

Manuskript Stand:
28.01.2002-Scho/st-

Fertigbauteile aus Mauerwerk unter Stoßbeanspruchung
Statistische Auswertung von Versuchsdaten
aus Großversuchen

Bericht Nr. 2000 20316

Dr.-Ing. Karl R. Schories

INITIATOR:

Dipl.-Ing. Hermann Kammerer

Fachausschuss Bau

Arbeitskreis Lastaufnahmemittel im Bauwesen, Fertigteilbau

Einleitung

Mit der zunehmenden Anzahl bei Produktion und Verwendung von Fertigbauteilen aus Mauerwerk, stellen sich neben vielen Vorteilen, die diese Entwicklung gegenüber der konventionellen Herstellung bietet, auch neue Gefährdungen für die Beschäftigten im Umgang mit diesen Mauertafeln ein.

Im Zusammenhang mit diesem Bericht sind dies neben anderen und insbesondere während des Krantransportes

- Absturz von Teilen eines Steines
- Absturz einzelner Steine
- Absturz mehrerer zusammenhängender Steine.

Die entsprechenden Hinweise der Mauerwerksnorm [1], der Sicherheitsregeln [2] und der für entsprechende Nachweise anzuwendenden Prüfgrundsätze [3] stellen jedoch Hilfsmittel zur Verfügung, die es ermöglichen das Risiko auf ein tolerables Maß zu senken.

Großversuche

Zunächst begleitend und später auf der Basis der bestehenden Entwürfe zu [1], [2] und [3] wurden Großversuche mit repräsentativen Wandtafeln durchgeführt. Dabei wurden die geschoßhohen und raumbreiten Fertigbauteile im Kran hängend bei einer Geschwindigkeit von 40 m/min auf eine unverschieblich gelagerte Anprallvorrichtung gefahren. Grundsätzlich ist dieser Versuch für eine Bauart sowohl für die Beurteilung der Gesamtsteifigkeit als Mittenanstoß als auch für die Beurteilung ausreichender Transportsicherung im Eckbereich als Eckanstoß notwendig. Zur Vereinfachung des relativ aufwändigen Prüfverfahrens wurden - mit dem Ziel einer späteren Prüfung von Wänden ähnlicher Bauart mittels kleinerer Ersatzprüfkörper - Messungen durchgeführt, die den Stoßimpuls beim Eckanstoß ausgeben.

Für die statistische Auswertung stehen bislang die Versuchsergebnisse aus

- | | | |
|----------------------|----------------------|-----|
| ➤ Hilpoltstein | vom 02.08.1994 | [4] |
| ➤ Röthenbach/Pegnitz | vom 23.08.1994 | [5] |
| ➤ Bonenburg | vom 28.07.1995 | [6] |
| ➤ Rötz/Obpf. | vom 12. - 13.08.1996 | [7] |
| ➤ Draschwitz-Reuden | vom 22.11.2001 | [8] |

zur Verfügung.

Versuchsergebnisse

Bedingt durch die jeweilige Situation der Durchführung im jeweiligen Herstellerwerk, haben diese Versuche den Charakter von Feldversuchen. Die für die Auswertung des Impulses B im Bereich kleiner Werte für die Masse m und ein allmähliches Abflachen der Kurve mit größer werdender Masse m. Dies entspricht näherungsweise einer Funktion B(m) von der allgemeinen Form

$$B(m) = a\sqrt{m} + b m.$$

Als inverse Form eines Polynoms 2. Grades wird der Funktionsverlauf durch drei Punkte eindeutig bestimmt. Da mit dem Ursprung (0|0) bereits ein Punkt aus physikalischen Gründen festliegt, benötigt man noch zwei weitere Punkte, die unter Berücksichtigung der statistischen Verteilung die gesamte Kurve endgültig bestimmen.

Die bislang vorliegenden relevanten Ergebnisse sind in den Tabellen 1 bis 4 zusammengestellt. Dabei wird unterschieden nach Art der in den Prüfkörpern vermauerten Steine sowie nach der Art des verwendeten Bindemittels.

Tabelle 1: Bewegungsgröße (Impuls) aus Messwerten für den Kraft/Zeit-Verlauf bei Großversuchen nach [3] mit Fertigbauteilen aus Ziegelmauerwerk, vermauert mit Normal- oder Leichtmörtel

lfd. Nr.	Quelle	Masse m [kg] der Wand	Mörtelart	Spitzenkraft F [kN]	Impuls B [Ns]
H 1.1	[4], Anl. 1	2640	LM 36		37,5
H 1.5	[4], Anl. 2				14,7
H 2.1	[4], Anl. 3	3290	LM 36		9,9
H 2.6 d	[4], Anl. 5				14,7
B 1.1	[6], Anl. 7.1	4500	LM 21	7,3	42,6
B 1.2	[6], Anl. 7.2			7,7	35,7
B 1.7	[6], Anl. 7.2a			3,35	41,5
H 2a.3	[4], Anl. 8	4930	LM 36		45,0
B 2.1	[6], Anl. 7.3	5480	LM 21	4,7	31,5
B 5.2	[6], Anl. 7.6			3,5	54,0

Die Darstellung des Impulses in Abhängigkeit von der Masse des Bauteils soll für die unterschiedlichen Konstruktionsmerkmale erfolgen. Bei Berücksichtigung der Mittelwerte für die jeweiligen Massengruppen ergibt sich nach Verbindung der aufgetragenen Punkte (m|B) eine Kurve mit stark überproportionalem Anstieg.

Tabelle 2: Bewegungsgröße (Impuls) aus Messwerten für den Kraft/Zeit-Verlauf bei Großversuchen nach [3] mit Fertigbauteilen aus Ziegelmauerwerk, vermauert mit Dünnbettmörtel oder als Vergusstafel ausgeführt

lfd. Nr.	Quelle	Masse m [kg] der Wand	Mörtelart	Spitzenkraft F [kN]	Impuls B [Ns]
D 1.2 a	[8], Abschn. 3	1200	DBM Typ III	10,3	22,1
D 1.2 c				10,3	20,7
D 1.2 d				7,5	13,6
B 9.1	[7], Anl. 7.13	3000	DBM ZP 99	13,7	43,8
D 2.3 a	[8], Abschn. 3	4170	DBM Typ III	19,0	38,0
D 2.3 b				15,3	25,7
D 2.3 c				21,5	42,9
D 2.3 d				18,3	29,0
R 2.7	[6], Tab. 3	4580	Verguss	28,0	28,0
B 10.1	[7], Anl. 7.14	4768 incl. Verfüllmörtel	DBM Typ 1	27,2	130,5
B 10.2	[7], Anl. 7.15			38,9	144,5
R 1.2	[6], Tab. 2	5470	Verguss	39,0	93,0
R 1.3				38,2	56,0
B 6.1	[7], Anl. 7.8	5480	DBM ZP 99	3,1	39,3
B 7.1	[7], Anl. 7.9		DBM Typ 1	11,8	96,3
B 7.2	[7], Anl. 7.10			14,1	113,4
B 8.1	[7], Anl. 7.11		DBM ZP 99	9,4	35,1
B 8.2	[7], Anl. 7.12			6,8	36,9
D 3.2 a	[8], Abschn. 3	5710	DBM Typ III	22,8	50,6
D 3.2 b				15,8	31,6
D 3.2 c				29,3	54,3
D 3.2 d				21,6	50,7

Tabelle 3: Bewegungsgröße (Impuls) aus Messwerten für den Kraft/Zeit-Verlauf bei Großversuchen nach [3] mit Fertigbauteilen aus KS-Mauerwerk, vermauert mit Normal- oder Leichtmörtel

lfd. Nr.	Quelle	Masse m [kg] der Wand	Mörtelart	Spitzenkraft F [kN]	Impuls B [Ns]
Rb 1.1	[5], Anl. C/1	3150	MG III	16,5	48,0
Rb 1.2	[5], Anl. C/2			61,3	
Rb 1.3	[5], Anl. C/3			63,0	
Rb 4.1	[5], Anl. C/10			16,0	49,7
Rb 2.1	[5], Anl. C/5	3360	MG III	13,0	79,5
Rb 2.2	[5], Anl. C/6			25,0	58,5
Rb 2.3	[5], Anl. C/6a			64,0	

Tabelle 4: Bewegungsgröße (Impuls) aus Messwerten für den Kraft/Zeit-Verlauf bei Großversuchen nach [3] mit Fertigbauteilen aus KS-Mauerwerk, vermauert mit Dünnbettmörtel

lfd. Nr.	Quelle	Masse m [kg] der Wand	Mörtelart	Spitzenkraft F [kN]	Impuls B [Ns]
Rb 5.1	[5], Anl. C/12	4320	DBM-KSK 3	18,5	103,0
Rb 5.2	[5], Anl. C/13			71,25	
Rb 5.3	[5], Anl. C/14			18,0	83,6
Rb 3.1	[5], Anl. C/7	5400	MG III	18,5	63,8
Rb 3.2	[5], Anl. C/			71,25	

Anmerkung

Die Versuche Rb 5.2 und Rb 3.2 wurden mit erhöhter Krangeschwindigkeit ($v = 60 \text{ m/min}$) gefahren. Es darf davon ausgegangen werden, dass die Berücksichtigung dieser Versuche eine Abschätzung zur sicheren Seite bedeutet.

Auswertung für Ziegelmauertafeln; Norm- und Zulassungsziegel einschließlich Verfüllziegel vermauert mit Dünnbettmörtel sowie Vergusstafeln

Da hier allgemein eine relativ breite Basis durch die Anzahl der Versuchswerte geschaffen werden konnte, kann die Bestimmung der Funktionsgleichung B (m) auf der Grundlage der größten und der kleinsten Massengruppe vorgenommen werden.

Die statistische Auswertung nach [9] der kleinsten Massengruppe $m = 1200$ kg unter Berücksichtigung von Versuchswerten (siehe Tabelle 2) ergibt eine obere Grenze L_o der Bewegungsgröße B (Impuls)

$$L_o = 54 \text{ Ns,}$$

wobei

$\sum_{(i)} x_i =$	56,40 Ns	(Summe der berücksichtigten Versuchswerte; $i = 1 \dots n, n = 4$)
$\xi =$	18,80 Ns	(Mittelwert)
$s =$	4,56 Ns	(Näherungswert der Standardabweichung)
$k =$	7,66	(Faktor der Standardabweichung bei Berücksichtigung der Anzahl $n = 4$, dem zu erfassenden Anteil $p = 95 \%$, dem Vertrauensniveau $1-\alpha = 0,95$; siehe [9], Tab. 3)

als Berechnungswerte eingehen.

Analog ergibt sich bei Auswertung nach [9] der größten Massengruppe $5470 \leq m \leq 5710$ eine zugehörige obere Grenze L_o der Bewegungsgröße B (Impuls)

$$L_o = 140 \text{ Ns,}$$

wobei

$\sum_{(i)} x_i =$	656,7 Ns	($i = 1 \dots 11$)
$\xi =$	59,7 Ns	
$s =$	28,2 Ns	
$k =$	2,61	(wie vorher; jedoch unter Berücksichtigung von $n = 11$)

als Berechnungswerte eingehen.

Eine Auswertung für die Mittelwerte der Massengruppen der Tabelle 1 legte eine Funktion der allgemeinen Form

$$B(m) = a\sqrt{m} + b m$$

nahe. Diese berücksichtigt auch den Effekt wonach Versuchswerte für kleine Massengruppen überproportional größer ausfallen.

Mit den durch die oben vorgenommene statistische Auswertung liegen zwei Punkt der Funktionsgleichung

$$B(m = 1200 \text{ kg}) = 54 \text{ Ns} \quad (\text{I})$$

und

$$B(m = 5470 \text{ kg}) = 140 \text{ Ns} \quad (\text{II})$$

fest, die eine Bestimmung der freien Parameter a und b ermöglichen.

Die Lösung des Gleichungssystems

$$\sqrt{1200} a + 1200 b = 54 \text{ Ns}$$

$$\sqrt{5470} a + 5470 b = 140 \text{ Ns}$$

liefert die Parameter

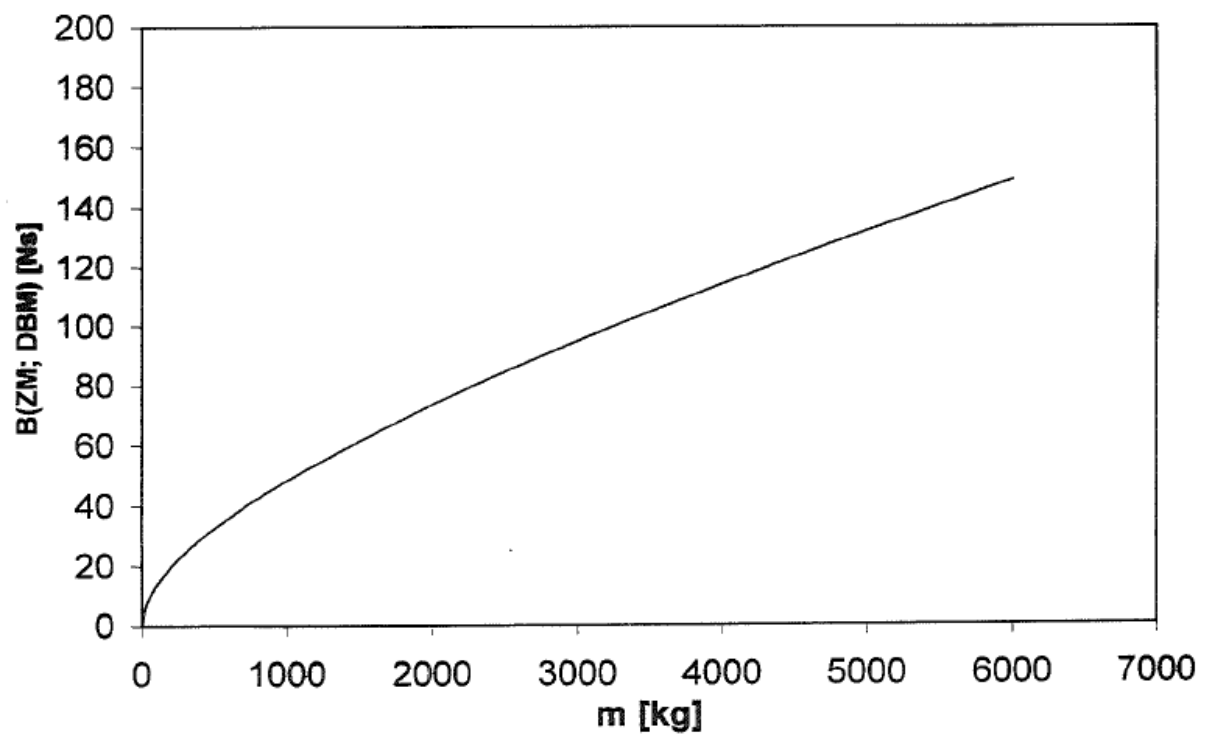
$$a = 1,265$$

und

$$b = 0,0085.$$

Danach ergibt sich eine Funktionsgleichung für die Kurve für Ziegelmauertafeln aus Norm- und Zulassungsziegeln (einschließlich Verfüllziegeln) vermauert mit Dünnbettmörtel sowie Vergusstafeln die Funktionsgleichung in der Form

$$B_{\text{ZM}}^{\text{DBM}}(m) = 1,265 \sqrt{m} + 0,0085 m \text{ [Ns]}; \quad m \text{ [kg]}.$$



Tafel 1: Kurve für Ziegelmauertafeln; Norm- und Zulassungsziegel einschließlich Verfüllziegel vermauert mit Dünnbettmörtel sowie Vergusstafeln

Auswertung für Ziegelmauertafeln; Norm- und Zulassungsziegel vermauert mit Normal- oder Leichtmörtel

Grundlage mit der breitesten Basis an Versuchswerten ist die Gruppe $4500 \leq m \leq 5500$ kg, siehe Tabelle 1.

Die statistische Auswertung nach [9] auf der Basis von 6 Versuchswerten ergibt eine obere Grenze L_o der Bewegungsgröße B (Impuls)

$$L_o = 71 \text{ Ns,}$$

wobei

$\sum_{(i)} x_i =$	271,3	Ns	(Summe der berücksichtigten Versuchswerte; $i = 1 \dots n, n = 6$)
$\xi =$	45,2	Ns	(Mittelwert)
$s =$	6,95	Ns	(Näherungswert der Standardabweichung)
$k =$	3,71		(statischer Faktor der Standardabweichung bei Berücksichtigung der Anzahl $n = 6$, dem zu erfassenden Anteil $p = 95 \%$, dem Vertrauensniveau $1-\alpha = 0,95$)

als Berechnungswerte eingehen.

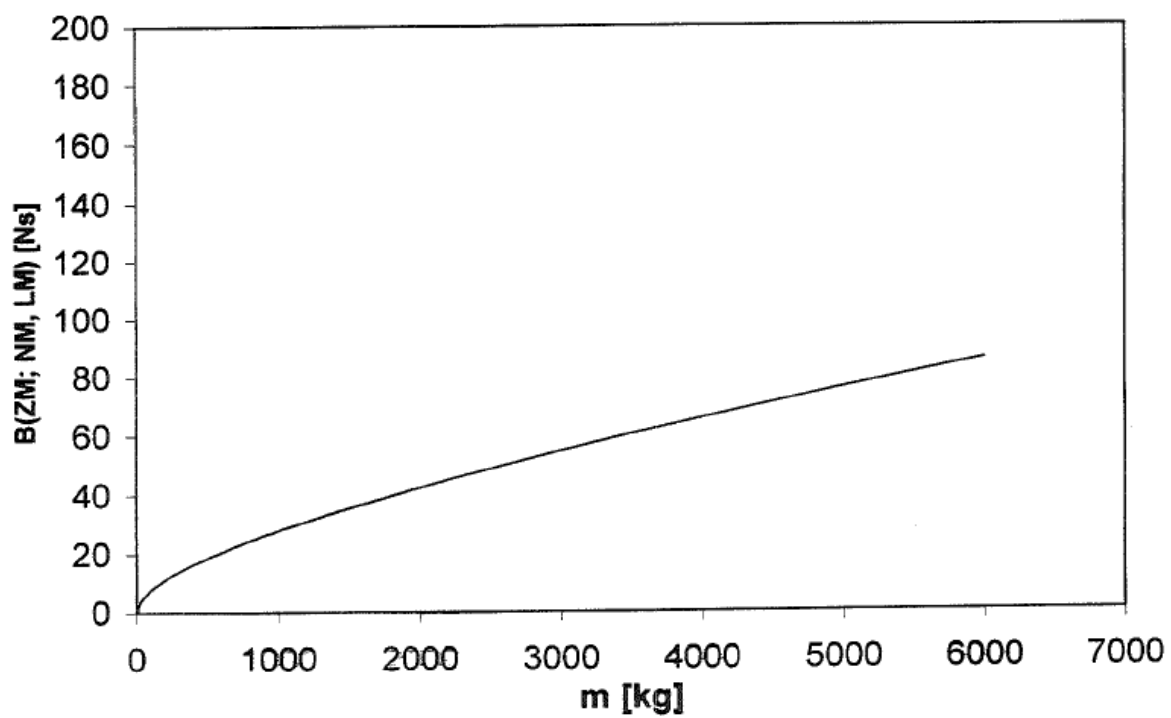
Wegen der deutlich breiteren Basis an Versuchswerten mit den Parameter „Dünnbettmörtel“ wird bei der grundsätzlichen Form der Kurve darauf zurückgegriffen. Die Anpassung an den Parameter „Normal- und Leichtmörtel“ erfolgt durch Kalibrierung mit Hilfe der hier vorhandenen Gruppe für die die meisten Versuchswerte vorliegen, siehe oben.

$$B(m = 4500 \text{ kg}) = K_{ZM} (1,265 \sqrt{m} + 0,0085 \text{ m}) = 71 \text{ Ns}$$

$$K_{ZM}^{NM,LM} = \frac{71}{1,265 \sqrt{4500} + 0,0085 \cdot 4500} = 0,58$$

Damit hat die Kurve für Ziegelmauertafeln aus Norm- und Zulassungsziegeln vermauert mit Normal- oder Leichtmörtel die Funktionsgleichung

$$B_{ZM}^{NM,LM}(m) = 0,73 \sqrt{m} + 0,0049 \text{ m [Ns];} \quad m \text{ [kg].}$$



Tafel 2: Auswertung für Ziegelmauertafeln; Norm- und Zulassungsziegel vermauert mit Normal- oder Leichtmörtel

Auswertung für KS-Mauertafeln; Norm- und Zulassungsziegel vermauert mit Normal- oder Leichtmörtel

Grundlage ist die Gruppe $m = 3150$ kg, siehe Tabelle 3. Der daraus zu ermittelnde Grenzwert L_o dient analog der Vorgehensweise im Abschnitt für Ziegelmauertafeln der Anpassung der Kurve für Dünnbettmörtel (siehe Tafel 1) an die hier vorliegenden Parameter.

Die statistische Auswertung nach [9] der Gruppe $m = 3150$ kg ergibt auf der Basis von 4 Versuchswerten eine obere Grenze L_o der Bewegungsgröße B (Impuls)

$$L_o = 95,3 \text{ Ns},$$

wobei

$\sum_{(i)} x_i =$	222	Ns	(Summe der berücksichtigten Versuchswerte; $i = 1 \dots n, n = 4$)
$\xi =$	55,5	Ns	(Mittelwert)
$s =$	7,74	Ns	(Näherungswert der Standardabweichung)
$k =$	5,14		(statischer Faktor der Standardabweichung bei Berücksichtigung der Anzahl $n = 4$, dem zu erfassenden Anteil $p = 95 \%$, dem Vertrauensniveau $1-\alpha = 0,95$)

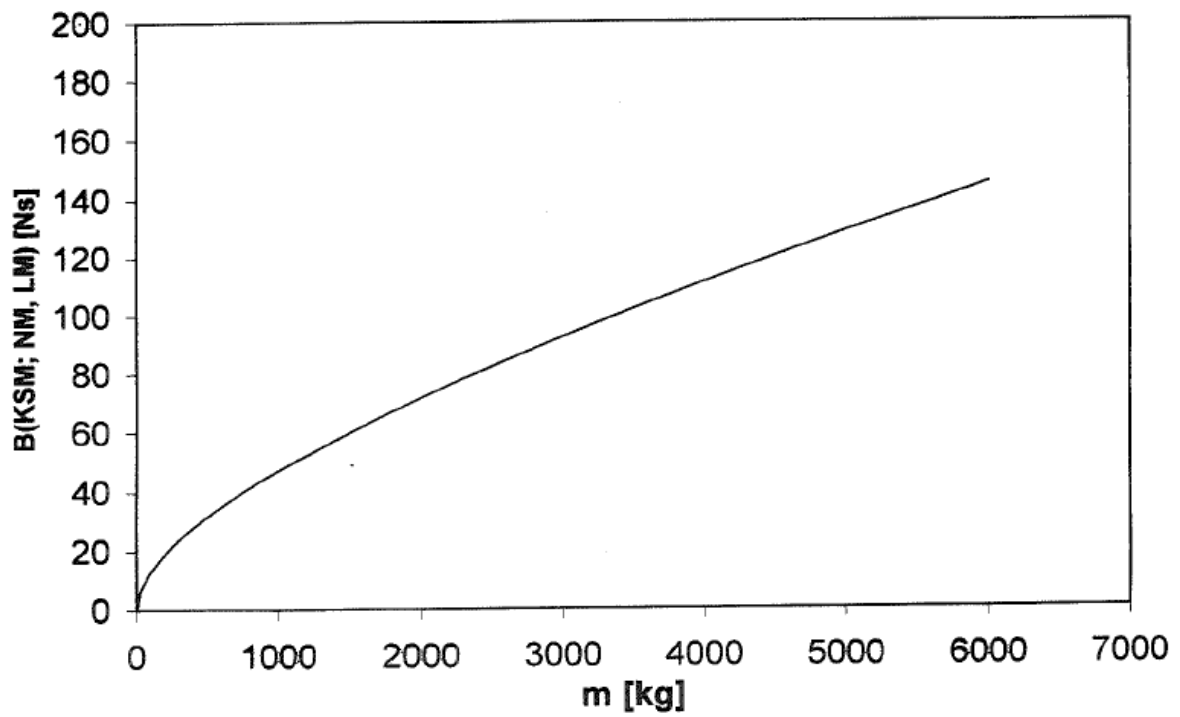
als Berechnungswerte eingehen.

$$B(m = 3150 \text{ kg}) = K_{\text{KSM}}^{\text{NM,LM}} (1,265 \sqrt{m} + 0,0085 \text{ m}) = 95,3 \text{ Ns}$$

$$K_{\text{KSM}}^{\text{NM,LM}} = \frac{95,3}{1,265 \sqrt{3150} + 0,0085 \cdot 3150} = 0,975$$

Damit hat die Kurve für KS-Mauertafeln aus Norm- und Zulassungsziegeln vermauert mit Normal- oder Leichtmörtel die Funktionsgleichung

$$B_{\text{KSM}}^{\text{NM,LM}}(m) = 1,233 \sqrt{m} + 0,0083 \text{ m [Ns]}; \quad m \text{ [kg]}.$$



Tafel 3: Kurve für KS-Mauertafeln; Norm- und Zulassungsziegel vermauert mit Normal- oder Leichtmörtel

Auswertung für KS-Mauertafeln; Norm- und Zulassungsziegel vermauert mit Dünnbettmörtel

Grundlage ist die Gruppe $4320 \text{ kg} \leq m \leq 5400 \text{ kg}$, siehe Tabelle 4. Der daraus zu ermittelnde Grenzwert L_o dient analog der Vorgehensweise im Abschnitt für Ziegelmauertafeln der Anpassung der Kurve für Ziegelmauertafeln (siehe Tafel 1) an die hier vorliegenden Parameter.

Die statistische Auswertung nach [9] der Gruppe im oben vorgegebenen Intervall ergibt auf der Basis von 5 Versuchswerten eine obere Grenze L_o der Bewegungsgröße B (Impuls)

$$L_o = 144 \text{ Ns},$$

wobei

$\sum_{(i)}$	$x_i =$	392,9 Ns	(Summe der berücksichtigten Versuchswerte; $i = 1 \dots n, n = 5$)
	$\xi =$	78,58 Ns	(Mittelwert)
	$s =$	14,4 Ns	(Näherungswert der Standardabweichung)
	$k =$	4,21	(statischer Faktor der Standardabweichung bei Berücksichtigung der Anzahl $n = 5$, dem zu erfassenden Anteil $p = 95 \%$, dem Vertrauensniveau $1-\alpha = 0,95$)

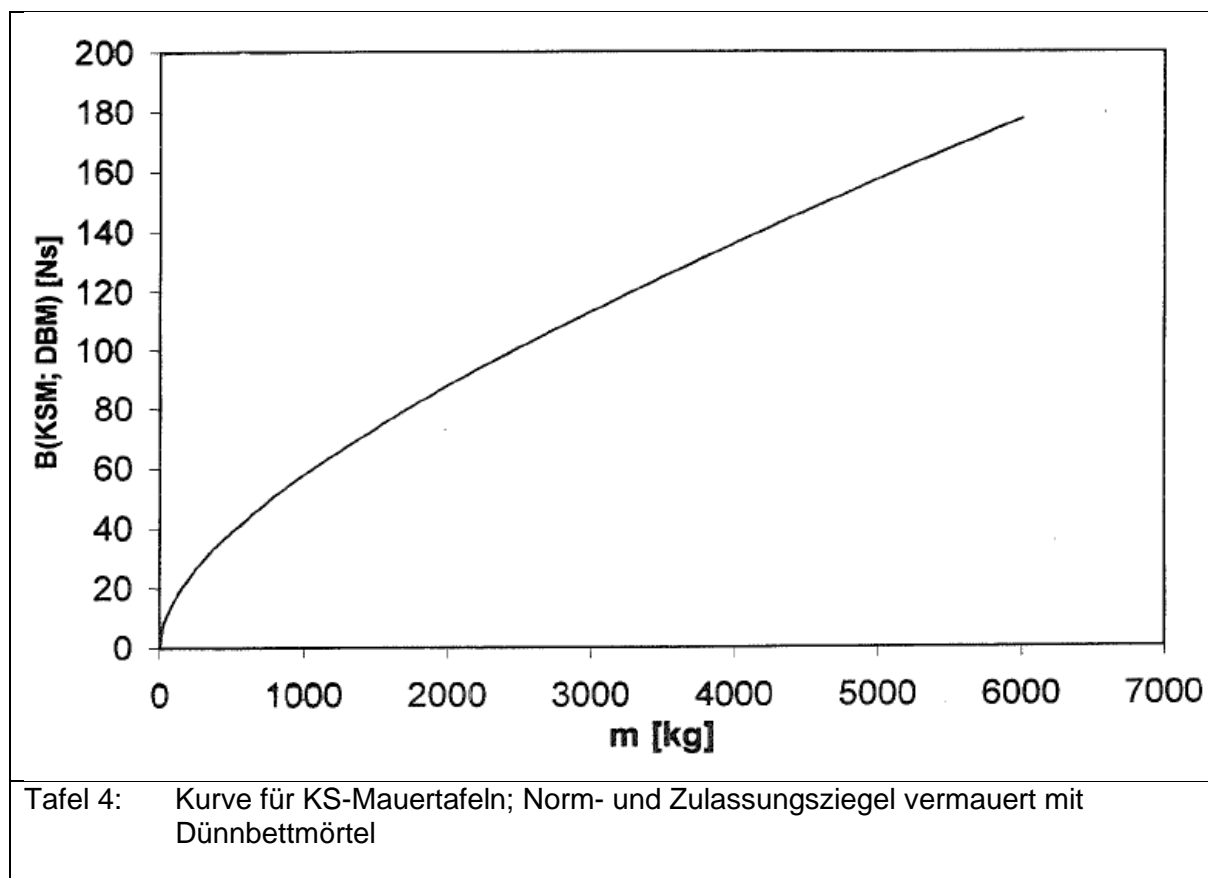
als Berechnungswerte eingehen.

$$B(m = 4320 \text{ kg}) = K_{\text{KSM}}^{\text{DBM}} (1,265 \sqrt{m} + 0,0085 m) = 144 \text{ Ns}$$

$$K_{\text{KSM}}^{\text{DBM}} = \frac{144}{1,265 \sqrt{4320} + 0,0085 \cdot 3150} 4320 = 1,20$$

Damit hat die Kurve für KS-Mauertafeln aus Norm- und Zulassungsziegeln vermauert mit Normal- oder Leichtmörtel die Funktionsgleichung

$$B_{\text{KSM}}^{\text{DBM}}(m) = 1,52 \sqrt{m} + 0,010 m \text{ [Ns]}; \quad m \text{ [kg]}.$$



Literatur

- [1] DIN 1053-4 „Mauerwerk; Teil 4: Fertigbauteile“
(Entwurf), Beuth Verlag, Berlin 1999
- [2] BGR „Bauen mit Fertigbauteilen aus Mauerwerk“
Entwurf Oktober 1999, Fachausschuss Bau, Hauptverband
der gewerblichen Berufsgenossenschaft (HVBG), Sankt Augustin
- [3] GS-Bau „Grundsätze zur Prüfung und Beurteilung von
Fertigbauteilen aus Mauerwerk unter Stoßbeanspruchung“,
Entwurf November 1996, Fachausschuss Bau, Hauptverband
der gewerblichen Berufsgenossenschaft (HVBG), Sankt Augustin
- [4] NA Bau, AA DIN 1053-4: „Stoßbelastung von Mauertafeln“,
Untersuchungen im Werk EMW 2000, Hilpoltstein;
Güteschutz Ziegelmontagebau e. v. Essen 1994
- [5] Grünheier, K.: „Untersuchungen zu Stoßbelastungen von Mauertafeln
aus Kalksandstein“, Röthenbach, Forschungsvereinigung Kalk-Sand e. V., Hannover
1994
- [6] Jedamzik, H.-W.: „Stoßversuche zum Zulassungsantrag der
Firma Winklmann - Zusammenfassender Bericht -“, Roetz, Recklinghausen 1997
- [7] Jedamzik, H.-W.: „Untersuchungen zur Stoßbeanspruchung von
Mauertafeln aus Zulassungsziegeln“, Bonenburg,
Güteschutz Ziegelmontagebau e. V. Essen 1996
- [8] Schories, K.: „Anstoßversuche mit Impulsmessung bei Fertigwänden aus
Ziegelmauersteinen“, Draschwitz-Reuden, Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit (BIA), Versuchsbericht Nr. 2001 24295-01,
Sankt Augustin 2001
- [9] DIN 55303-5 „Statistische Auswertung von Daten;
Bestimmung des statistischen Anteilbereichs“ Beuth Verlag, Berlin 1987

Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit -BIA-
Im Auftrag

Dr.-Ing. Karl Schories

beanspruchung_Fertigteilmauerwerke.docx

M:\ifa\5\ref4\Bautechnik\Bericht_2000_20316_Stoß