

A Baustoffe ■ Bauprodukte

- I Eigenschaftswerte von Mauerwerk,
Mauersteinen, Mauermörtel und Putzen 3
Peter Schubert, Aachen

- II Mauerwerksbau mit allgemeiner
bauaufsichtlicher Zulassung 29
Roland Hirsch, Berlin

I Eigenschaftswerte von Mauerwerk, Mauersteinen, Mauer Mörtel und Putzen

Peter Schubert, Aachen

1 Vorbemerkung

In zahlreichen Fällen werden Eigenschaftswerte von Mauerwerk, Mauersteinen und Mauer Mörtel benötigt, die aus Normen oder Richtlinien direkt oder indirekt nicht zu entnehmen sind. Beispiele dafür sind: die rechnerische Beurteilung der Riss-sicherheit von Mauerwerk, die Analyse von Schadensfällen, Sonderfälle für Tragfähigkeitsnachweise, Forschung und Entwicklung.

Im Folgenden werden wesentliche Eigenschaftskennwerte von Mauersteinen, Mauer Mörtel und Mauerwerk, die sich vorrangig auf Festigkeits- und Verformungseigenschaften beziehen, jeweils kurz hinsichtlich Bedeutung und Prüfverfahren beschrieben und – soweit möglich und sinnvoll – Zahlenwerte tabellarisch und grafisch angegeben.

Zum ersten Mal enthält dieser Beitrag auch Eigenschaftswerte von Außenputzen. Diese sind vor allem für die Verträglichkeit von Putz und Putzgrund zur Vermeidung schädlicher Risse von Bedeutung.

Nicht Gegenstand dieses Beitrages sind wärme- und schallschutztechnische Eigenschaftswerte sowie Eigenschaftswerte, die regelmäßig im Rahmen von Normen, Zulassungen, Prüfzeichen-Prüfungen und Ähnlichem nachzuweisen sind, wie z. B. Druckfestigkeit und Rohdichte.

Dieses Kapitel des Mauerwerk-Kalenders ist als ständiger Beitrag, der jährlich aktualisiert wird, vorgesehen. Hinweise auf hier nicht erfasste Untersuchungsergebnisse werden ausdrücklich erbeten.

Beim Quellennachweis für die Eigenschaftswerte wird jeweils *nur auf die wesentlichen Quellen*, vor allem auf diejenigen mit umfangreicheren Ergebnisdarstellungen, Bezug genommen. Ein detaillierter Quellennachweis kann angefordert werden.

2 Eigenschaftswerte von Mauersteinen

2.1 Festigkeitseigenschaften

2.1.1 Biegezug-, Spaltzug-, Zugfestigkeit β_{BZ} , β_{SZ} , β_Z [1, 39, 54]

Bei der üblichen Druckbeanspruchung von Mauerwerkbauteilen senkrecht zu den Lagerfugen ist die Zugfestigkeit der Steine in Richtung Steinlänge bzw. -breite von wesentlichem Einfluss auf die Druckfestigkeit des Mauerwerks. Auch die Zug-, Biegezug- und Schubtragfähigkeit von Mauerwerk können von der Steinzug- bzw. der Steinbiegezugfestigkeit erheblich beeinflusst werden.

Ersatzweise für β_Z wird bislang die Druckfestigkeit der Steine ermittelt und für die Beurteilung der Mauerwerkdruckfestigkeit herangezogen.

Die Prüfung der Zugfestigkeit ist relativ aufwendig. Eine Prüfnorm oder -richtlinie existiert zurzeit nicht (siehe aber [41]). Einfacher, aber z. T. (vor allem bei Lochsteinen) weniger aussage-sicher, ist die Prüfung der Spaltzugfestigkeit [1]. Meist werden die Mauersteine in Richtung Steinlänge geprüft. Wesentliche Eigenschaftsunterschiede zwischen Steinlänge und -breite ergeben sich vor allem bei Lochsteinen mit richtungsorientierten Lochungen. Zugfestigkeitswerte in Richtung Steinbreite liegen nur für HLZ vor (8 Werte, Wertebereich $\beta_{Z,b}/\beta_D = 0,003 \dots 0,026$, Mittelwert: 0,009).

Sinnvollerweise werden die β_{SZ} - bzw. β_Z -Werte auf die jeweilige Steindruckfestigkeit (nach Norm ermittelt) bezogen als Verhältniswerte β_{SZ}/β_D bzw. β_Z/β_D angegeben.

Vorliegende Verhältniswerte β_{SZ}/β_D sind zusammen mit den β_Z/β_D -Werten in Tabelle 1 angegeben.

Für den Zusammenhang zwischen β_Z (in Stein-längsrichtung) und β_D (mit Formfaktor) ließen sich folgende Regressionsgleichungen ermitteln:

- (1) Kalksandsteine
 Vollsteine (2DF), NF: $\beta_Z = 0,06 \cdot \beta_D$
 Vollsteine mit
 Griffloch (2DF): $\beta_Z = 0,05 \cdot \beta_D$
 Lochsteine (2DF): $\beta_Z = 0,04 \cdot \beta_D$
 Für Prismen mit jeweils Schlankheit $\lambda = 3$ bis
 4 ergab sich $\beta_Z = 0,09 \cdot \beta_D$ (40 Versuchswerte)
- (2) Mauerziegel $\beta_Z = 0,026 \cdot \beta_D$
- (3) Leichtbetonsteine
 V2, Vbl 2 $\beta_Z = 0,105 \cdot \beta_D$
 V, Vbl, Hbl ≥ 4 $\beta_Z = 0,062 \cdot \beta_D$
 Hbl 2 $\beta_Z = 0,086 \cdot \beta_D$
- (4) Porenbetonsteine
 Festigkeitsklasse 2: $\beta_Z = 0,18 \cdot \beta_D$
 Festigkeitsklassen 4, 6, 8: $\beta_Z = 0,09 \cdot \beta_D$
 Für alle Festigkeits-
 klassen [65]: $\beta_Z = 0,10 \cdot \beta_D$
 Der Verhältniswert β_Z/β_D – ermittelt jeweils
 an Zylindern – beträgt im Mittel 0,17, der
 5%-Quantilwert ist 0,12.

Folgende weitere Eigenschaftszusammenhänge
 wurden ermittelt:

- (1) Kalksandsteine (Prismen)
 $\beta_{BZ} = 0,16 \cdot \beta_D$ (Best.: 79%)
 $\beta_Z = 0,55 \cdot \beta_{SZ}$ (Best.: 90%)
 $\beta_Z = 0,40 \cdot \beta_{BZ}$ (Best.: 91%)
- (2) Porenbetonsteine
 $\beta_{BZ} = 0,18 \cdot \beta_D$ (Anhaltswert)
 $\beta_{SZ} = 0,27 \cdot \beta_D^{0,50}$
 $\beta_Z = 0,87 \cdot \beta_{SZ}$ (Best.: 89%)

2.1.2 Druckfestigkeit in Richtung Steinlänge $\beta_{D,l}$ bzw. Steinbreite $\beta_{D,b}$

Bei einigen Beanspruchungen von Mauerwerk-
 bauteilen bzw. Bauteilbereichen, wie Teilflächen-
 belastung senkrecht zur Wandebene, Scheiben-
 schub oder Biegung (Biegedruckzone), werden
 die Mauersteine in Richtung Steinbreite bzw. -länge
 auf Druck beansprucht. Bei Steinen mit hohem
 Lochanteil können $\beta_{D,l}$ bzw. $\beta_{D,b}$ im Extremfall
 maßgebend für die Tragfähigkeit werden.

Tabelle 1. Mauersteine; Spaltzugfestigkeit $\beta_{SZ,l}$ und Zugfestigkeit $\beta_{Z,l}$ in Richtung Steinlänge bezogen auf die
 Normdruckfestigkeit β_D (ohne Formfaktor)

Mauerstein	$\beta_{SZ,l} / \beta_D$			$\beta_{Z,l} / \beta_D$		
	<i>n</i>	\bar{x}	Wertebereich	<i>n</i>	\bar{x}	Wertebereich
KS	40	0,07	0,04...0,10	15	0,065	0,039...0,081
KS (GL)				24	0,045	0,027...0,065
KS L	31	0,06	0,03...0,08	19	0,035	0,026...0,055
Mz	9	0,07	0,05...0,08	9	0,04	0,01...0,08
HLz	29	0,04	0,02...0,09	20	0,03	0,013...0,041
LHLz	–	–	–	54	0,01	0,002...0,019
Hbl	10	0,09	0,07...0,15	8	0,08	0,05...0,13
Hbl 2	10	0,09	0,07...0,15	5	0,09	0,07...0,13
Hbl ≥ 4	10	0,09	0,07...0,15	3	0,07	0,06...0,10
V, Vbl	13	0,11	0,09...0,18	23	0,08	0,04...0,21
V 2, Vbl 2	13	0,11	0,09...0,18	16	0,11	0,06...0,18
V, Vbl ≥ 4	13	0,11	0,09...0,18	7	0,07	0,05...0,09
PB, PP	4	0,09	0,05...0,14	24	0,11	0,06...0,19
PB, PP 2	9	0,15	0,12...0,16	7	0,18	0,13...0,20
PB, PP 4,6,8	9	0,12	0,08...0,15	8	0,11	0,09...0,13
Hbn	3	0,04	0,04...0,05	2	0,08	0,06...0,09

n: Anzahl Versuchswerte; \bar{x} : Mittelwert; GL: Griffloch

Tabelle 2. Mauersteine; Druckfestigkeit in Richtung Steinlänge $\beta_{D,l}$, Steinbreite $\beta_{D,b}$ bezogen auf die Normdruckfestigkeit (mit Formfaktor) β_D , Auswertung vorliegender deutscher Versuchsergebnisse [2, 33, 37] $\alpha_1 = \beta_{D,l}/\beta_D$ (oberer Tabellenteil), $\alpha_2 = \beta_{D,b}/\beta_D$ (unterer Tabellenteil)

Mauerstein	n	β_D Wertebereich N/mm ²	a		
			\bar{x}	min x	max x
			–		
Mz	2	21,9/22,7	0,67	0,64	0,70
HLz ¹⁾	5	20...47	0,23	0,12	0,33
HLz ²⁾	37	7,4...26,	0,18	0,05	0,39
KS	8	24,1...36,8	0,59	0,32	0,75
KS L	7	8,9...26,9	0,40	0,32	0,56
V	5	4,1...23,1	0,75	0,61	0,83
Vbl	5	2,7... 3,6	0,90	0,36	1,13
Hbl	12	2,5... 7,9	0,61	0,35	0,81
Hbn	1	15,8	0,46	–	–
PB, PP	15	2,3... 9,4	0,70	0,50	0,92
Mz	2	21,9/22,7	0,74	0,73	0,75
HLz	6	17,4...82,0	0,44	0,20	0,65
KS	2	24,1...31,4	0,69	0,56	0,83
KS L	2	8,9...26,9	0,67	0,55	0,79
PB, PP	2	3,5... 8,1	0,79	0,56	1,01

n: Anzahl der Versuchsserien; \bar{x} : Mittelwert; min x, max x: Kleinst-, GrößtWert¹⁾ Trockenrohddichte $\rho_d > 1,0 \text{ kg/dm}^3$ ²⁾ $\rho_d \leq 1,0 \text{ kg/dm}^3$

Wie bei der Steinzugfestigkeit ist es auch hier sinnvoll, $\beta_{D,l}$ und $\beta_{D,b}$ bezogen auf die nach Norm ermittelte Druckfestigkeit β_D als Verhältnswerte $\beta_{D,l}/\beta_D$ bzw. $\beta_{D,b}/\beta_D$ anzugeben. Die Tabelle 2 enthält im Wesentlichen die in [2, 33, 37] erfassten und ausgewerteten Verhältnswerte. Sie sind in den Bildern 1 a bis 1 d dargestellt. Bei der Normdruckfestigkeit wurde der Formfaktor berücksichtigt.

Für Porenbetonsteine ergab sich der Zusammenhang (s. auch Bild 1 c) $\beta_{D,l}/\beta_D = 0,91 - 0,04 \cdot \beta_D$ (Best.: 70%), d. h. der Verhältnswert nimmt mit zunehmender Steindruckfestigkeit ab. Er beträgt im Mittel 0,8; 0,7; 0,6 für die Steinfestigkeitsklassen 2, 4, 6.

2.2 Verformungseigenschaften

2.2.1 Druck-E-Modul E_D

Der E-Modul ist als Sekantenmodul bei $1/3$ der Höchstspannung (Druckspannung senkrecht zu

den Lagerfugen) und einmaliger Belastung definiert

$$E_D = \frac{\max \sigma_D}{3 \cdot \varepsilon_1}$$

mit

 ε_1 Längsdehnung bei $1/3 \max \sigma_D$

Es liegen nur wenige Versuchswerte vor.

Für Kalksandsteine ergibt sich aus 12 Einzelwerten für Prismen:

$$E_{D,1} = 230 \cdot \beta_D$$

2.2.2 Querdehnungsmodul E_q

Der Querdehnungsmodul ist der Sekantenmodul bei einer Druckspannung (senkrecht zur Lagerfuge – Steinlagerfläche) von rd. $1/3$ der Höchstspannung (Druckfestigkeit), wobei die Spannung auf die zugehörige, in Richtung Steinlänge oder -breite gemessene Querdehnung $\varepsilon_{q,l}$ bzw. $\varepsilon_{q,b}$ bezogen wird:

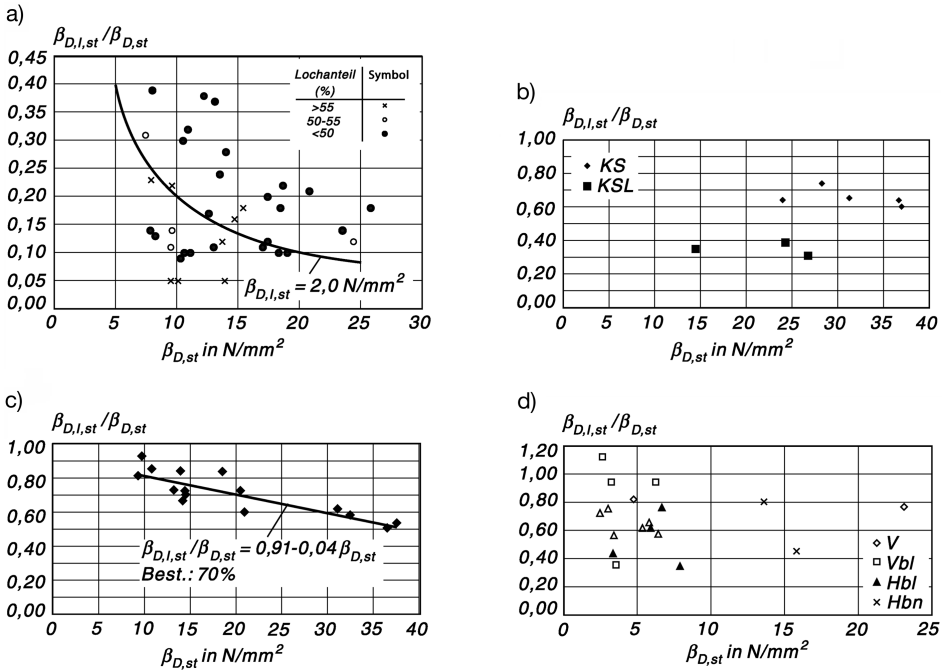


Bild 1. Mauersteine; Verhältniswert Längsdruckfestigkeit/Normdruckfestigkeit $\beta_{D,I,st}/\beta_{D,st}$ in Abhängigkeit von der Normdruckfestigkeit. a) Leichtlochziegel, b) Kalksandvollsteine, Kalksandlochsteine, c) Porenbeton-Blocksteine, Porenbeton-Plansteine, d) Leichtbetonsteine, Betonsteine

$$E_{q,l} = \frac{\max \sigma_D}{3 \cdot \epsilon_{q,l}} \text{ bzw. } E_{q,b} = \frac{\max \sigma_D}{3 \cdot \epsilon_{q,b}}$$

Der Querdehnungsmodul beeinflusst zusammen mit dem Querverformungsverhalten (Querdehnungsmodul) des Mörtels die Druckfestigkeit des Mauerwerks. Günstig ist es, wenn der Quer-

Tabelle 3. Mauersteine; Querdehnungsmodul $E_{q,l}$ in 10^3 N/mm^2 , Querdehnungszahl μ , Anhaltswerte [3, 4, 34, 35]

Mauerstein	Festigkeitsklasse	$E_{q,l}$		μ
		n	Wertebereich	
Hbl, Vbl	2... 6	8	3,6...20	0,08...0,11
PB, PP	2... 6	7	5,6...25	
KS, KS L, KSHbl	8...28	12	12 ...100	
HLZ	6	4	2,7...40	0,11...0,20
	8	8	12 ...59	
	12	4	31 ...55	
	48	—	133	

n: Anzahl Versuchswerte

dehnungsmodul des Steines gleichgroß oder etwas kleiner als der des Mörtels ist.

Die Ermittlung von E_q ist schwierig und erfolgt bisher an in der Lagerfläche miteinander verklebten Mauersteinen. Die vorliegenden Werte für $E_{q,l}$ sowie die Querdehnungszahl μ enthält Tabelle 3. Zwischen E_q und $\beta_{D,st}$ (mit Formfaktor) ergaben sich folgende Zusammenhänge:

- Mauerziegel:
 $E_q = 2810 \cdot \beta_{D,st}^{0,93}$ (Best.: 89%)
- Leichtbetonsteine:
 $E_q = 2790 \cdot \beta_{D,st}$ (Best.: 88%)

2.2.3 Zug-E-Modul E_Z

Der Zusammenhang zwischen E_Z und β_Z wurde für Kalksandsteine (Prismen) zu $E_Z = 5800 \cdot \beta_Z^{0,73}$ (Best.: 95%) ermittelt.

Für Leichtbetonsteine (V, Vbl, Hbl) – Prüfung in Steinlängsrichtung – und Steinprismen (35 Einzelwerte) ergab sich

$$E_Z = 6000 \cdot \beta_Z \quad (\text{Best.: } 77\%)$$

Für Porenbetonsteine (21 Mittelwerte) ergab sich $E_Z = 2900 \cdot \beta_Z^{0,80}$ (Best.: 81%)

2.2.4 Dehnung bei Höchstspannung

$\epsilon_{u,D}$; $\epsilon_{u,Z}$

Für Porenbetonsteine wurden folgende Werte in mm/m ermittelt:

- $\epsilon_{u,D}$
Mittelwert: 2,87, Wertebereich: 2,3...3,74
- $\epsilon_{u,Z}$
Mittelwert: 0,35, Wertebereich: 0,28...0,44

2.2.5 Feuchtedehnung (Schwinden, Quellen), Kriechen, Wärmedehnung

Schwindendwerte und Wärmedehnungskoeffizienten sind in [36, 46] angegeben (siehe auch Abschnitt 5.2.4 und Tabellen 11a bis 11d).

Bei Mauerwerk aus großformatigen Mauersteinen, Elementen entsprechen diese Eigenschaftswerte der Mauersteine in guter Näherung denen des Mauerwerks.

Für Porenbetonsteine wurden folgende Werte ermittelt (Mittelwerte, Anhaltswerte):

Endkriechzahl $\varphi_{\infty} = 0,6$

Endschwindwert $\epsilon_{s,\infty} = 0,2$ mm/m

Max. Quelldehnung $\max \epsilon_q = 0,2$ mm/m

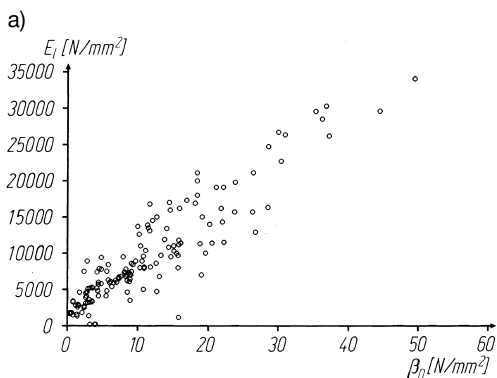
3 Eigenschaftswerte von Mauermörteln

3.1 Festigkeitseigenschaften

3.1.1 Zugfestigkeit β_Z

Für Normalmörtel ergab sich mit 33 Versuchswerten (Mittelwerte) der folgende Zusammenhang zur Druckfestigkeit β_D

$$\beta_Z = 0,11 \cdot \beta_D \quad (\text{Best.: } 91\%)$$



3.1.2 Scherfestigkeit β_S

Die Scherfestigkeit von Mauermörtel ist definiert als maximale Spannung bei einschittiger Scherbeanspruchung. Ein genormtes Prüfverfahren existiert nicht. Üblicherweise wird die Scherfestigkeit an nach DIN 18 555 bzw. DIN EN 1015 hergestellten Mörtelprismen 160 mm \times 40 mm \times 40 mm geprüft. Dabei wird das Prisma senkrecht zur Prismenlängsachse auf Scheren beansprucht.

Die Scherfestigkeit von Mauermörtel ist z. B. von Interesse bei der rechnerischen Berücksichtigung von mit Mauermörtel verfüllten Mauersteinkanälen (Verfüllziegel-Mauerwerk) und beim rechnerischen Nachweis von Verankerungen mit Haken, z. B. bei zweischaligem Mauerwerk.

Mit den für diese Auswertung vorliegenden 11 Versuchswerten für Werk-Trockenmörtel, Werk-Frischmörtel und Rezeptmörtel ergeben sich folgende Zusammenhänge zwischen Scherfestigkeit β_S und der Normdruckfestigkeit β_D (Bereich für β_D : 4 bis 18 N/mm²)

$$\beta_S = 0,55 \cdot \beta_D^{0,68} \quad (\text{Best.: } 89\%)$$

$$\beta_S = 0,25 \cdot \beta_D \quad (\text{Best.: } 76\%)$$

3.2 Verformungseigenschaften

3.2.1 E-Modul (Längsdehnungsmodul) E_1

Der E-Modul E_1 ist wie in Abschnitt 2.2.1 definiert. Er wird i. d. R. nach DIN 18 555-4 [6] zusammen mit dem Querdehnungsmodul ermittelt. Nach den vorliegenden Versuchsergebnissen lassen sich folgende Beziehungen zwischen E_1 und der Normdruckfestigkeit β_D angeben [7] (s. auch Bild 2).

a) Normalmörtel

$$E_1 = 2100 \cdot \beta_D^{0,7}$$

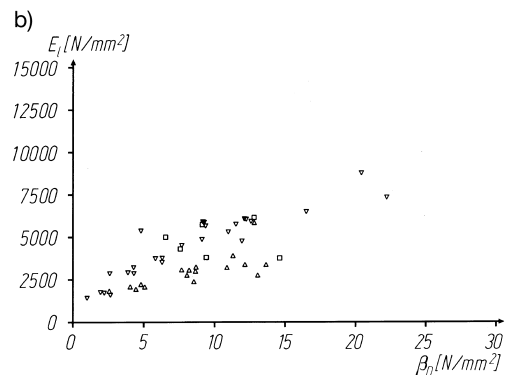


Bild 2. Mauermörtel; Längsdehnungsmodul E_1 in Abhängigkeit von der Normdruckfestigkeit β_D .

a) Normalmörtel, b) Leichtmörtel; Zuschlag Naturbims \square , Zuschlag Blähton \triangle , Zuschlag Perlite \diamond