

## IV-28. On Determining the Strength Classification of Brickwork

K. Kirtschig

University of Hanover, Federal Republic of Germany

### ABSTRACT

*According to the considerations being made concerning security in building, which can, for example, be seen in the fact that the weakest link in the chain is being sought more than ever, we in the field of brickwork have to deal with the question how can we find the weakest link. The result is a classification of brickwork into groups based on fractile values. And in the cases of other building materials, the 5 % fractile has been chosen here.*

*It seems quite obvious and logical to classify brickwork in this way, but it is not as easy as it seems. On the one hand, we have a large amount of material resulting from tests on brickwork, with information as to the strength of the bricks and mortar which were used, on the other hand however, the many different kinds of tests, both for mortar and for bricks, lead to very high standard deviations, and this leads to relatively small and unrealistic 5% fractiles. The main reasons for these difficulties are to be found in the statistical evaluation. As a result of the evaluation of 500 wall tests which included the classification of the relevant bricks and mortars it is apparent that 5 % fractiles can be found, which on the one hand do justice to security and are on the other hand big enough to allow economical building.*

*Aux nouvelles conditions de sécurité de bâtiment la partie plus faible prend en considération. La construction en maçonnerie a le même problème. La conclusion est la classification de la maçonnerie en classes de résistance, fondée sur valeurs — fractiles. On prend la 5% — fractile comme aux autres matériaux de construction.*

*La classification des classes de maçonnerie est pratique, mais la réalisation est difficile. Il y a beaucoup des résultats d'essai (résistance des parois) de quelles on connaît les résistances des briques et du mortier. Le grand nombre des briques et les manières d'essai différentes de la maçonnerie, du mortier et des briques font grandes fautes. La conclusion : petits et peu réalistes valeur — fractiles.*

*La cause des difficultés ne sont pas les raisons énumérés non seulement, mais encore l'évaluation statistique. Avec l'exploitation de 500 essais des parois — enfermé tout les briques et les résistances à la compression — est montrée qu'il y a 5 % — fractiles. Ces valeurs — fractiles correspondent aux conditions de sécurité et des ordres de grandeur quelles permettent des construction économiques.*

*Entsprechend den Überlegungen zu einem neuen Sicherheitskonzept im Bauwesen, das u. a. dadurch gekennzeichnet ist, daß bei den Sicherheitsüberlegungen mehr als bisher das schwächste Glied einer Kette zu berücksichtigen ist, muß sich auch der Mauerwerksbau mit der Frage befassen, wie das schwächste Glied in der Kette zu erfassen ist. Dies führt zu einer Einteilung des Mauerwerks in Festigkeitsklassen, denen Fraktilwerte zugrunde liegen. Wie bei anderen Baustoffen ist es naheliegend, auch hier die 5%-Fraktile zu wählen.*

*Der Gedanke der Klassifizierung nach Mauerwerksklassen ist einleuchtend praktisch, aber nicht ohne weiteres zu realisieren. Zwar liegen insgesamt zahlreiche Versuchsergebnisse in Form von Wandfestigkeiten vor, bei denen auch die zugehörigen Festigkeiten — oder auch andere Kennwerte — der verwendeten Steine und Mörtel bekannt sind, die Vielzahl der Steinarten, die z. T. unterschiedlich durchgeführten Prüfungen sowohl des Mauerwerks selbst als auch die der Mörtel und der Steine führen aber zu großen Standardabweichungen, die damit relativ kleine und unrealistische 5%-Fraktile bedingen. Die Ursache der Schwierigkeiten liegt aber nicht nur in den vorstehend genannten Gründen, sie ist auch in den statistischen Auswerteverfahren zu sehen. Anhand der Auswertung von rd. 500 vorliegenden Wandversuchen, die alle Steinarten und Festigkeiten der Steine und der Mörtel umfassen, wird gezeigt, daß man dennoch zu 5%-Fraktile kommen kann, die einerseits den Sicherheitsvorstellungen ausreichend Rechnung tragen und andererseits aber auch in Größenordnungen liegen, die wirtschaftliches Bauen zulassen.*

*Seguendo quelle idee espote per una determinazione di un nuovo programma tutelante i criteri della sicurezza nell'ambito del campo edile, il quale fra l'altro si evidenzia proprio perchè, nel quadro delle ponderazioni riguardanti detta tutela, va considerato più di quanto lo si abbia fatto finora come l'anello più debole di una catena, gli operatori del settore opere murarie dovranno preoccuparsi di classificare tale debolezza. Ciò porta inevitabilmente, per ciò che riguarda le sollecitazioni, ad una suddivisione in classi a cui vengono assegnati indici livello. Come pure avviene nel caso di altri materiali impiegati nell'edilizia anche qui si tende a scegliere un indice di livello del 5%.*

*L'idea della classificazione secondo categorie d'opere murarie è chiaramente pratica ma non del tutto di facile realizzazione. A dir il vero si dispone di un numeroso complesso di risultati ottenuti da prove fatte per la determinazione di sollecitazioni esercitate su pareti murali, di cui si conoscono le rispettive resistenze — oppure altri indici — per ciò che riguarda il genere di pietre e malte impiegate, la molteplicità dei tipi di pietre, gli esami in*

*parte più svariati eseguiti sia sulla muratura che su malte e pietre portano a discordanze standard troppo grandi che condizionano un livello del 5% relativamente esiguo ed irreal.*

*La causa vera e propria delle difficoltà non è da ricercarsi nelle ragioni sopra menzionate, essa è da dedurre pure dalle procedure statistiche valutative. Sulla scorta delle valutazioni fatte nell'ambito di approssimativamente 500 prove eseguite su pareti, in cui troviamo tutti i tipi di pietre, prodotti vari in pietra e malte, si dimostra che non è poi assolutamente impossibile toccare quel livello del 5% che da un canto soddisfa quanto ci si possa immaginare in materia di tutela e sicurezza, d'altro canto si muove in un ordine di grandezza tale da permettere la realizzazione d'opere economiche.*

## EINLEITUNG

Den Angaben über die Tragfähigkeit von Mauerwerk bei vertikaler Belastung liegen in den verschiedenen Ländern überwiegend Versuchsergebnisse, die an geschoßhohen Mauerwerksprüfkörpern ermittelt wurden, zugrunde. Im allgemeinen wird eine Zuordnung zwischen Stein-, Mörteldruckfestigkeit und Mauerwerksfestigkeit angegeben. Die ziffernmäßige Zuordnung erfolgt dabei jeweils über die mittleren Druckfestigkeiten. Die Charakterisierung der Mauerwerksfestigkeit über Mittelwerte hat den Nachteil, daß Sicherheitstheoretische Überlegungen nur sehr begrenzt möglich sind. Andere Bauarten — z.B. der Stahlbetonbau — haben daher in den letzten Jahren die Klassifizierung ihrer Baustoffe auf der Basis von 5 %-Fraktilen vorgenommen. Dieser Weg ist nun auch in einem Vorschriftenentwurf für "Ingenieurmauerwerk" in der Bundesrepublik Deutschland vorgesehen. Im vorliegenden Beitrag sollen hierzu einige Ausführungen gebracht werden.

Zum Verständnis müssen vorweg einige Erläuterungen, u.a. zur Klassifizierung der Mauersteine und der Mörtel in der Bundesrepublik Deutschland, gegeben werden.

Die Mauersteine werden in die Steinfestigkeitsklassen 2, 4, 6, 12, 20, 28, 36, 48 und 60 eingeteilt. Die Ziffern bedeuten die mindestens zu erreichende Druckfestigkeit jedes Einzelsteines in  $\text{N/mm}^2$ . Der Mindestwert der mittleren Druckfestigkeit muß um 25 % über der zu erreichenden Mindestdruckfestigkeit der Einzelsteine liegen. D. h. die Klassifizierung der Steine erfolgt überlegungsmäßig her ebenfalls über Fraktilen.

Als Mörtelgruppen sind in dem Entwurf die Mörtelgruppen IIa, III und IIIa vorgesehen. Sie sind charakterisiert durch die von ihnen zu erreichenden mittleren Mindestdruckfestigkeiten. Diese betragen bei Mörtelgruppe IIa  $5,0 \text{ N/mm}^2$ , bei Mörtelgruppe III  $10,0 \text{ N/mm}^2$  und bei Mörtelgruppe IIIa  $20,0 \text{ N/mm}^2$ . Als maßgebende Mauerwerksfestigkeit wird die an RILEM-Prüfkörpern ermittelte Druckfestigkeit angesehen. RILEM-Prüfkörper sind im wesentlichen 5 Schichten hohe und 2 Steinlängen lange Mauerwerkskörper.

## Einteilung in Mauerwerksfestigkeitsklassen

### Übersicht

Es wird unterschieden zwischen Ingenieurmauerwerk I und Ingenieurmauerwerk II. Hinsichtlich der Mauerwerksfestigkeit werden beide Mauerwerksarten in die in Tabelle 1, Spalte 1, angegebenen Mauerwerksfestigkeitsklassen eingeteilt. Den Ziffern für die Bezeichnung der Mauerwerks-

klassen liegt die 5 %-Fraktile der Grundgesamtheit zugrunde.

Die beiden Mauerwerksarten unterscheiden sich nun hinsichtlich der für das Erreichen einer Mauerwerksfestigkeitsklasse zu führenden Nachweise.

Bei Ingenieurmauerwerk I erfolgt eine Zuordnung zwischen Steinfestigkeitsklasse, Mörtelgruppe und Mauerwerksfestigkeitsklasse entsprechend Tabelle 2. Soll z. B. Mauerwerk der Mauerwerksfestigkeitsklasse 2,5 hergestellt werden, so ist hierfür ein Mörtel der Mörtelgruppe IIa mit Steinen der Mindeststeinfestigkeitsklasse 4 zu verwenden. Dieses Vorgehen entspricht im Prinzip der z. Zt. üblichen Verfahrensweise, indem einer bestimmten Steinfestigkeitsklasse und bestimmten Mörtelgruppe eine bestimmte zulässige Spannung zugeordnet wird. Im nächsten Abschnitt wird die Richtigkeit der Zuordnung nach Tabelle 2 begründet werden. Bei Ingenieurmauerwerk II erfolgt die Einstufung in Mauerwerksfestigkeitsklassen über Mauerwerksversuche im Einzelfall. Bei diesen ist nachzuweisen, daß die mittlere Mauerwerksfestigkeit von 3 Proben die Mindestwerte der Spalte 3 in Tabelle 1 erreicht und daß keine der 3 Einzelwerte die in Tabelle 1, Spalte 2, angegebenen Festigkeiten unterschreitet. Wird also beispielsweise eine mittlere Mauerwerksfestigkeit von  $7,5 \text{ N/mm}^2$  erreicht und ist dabei der kleinste Einzelwert größer als 6,0, so ist dieses Mauerwerk in die Festigkeitsklasse 6 einzustufen. Mit welcher Berechtigung man in der angegebenen Weise verfahren darf, wird im letzten Abschnitt begründet werden.

### Begründung für das Vorgehen bei Ingenieurmauerwerk I

Die Begründung für die Richtigkeit des Vorgehens bei Ingenieurmauerwerk I muß sich vor allem auf die Frage beziehen, inwieweit der in Tabelle 2 sich widerspiegelnde Zusammenhang zwischen Steinfestigkeit, Mörtelfestigkeit und den 5 %-Fraktilen der Mauerwerksfestigkeit abgesichert ist. Hierzu seien die nachstehenden Ausführungen gemacht.

Zunächst wurden die Ergebnisse aller in der Bundesrepublik Deutschland in den etwa letzten zwanzig Jahren aus den verschiedensten Gründen durchgeführten Mauerwerksversuche gesammelt. Insgesamt sind dies rd. 900 Versuche. Sie waren durchgeführt mit den verschiedensten Steinarten (Mauerziegel, Kalksandsteine, Leichtbetonsteine, Gasbetonsteine), Steinquerschnitten (Vollsteine, Lochsteine, Hohlblocksteine) und Steinformaten. Die Druckfestigkeit der Steine umfaßte alle Festigkeitsklassen ebenso wie Mörtel aller Mörtelgruppen verwendet worden waren.



Zur Auswertung der Versuchsergebnisse wurden vorweg folgende Umrechnungen vorgenommen, um die Versuchsergebnisse vergleichbar zu machen:

- 1) Die Mauerwerkssprüfkörper hatten unterschiedliche Abmessungen, wobei sie sich vor allem auch durch ihre Schlankheiten unterschieden. Zur Berücksichtigung der Gestalt der Prüfkörper wurden die Mauerwerksfestigkeiten auf an RILEM-Prüfkörpern ermittelte Festigkeiten umgerechnet. Die Umrechnung erfolgte — soweit im Einzelfall nicht genauere Angaben vorlagen — in der Weise, daß die an geschoßhohen Wänden und mit Schlankheiten bis zu  $\frac{h}{d} \approx 10$  ( $h$  = Prüfkörperhöhe,  $d$  = Wanddicke) ermittelten Festigkeiten mit dem Faktor  $\frac{1}{0,9}$  multipliziert wurden. Versuchsergebnisse mit größeren Schlankheiten wurden i. allg. nicht berücksichtigt.
- 2) Die in Tabelle 2 angegebenen Zuordnungen gelten für die Mindestwerte der bei den einzelnen Steinfestigkeitsklassen zu erreichenden Druckfestigkeiten und ebenso für die Mindestwerte der bei den verschiedenen Mörtelgruppen einzuhaltenden Mörteldruckfestigkeiten. Da bei den vorliegenden Versuchsergebnissen naturgemäß die Mindestwerte nicht genau gegeben waren, erfolgte eine Umrechnung der Mauerwerksfestigkeiten mit Hilfe der Gleichung

$$\beta_{\text{korr.}} = \frac{\sqrt{\beta_s} \cdot \sqrt[3]{\beta_M}}{\sqrt{\beta_s} \cdot \sqrt[3]{\beta_M}}$$

( $\bar{\beta}_s$  = mittlere Mindestdruckfestigkeit der Steine,  $\beta_s$  = beim Versuch vorhandene mittlere Steinfestigkeit,  $\bar{\beta}_M$  = mittlere Mindestdruckfestigkeit des Mörtels,  $\beta_M$  = beim Versuch vorhandene mittlere Mörtelfestigkeit) Die Auswertung der nach 1) und 2) vergleichbar gemachten Versuchsergebnisse erfolgte nach statistischen Verfahren. Die 5 %-Fraktile der Mauerwerksfestigkeit  $\beta_{5\%}$  kann bei einer bestimmten Steinfestigkeitsklasse und einer bestimmten Mörtelgruppe, zu denen aufgrund der Versuchsergebnisse eine mittlere Mauerwerksfestigkeit  $\bar{\beta}$  gehört, aus der Gleichung

$$\beta_{5\%} = \bar{\beta} - k \cdot s \quad (1)$$

berechnet werden, wenn  $s$  die Standardabweichung der Mauerwerksfestigkeit ist und  $k$  ein von der Anzahl der Versuche, der geforderten statistischen Sicherheit und der gewählten 5 %-Fraktile abhängiger Faktor bedeutet. Gleichung 1 gilt unter der Annahme, daß Normalverteilung vorliegt. Nun ist bekannt, daß nach Gleichung (1) berechnete 5 %-Fraktile z. T. negativ werden, was mechanisch unsinnig ist. Richtiger ist es daher, Verteilungen zugrunde zu legen, die stets positive Werte für die 5 %- oder jede beliebige andere Fraktile ergeben. Zu diesen Verteilungen gehört die logarithmische Normalverteilung. Nimmt man diese an, so erhält man — bei Wahl des natürlichen Lo-

garithmus — folgende Gleichung zur Berechnung der 5 %-Fraktile:

$$\beta_{5\%} = a + b e^{\bar{\beta} - k \cdot \bar{s}} \quad (2)$$

Setzt man  $a = 0$  und  $b = 1$ , Annahmen die hier nicht näher begründet werden sollen, so vereinfacht sich Gleichung (2) zu

$$\beta_{5\%} = e^{\bar{\beta} - k \cdot \bar{s}} \quad (3)$$

In der Gleichung bedeuten:  $\bar{\beta}$  = der Mittelwert der logarithmischen Mauerwerksfestigkeiten,  $\bar{s}$  = die Standardabweichung der logarithmischen Mauerwerksfestigkeiten und  $k$  = ein die statistische Sicherheit etc. wie in Gleichung (1) berücksichtigender Faktor.

Die Auswertung der Gleichung (3) zur Berechnung der 5 %-Fraktile hat den Nachteil, daß in ihr nur die Standardabweichung  $\bar{s}$  der Mauerwerksfestigkeit für eine bestimmte Steinfestigkeitsklasse und Mörtelgruppe eingeht. D. h. Informationen über die Größe der Mauerwerksfestigkeit und deren Standardabweichung bei Verwendung benachbarter Steinfestigkeitsklassen und Mörtelgruppen, wie sie hier vorhanden sind, werden nicht berücksichtigt. Sie könnten dagegen in die Berechnungen einfließen, da zwischen Stein-, Mörtel- und Mauerwerksfestigkeit generell gewisse Beziehungen bestehen. Ein Weg hierzu wäre über Regressionsrechnungen, mit denen generell der Zusammenhang zwischen Stein-, Mörtel- und Mauerwerksfestigkeit erfaßt werden könnte. Aber auch dieser Weg stellt sich bei Detailbetrachtungen nicht als problemlos heraus. Eine weitere Möglichkeit, von der hier Gebrauch gemacht worden ist, ist, daß man anstelle der Standardabweichung  $\bar{s}$  der Stichprobe versucht, die Standardabweichung der Grundgesamtheit zugrunde zu legen. Dies setzt allerdings voraus, daß diese bekannt ist. Zu ihrer Ermittlung wurden die zu jeder Stein-/Mörtel-Kombination errechneten Werte  $\bar{s}$  in Abhängigkeit von den zugehörigen Mittelwerten  $\bar{\beta}$  aufgetragen. Dabei wurde festgestellt, daß ein statistisch nachweisbarer Zusammenhang zwischen beiden Größen nicht besteht. Im Mittel betrug bei allen herangezogenen Versuchen die Standardabweichung 0,16. Sie wurde für die weiteren Berechnungen als Standardabweichung  $\bar{\sigma}$  der Grundgesamtheit verwendet. Bei Berechnung der 5 %-Fraktile mit Hilfe von  $\bar{\sigma}$  geht Gleichung (3) über in

$$\beta_{5\%} = e^{\bar{\beta} - k \cdot \bar{\sigma}} \quad (4)$$

mit  $k = 1,645 + \frac{1,645}{\sqrt{n}}$  bei einer statistischen Sicherheit von 95% ( $n$  = Anzahl der Versuche).

Die Berechnungen nach Gleichung (4) wurden durchgeführt. Ihre Ergebnisse sind in Spalte 8 der Tabelle 3 zusammengestellt. Zu der Tabelle seien folgende Erläuterungen gegeben:

a) Zu den Spalten 1 und 8:

Die in Klammern in Spalte 1 angegebenen Ziffern sind Mauerwerksfestigkeitsklassen, wie sie

aufgrund der Ergebnisse nach Spalte 8 als 5 %-Fraktilen der Grundgesamtheit in dem Entwurf für "Ingenieurmauerwerk" als vertretbar angesehen wurden (vgl. auch Tabelle 2).

b) *Zu Spalte 2:*

In den angegebenen Normen sind folgende Mauersteinarten behandelt: DIN 105, Mauerziegel; DIN 106, Kalksandsteine; DIN 4165, Gasbetonsteine; DIN 18151, Hohlblocksteine aus Leichtbeton; DIN 18152, Vollsteine aus Leichtbeton; DIN 18153, Hohlblocksteine aus Beton.

c) *Zu den Spalten 4 und 6:*

Es sind die mittleren Mauerwerksfestigkeiten und die zugehörigen Standardabweichungen eingetragen.

d) *Zu den Spalten 5 und 7:*

Es sind die den Spalten 4 und 6 entsprechenden Werte bei Berechnung mit logarithmischer Normalverteilung angegeben.

Vergleicht man die Klammerwerte der Spalte 1 mit den Werten der Spalte 8, so sieht man, daß — abgesehen von einigen Fällen, die im einzelnen zu besprechen wären — die festgelegten Mauerwerksfestigkeitsklassen als 5 %-Fraktilen der Grundgesamtheit angesehen und damit für die Berechnung von Ingenieurmauerwerk I eine auch für weitere sicherheitstheoretische Überlegungen brauchbare Grundlage darstellen können.

Es muß an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die aus Tabelle 2 zu entnehmenden Abhängigkeiten zwischen Stein-, Mörtel- und Mauerwerksfestigkeit nur gelten, wenn die Steine, die Mörtel und das Mauerwerk unter den Bedingungen, wie sie hier vorgelegen haben, geprüft werden. Oder mit anderen Worten: Bestrebungen, auf internationaler Basis eine Mauerwerksvorschrift zu erarbeiten, können nur dann Sinn haben, wenn zunächst die Grundlagen, wie z. B. die Prüfung und Klassifizierung

von Mauersteinen, auf eine einheitliche Grundlage gestellt werden. Hierzu sei auch auf die Ausführungen in dem Beitrag "Einführung von Formfaktoren bei der Druckfestigkeitsprüfung von Kalksandsteinen" verwiesen.

*Begründung für das Vorgehen bei Ingenieurmauerwerk II*

Bei Ingenieurmauerwerk II wird in der Weise vorgegangen, daß mit einer festgelegten Steinsorte aus einem bestimmten Werk Mauerwerk hergestellt wird. Dabei ist vorher nachzuweisen, welche Mauerwerksfestigkeitsklassen mit den Steinen und dem vorgesehenen Mörtel zu erreichen sind. Es werden hierzu mindestens 3 Mauerwerkskörper hergestellt und geprüft. Bezeichnet man dabei die mittlere erreichte Mauerwerksfestigkeit mit  $\bar{\beta}$  und mit  $s$  die aus den 3 Proben ermittelte Standardabweichung, so gilt für die 5 %-Fraktilen wieder

$$\beta_{5\%} = \bar{\beta} - k \cdot s \quad (5)$$

(vgl. Gleichung (1)). Aus rd. 200 Versuchsergebnissen der für Ingenieurmauerwerk II erforderlichen Art wurde ermittelt, daß die mittlere Standardabweichung etwa 7 % der Wandfestigkeit beträgt. Betrachtet man diese Standardabweichung als die Standardabweichung der Grundgesamtheit, so wird in Gleichung (5) bei 3 Proben und einer statistischen Sicherheit von 95 % der Faktor  $k = 2,595 (= 1,645 + \frac{1,645}{\sqrt{3}})$  und man erhält gerundet aus Gleichung (5)

$$\bar{\beta} = \frac{1}{0,85} \beta_{5\%}$$

Die aus dieser Beziehung errechneten Werte  $\bar{\beta}$  mit den in Spalte 2 der Tabelle 1 angegebenen Nennfestigkeiten (= Mauerwerksfestigkeitsklassen) sind die in Spalte 3 der gleichen Tabelle als Mindestanforderungen angegebenen Mittelwerte der Mauerwerksfestigkeit.

**TABELLE 1—Mauerwerksfestigkeitsklassen und Anforderungen bei Ingenieurmauerwerk II**

Mauerwerksfestigkeitsklasse	Nennfestigkeit $\beta_M$	Mindestwert der mittleren Mauerwerksfestigkeit $\beta_{MS}$
—	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	2	3
1,5	1,5	1,8
2,5	2,5	2,9
3,5	3,5	4,1
5	5,0	5,9
6	6,0	7,0
7	7,0	8,2
9	9,0	10,6
11	11,0	12,9
13	13,0	15,3
16	16,0	18,8
20	20,0	23,5
25	25,0	29,4

**TABELLE 2—Zuordnung zwischen Steinfestigkeitsklasse, Mörtelgruppe und Mauerwerksfestigkeitsklasse bei Ingenieurmauerwerk I**

Mauerwerksfestigkeitsklasse	Mindest-Steinfestigkeitsklasse bei Verwendung von Mörtel der Mörtelgruppe		
	IIa	III	IIIa
1	2	3	4
1,5	2		
2,5	4		
3,5	6		
5	12		
6	20	12	
7	28	20	
9		28	20
11		36	28
13		48	36
16		60	48
20			60

**TABELLE 3—Zusammenstellung der bei den einzelnen Steinfestigkeitsklassen berechneten Mittelwerte, Standardabweichungen und 5 %-Fraktilen bei**

1) Verwendung von Mörtelgruppe IIa

Stein- (Mauerwerks-)festigkeitsklasse	Steinart nach DIN	Anzahl der Proben	Mittelwerte		Standardabweichung		5 %-Fraktile
			logar.		logar.		
—	—	—	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
2 (1,5)	4165	12	2,10	0,74	0,10	0,05	1,5
	18151	11	1,82	0,58	0,33	0,19	1,3
	18152	9	1,99	0,68	0,31	0,15	1,4
4 (2,5)	4165	22	3,55	1,26	0,57	0,16	2,6
	18151	11	3,69	1,29	0,56	0,16	2,6
	18152	10	3,27	1,17	0,66	0,21	2,3
6 (3,5)	4165	6	4,29	1,46	0,32	0,08	4,0
	18151	7	5,78	1,74	0,99	0,17	4,0
	18152	4	4,88	1,58	0,67	0,15	3,3
12 (5,0)	18153	6	8,14	2,08	1,76	0,22	5,5
	105	19	7,11	1,94	1,37	0,20	5,1
	106	22	8,96	2,17	1,77	0,20	6,4
	106	16	6,01	1,79	0,64	0,11	4,3
20 (6,0)	105	22	6,81	1,91	0,97	0,15	4,9
	106	34	11,68	2,44	2,05	0,18	8,5
	106	15	8,54	2,14	1,12	0,13	6,1
28 (7)	105	14	8,23	2,09	1,79	0,21	5,8
	106	47	12,96	2,54	2,86	0,22	9,4
	106	3	12,97	2,56	0,71	0,06	8,6



## 2) Verwendung von Mörtelgruppe III

Stein- (Mauerwerks-) festigkeitsklasse	Steinart nach DIN	Anzahl der Pro- ben	Mittelwerte		Standardabweichung		5 %-Fraktile
			logar.		logar.		
—	—	—	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
	18153	6	10,66	2,36	1,49	0,14	7,3
12	105	15	8,28	2,09	1,90	0,23	5,8
(6)	106	4	7,47	2,01	0,43	0,06	5,0
	105	9	8,93	2,18	1,00	0,11	6,3
20	106	8	10,63	2,36	1,23	0,11	7,5
(7)	106	15	12,39	2,51	1,80	0,15	8,8
	105	15	11,36	2,40	2,74	0,24	7,9
28	106	49	14,66	2,68	2,01	0,14	10,8
(9)							
	105	6	14,65	2,67	2,49	0,17	10,0
36	105	3	11,03	2,40	0,58	0,05	7,3
(11)	106	10	18,42	2,91	2,22	0,13	12,9
48	106	3	25,50	3,24	0,87	0,04	16,8
(13)							
	105	3	20,16	3,00	0,80	0,04	13,3
60	106	6	28,48	3,35	2,41	0,08	19,6
(16)							

## 3) Verwendung von Mörtelgruppe IIIa

Stein- (Mauerwerks-)festigkeitsklasse	Steinart nach DIN	Anzahl der Proben	Mittelwerte		Standardabweichung		5 %-Fraktile
			logar.		logar.		
—	—	—	N/mm²		N/mm²		N/mm²
1	2	3	4	5	6	7	8
20 (9)	106	4	16,33	2,79	0,16	0,01	11,0
28 (11)	106	8	15,60	2,74	1,29	0,08	10,9
36 (13)	105	12	19,20	2,94	3,71	0,18	13,5
	105	6	13,13	2,58	0,34	0,03	9,1
	106	5	20,86	3,04	1,79	0,08	14,2
48 (16)	105	3	22,25	3,10	3,34	0,15	14,6
	106	6	25,00	3,22	2,02	0,08	17,2
60 (20)	105	6	27,76	3,32	1,63	0,06	19,1
	106	6	35,24	3,55	5,61	0,16	24,1