rechenannahme. Bei genaueren Untersuchungen über das Tragverhalten von Wänden ist zu berücksichtigen, daß durch die Art der Deckenauflagerung und die Durchbiegung der Decken diese ihre Last in die Wand nicht zentrisch abgeben, sondern mit einer bestimmten Ausmittigkeit. Eine für die Berechnung des Mauerwerks vereinfachende Annahme hierfür ist in Bild 6 dargestellt (entsprechend den Vorschlägen von DIN 1053 Teil 2). [8]

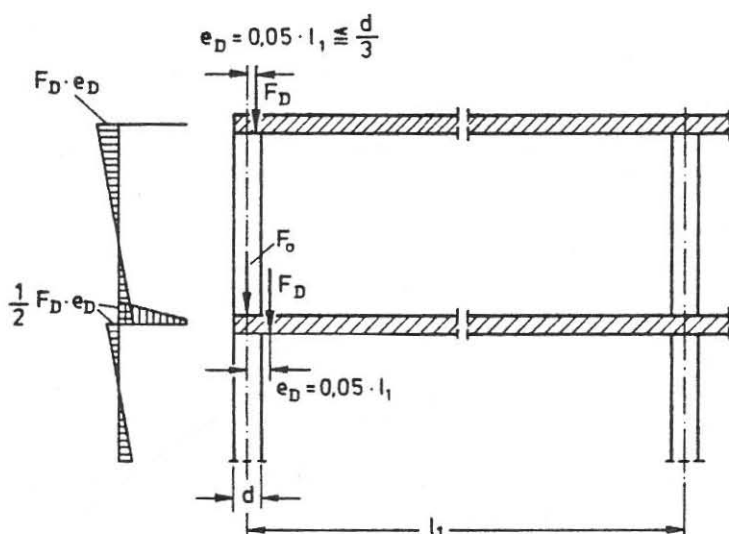
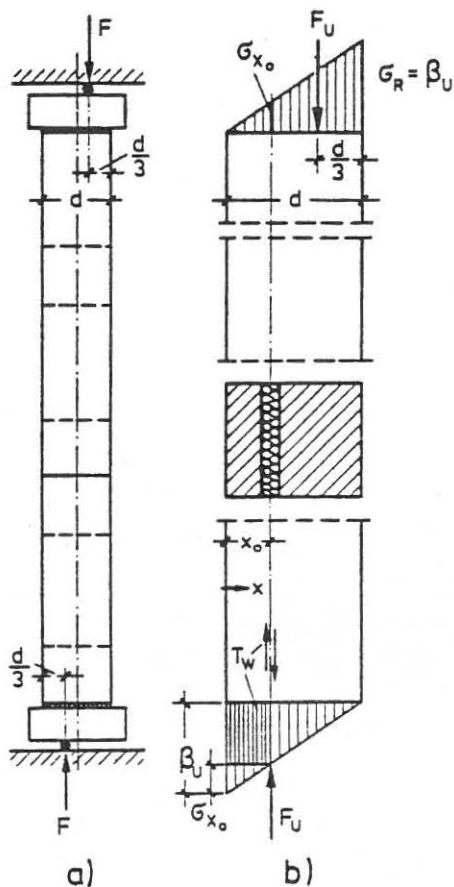


Bild 6: Vereinfachende Annahmen zur Berechnung von Wand-Decken-Knoten

Dabei wird eine begrenzt exzentrische Lasteinleitung am Wandkopf und eine zentrische Lastweiterleitung am Wandfuß angenommen. In erster Annäherung wird angenommen, daß der daraus resultierende schräge Verlauf der Druckspannungstrajektorien zu einer Scherbeanspruchung in Richtung der vertikalen Wandachse führt. Diese Annahme - aber auch andere Denkmodelle - führten zu der Befürchtung, daß Mauerwerk aus Steinen mit gegenüber den bisher üblichen Hohlblocksteinen geringeren oder anderen Querverbindungen (siehe z.B. Z 17.1-1744, 17.1-220, 17.1-203 in Bild 1) geringere Tragfähigkeit haben könnte, wenn die Querverbindungen keine ausreichend großen Scherkräfte aufnehmen können. Im Rahmen der Zulassungsversuche bei solchen Steinarten wurden daher auch Druckversuche mit exzentrischer Belastung entsprechend Bild 7 a durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in der Tabelle 1, Spalte 7, wiedergegeben.



$$\beta_U = \frac{F \cdot 2}{d \cdot b}$$

$$G_{x_o} = \frac{\beta_U \cdot x_o}{d}$$

x = Ordinate Mitte
der Dämmschicht

$$T_w = (\beta_U - G_{x_o}) \cdot x_o \cdot b$$

$$= \left(\beta_U - \frac{\beta_U \cdot x_o}{d} \right) \cdot x_o \cdot b$$

$$T_w = \frac{F_U \cdot 2}{d} \cdot \left(1 - \frac{x_o}{d} \right) \cdot x_o$$

Versuchs-
anordnung

Ermittlung der
Scherkraft T_w

Bild 7: Auswertung des exzentrischen Wanddruckversuchs
- Ermittlung der Scherkraft T_w im kritischen Steg -

Steinfestigkeitsklasse	Steinart	Steineigenschaften			Mörteldruckfestigkeit ^(x) β_M	Bruchlast bei exzentrischen Wanddruckversuchen exz. F_u	Scherkraft beim Bruch der Wand je Stein		Bruchlast bei zentr. Wanddruckversuchen zentr. F_u	$\alpha = \frac{\text{exz. } F_u}{\text{zentr. } F_u}$ $\frac{(10)}{(7)}$
		Bruchfestigkeit β_S	Dicke d	Lage der Dämmschicht x_o			T_w	T_s		
		N/mm ²	mm	mm	N/mm ²	kN	kN	kN	kN	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
2	DIN 18 151	3,9	240	120	3,0 (NM)	560	280	11,2		
						585	283	11,5		
						515 i.M. 553	258	10,3	i.M. 563	0,98
	Z 17.1-220	3,8	240	120	2,4 (NM)	587	294	11,7		
						595 i.M. 591	298	11,9	i.M. 595	1,0
	Z 17.1-201	3,2	300	150	2,5 (LM)	470	235	9,4		
						470 i.M. 470	235	9,4	i.M. 573	0,82
		3,4	300	150	11,7 (LM)	865	433	17,3		
						865 i.M. 865	433	17,3	i.M. 1010	0,86
	Z 17.1-239 (Ähnl. 201)	3,6	300	150	4,5 (LM)	745	373	14,9		
						790 i.M. 767	395	15,9	i.M. 769	1,0
4	Z 17.1-201	6,5	300	150	24,5 (LM)	1350	675	27,0		
						1710 i.M. 1530	855	34,1	i.M. 1530	1,0

x NM: Normal-Mauermörtel; LM: Leichtmauermörtel

Tabelle 1: Scherkraft T_s von Leichtbeton-Hohlblocksteinen mit integrierter Wärmedämmung beim Bruch bei Wanddruckversuchen mit exzentrischer Belastung gem. Bild 7 a

Beim Vergleich mit zentrisch durchgeführten Druckversuchen (Tabelle 1, Spalte 10) zeigte sich, daß die Bruchlast der Wände auch bei dieser exzentrischen Versuchsdurchführung bei einem Teil der Wände nicht wesentlich verringert wurde. Das Verhältnis von exzentrischer Bruchlast zu zentrischer Bruchlast in Spalte 11 der Tabelle 1 weicht nur in zwei Fällen von 1 ab.

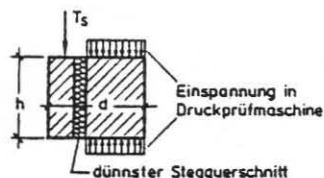
Um für künftige Entwicklungen einen Überblick zu gewinnen, wie groß die Schwerkraft im Bruchzustand der Wand war und ob eine Überschreitung der Scherkraft ursächlich für die Verringerung der Bruchlast bei einzelnen Wänden war, wurde die Scherkraft T auf Grund der Annahmen über die Spannungsverteilung in Bild 7 b ermittelt. Dabei wurde angenommen, daß die maßgebende Scherkraft der Wand T_W in Steinmitte liegt, da dort in der Regel der geringste Steinquerschnitt vorhanden ist. Die so ermittelten Scherkräfte T_W beim Bruch der Wand sind in Tabelle 1, Spalte 8 angegeben. Aus den Scherkräften der Wand wurde stark vereinfachend die Scherkraft T_S bezogen auf den einzelnen Stein ermittelt unter der Annahme, daß die Wand-Scherkraft gleichmäßig über die Wandhöhe auf alle Steine verteilt ist.

Die so ermittelten Scherkräfte T_S sind in Tabelle 1, Spalte 9, angegeben.

4.2.3 Scherfestigkeit der Steine

Obwohl bei einigen Wänden beim exzentrischen Wanddruckversuch auch das Bruchbild darauf schließen ließ, daß die Scherfestigkeit der Wand überschritten wurde, zeigt jedoch der Vergleich mit der beim zentrischen Druckversuch erreichten Wanddruckfestigkeit, daß die Überwindung der Scherkraft nicht unbedingt für den Bruch auslösend gewesen sein muß. Insofern war nicht sicher, ob die in Tabelle 1, Spalte 9, ermittelten Scherkräfte beim Bruch der Wand auch die maximal ertragbaren Scherkräfte des Steins waren. Bei einigen Steinen wurden daher am einzelnen Stein Abscherversuche gemäß Bild 8 durchgeführt.

Bild 8: Versuchsanordnung zur Ermittlung der Scherkraft des Steins



Die nach diesen Versuchen ermittelten Scherfestigkeiten T_S einzelner Steine sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

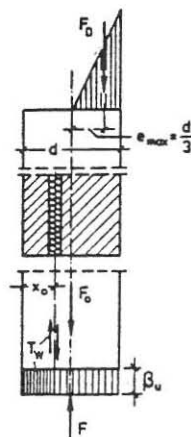
Steinfestigkeitsklasse	Steinart	Steindicke d	Druckfestigkeit β_s	Scherfestigkeit T_s	
				Einzelwert	Mittelwert
		mm	N/mm ²	kN	kN
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
2	DIN 18 151	240	3,9	9.4...20.8	13,5
	Z 17.1 -1744	300	2,1	14.6...20.9	17,5
	Z 17.1 -220	240	3,8	10.2...15.5	12,8
4	Z 17.1 -203	300	6,3	19.1...28.7	22,6

Tabelle 2: Scherfestigkeit T_s von Leichtbeton-Hohlblocksteinen mit integrierter Wärmedämmung aus Steinversuchen gem. Bild 8

Die Versuchsergebnisse streuten teilweise sehr stark. Es zeigte sich jedoch, daß die ermittelten Scherfestigkeiten etwa von gleicher Größenordnung waren wie diejenigen, die bei den Bruchversuchen der Wand errechnet wurden.

Um zumindest bei den Steinen, die den genormten Hohlblocksteinen annähernd gleichen, ein einfacheres Beurteilungsverfahren als exzentrische Wanddruckversuche zu haben und um eine entsprechende, sinnvolle Steineigenschaft für die Herstellungsüberwachung dieser Steine festlegen zu können, wird über ein sehr einfaches Rechenmodell versucht, die ermittelten Steinscherfestigkeiten auch theoretisch als ausreichend zu belegen. Entsprechend den Annahmen von Bild 6 wurde die Spannungsverteilung in der Wand mit integriertem Wärmedämmstoff gemäß Bild 9 angenommen.

Bild 9: Annahmen zur Ermittlung der erforderlichen Scherfestigkeit der Steine



Die Ermittlung der erforderlichen Scherkraft der Steine erfolgt nach den folgenden Überlegungen.
Es wird eine Lasteintragung der Deckenlast und eine Fortleitung der Kräfte gemäß Bild 6 unterstellt. Die maximale Exzentrizität der Deckenlast beträgt

$$e_{\max} = \frac{d}{3}.$$

Die Gesamtbelastung der Wand beträgt

$$F = F_D + F_0 \quad \text{wobei } F_D \text{ die aus der Decke eingetragene Last,}$$

F_0 das Wandeigengewicht und zentrische Lasten aus darüber befindlichen Geschossen ist.

Für die Ermittlung der max. erforderlichen Scherkraft ist vereinfachend als theoretisch ungünstigster Fall $F_0 = 0$ zu setzen; somit ist $F = F_D$.

Daraus ergibt sich bei linearer Spannungsverteilung im Wandkopf eine Spannungsverteilung gemäß Bild 9.

Gemäß Bild 6 wird eine zentrische Lasteintragung im Fußbereich der Wand unterstellt; somit ergibt sich dort die dargestellte konstante Spannungsverteilung.

Im Bruchzustand beträgt dann

$$F = \beta_u \cdot d \cdot b \quad \text{mit } \beta_u = \text{Druckbruchfestigkeit der Wand,}$$

$d = \text{Wanddicke,}$

$b = \text{Wandbreite.}$

Hierbei wird unterstellt, daß im Deckeneintragungsbereich die gegenüber β_u höheren Spannungspitzen aufgenommen werden können.

Die beim Bruchzustand über den hinsichtlich der Scherkraftübertragung ungünstigsten Steinquerschnitt an der Stelle x_0 zu übertragende Scherkraft der Wand beträgt dann

$$T_W = \beta_u \cdot x_0 \cdot b.$$

Setzt man - wie bei der Festlegung der zulässigen Druckspannungen beim Mauerwerksbau z.Z. in Deutschland üblich (DIN 1053 Teil 1) [5] - einen Sicherheitsfaktor gegen Bruch von $\nu = 3$ ein, d.h. setzt man

$$\beta_u = 3 \cdot \sigma_{zul}$$

für die entsprechende Mauerwerksart, so ergibt sich daraus:

$$T_W = 3 \cdot \sigma_{zul} \cdot x_0 \cdot b$$

Weiter wird vereinfachend angenommen, daß die zu übertragende Scherkraft T_W sich gleichmäßig auf alle Steine des betrachteten Wandabschnittes verteilt, d.h. die für einen einzelnen Stein erforderliche Scherkraft T_s beträgt dann

$$T_s = \frac{T_W}{n_1 \cdot n_2} \quad \text{mit } n_1 = \text{Anzahl der Steine je Geschoßhöhe,}$$

$n_2 = \text{Anzahl der Steine je Wandbreite.}$

Weiter wird als ungünstigster Fall angenommen, daß der schwächste Steinquerschnitt sich in der Steinmitte befindet, d.h.

$$x_0 = \frac{d}{2}.$$

Damit ergibt sich die erforderliche Steinscherkraft erf T_s zu

$$\text{erf } T_s = \frac{3 \cdot \sigma_{zul} \cdot d \cdot b}{2 \cdot n_1 \cdot n_2}$$

Für die hier betrachteten Leichtbeton-Hohlblocksteine können die üblicherweise erforderlichen Scherkräfte T_s dann an Hand eines Beispiels abgeschätzt werden:

Wandbreite: 100 cm, übliche Steinlänge rd. 50 cm; d.h. $n_2 = 2$

Wandhöhe: übliche Geschoßhöhe 2,50 m; übliche Steinhöhe rd. 25 cm, d.h. $n_1 = 10$

Wanddicke: 30 cm

σ_{zul} entsprechend den Steinfestigkeitsklassen und der höchsten Mörtelfestigkeit (Mörtelgruppe III mit $\beta_M \geq 10 \text{ N/mm}^2$) - aus DIN 1053 Teil 1 entnommen.

Damit ergibt sich:

$$\text{erf } T_s = 22,5 \cdot \sigma_{zul} \text{ [kN]} \quad \text{mit } \sigma_{zul} \text{ in [MN/m}^2\text{]}$$

Für die hier in Betracht zu ziehenden Steinfestigkeitsklassen 2, 4 und 6 ergeben sich danach die in Tabelle 3, Spalte 4 erforderlichen Scherkräfte erf T_s .

Steinfestigkeitsklasse	mittlere Steindruckfestigkeit β_s N/mm ²	max. σ_{zul} . gem. DIN 1053 T. 1 MN/m ²	erf. T_s kN
(1)	(2)	(3)	(4)
2	2,5	0,6	13,5
4	5,0	1,0	22,5
6	7,5	1,2	27,0

Tabelle 3: Erforderliche Scherfestigkeit erf T_s der Steine

Es zeigt sich, daß die an den einzelnen Steinen ermittelten Scherfestigkeiten T_s in den meisten Fällen gerade die unter den o.a. Annahmen erforderliche Scherfestigkeit der Steine erfüllen. Daraus ergibt sich, daß die Scherfestigkeit dieser bisher zugelassenen Steine auch bei ungünstigster Beanspruchung der Wand nicht maßgebend für das Bruchverhalten der Wände wird und man daher auch bei den Steinen mit integrierter Wärmedämmung und besonderer Querschnittsausbildung und/oder abgeminderten Querstegen noch von einem monolithischen Wandquerschnitt ausgehen kann und die hierfür üblichen Bemessungsverfahren anwenden darf.

Zur Beurteilung, ob ein Steinquerschnitt die Gefährdung in sich birgt, daß daraus errichtete Wände eine zu geringe Tragfähigkeit bei exzentrischer Belastung haben, scheint das Verfahren der Ermittlung der Scherfestigkeit am einzelnen Stein und Vergleich mit den Mindestscherfestigkeiten der Tabelle 3 ein einfacher Weg zu sein. Sollte die Scherfestigkeit allerdings bei anderen Neuentwicklungen geringer sein, muß man - wenn man bei der üblichen Bemessung bleiben will - die zulässige Druckspannung der Wand herabsetzen.

Hier muß abschließend allerdings darauf hingewiesen werden, daß es sich bei den ausgewerteten Versuchen nicht um systematische Reihenversuche handelte, sondern um jeweils Einzelversuche aus verschiedenen Zulassungsverfahren [9] [10] [11], so daß endgültige Aussagen hier noch nicht getroffen werden konnten.

- [1] DIN 18 151 (2.79) Hohlblocksteine aus Leichtbeton

- [2] H.J. Irmscher/H.G.Meyer: Neue Baustoffe und Bauarten im Mauerwerksbau; Mauerwerkskalender 1982; Verlag W. Ernst u. Sohn, Berlin

- [3] DIN 4108 Teil 4 (8.81) Wärmeschutz im Hochbau - wärme- und feuchte-schutztechnische Kennwerte -

- [4] DIN 52 611 Teil 1 (4.78) Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes von Wänden und Decken; Prüfung im Laboratorium

- [5] DIN 1053 Teil 1 (11.74) Mauerwerk; Berechnung und Ausführung

- [6] DIN 18 554 (12.71) Mauerwerk; Ermittlung der Tragfähigkeit von Wänden und Pfeilern

- [7] K.Kirtschig/D.Kasten: Auswertung von Versuchsergebnissen zur Festlegung von Mauerwerksfestigkeitsklassen bei Ingenieurmauerwerk; Mitteilungen aus dem Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, Heft 43/1979

- [8] DIN 1053 Teil 2 (Entwurf 2.81) Mauerwerk; Ingenieurmäßig bemessene Bauten; Berechnung und Ausführung

- [9] Prüfungsberichte
 B 22 572
 B 22 263
 B 21 312
 B 23 227
 I.3-23 101/1/Ba/Kr
 Amtliche Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen - Otto-Graf-Institut - der Universität Stuttgart (nicht veröffentlicht)

- [10] W.Manns/H.Schneider: Einfluß der doppelt exzentrischen Belastung von Hohlblocksteinmauerwerk auf die Wandtragfähigkeit (Forschungsbericht der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg - Otto-Graf-Institut) (bisher unveröffentlicht)

- [11] Versuchsberichte
 118 456
 112 953
 119 885
 121 890
 Materialprüfungsamt der Bayerischen Landes-gewerbeanstalt Nürnberg (nicht veröffentlicht)