

Zur Frage der Homogenität von Mauersteinen

(To the question of the homogeneity of bricks)

von
D. Kasten

Universität Hannover, Bundesrepublik Deutschland

Zusammenfassung: Bei Untersuchungen an rd. 3000 Würfeln unterschiedlicher Kantenlängen wurde bei allen Steinarten herstellungsbedingt ein mehr oder weniger ausgeprägtes unterschiedliches Tragverhalten bei verschiedener Belastungsrichtung festgestellt. Diese Inhomogenität muß bei der Prüfung der Steine berücksichtigt werden. Weiterhin zeigten sich bereits bei gleicher Belastungsrichtung im Steininnern Rohdichte- und Festigkeitsunterschiede.

Summary: As a result of tests on about 3000 cubes of various sizes, it was discovered that every sort of brick showed a difference in its bearing behaviour, more or less conspicuous according to the sort of brick concerned, when being compressed in different planes; this being due to the method of production. This inhomogeneity must be taken into consideration when testing the bricks. Even in the case of a constant plane of compression, varying densities and compressive strengths were discovered in the cube itself.

1. Einleitung

Die heute allgemein vertretene Bruchtheorie für mittig beanspruchtes Mauerwerk beruht auf der Annahme, daß die vertikalen Druckspannungen aufgrund des unterschiedlichen Verformungsverhaltens der Einzelkomponenten Stein und Mörtel durch horizontale Zwängungsspannungen überlagert werden. Hierbei erzeugt in der Regel die größere Verformbarkeit des Mörtels Querkzugspannungen im Stein, die schließlich zu einem Versagen des Mauerwerks führen. Die Einstufung der Mauersteine in die Steinfestigkeitsklassen - und damit die Festlegung der zulässigen Mauerwerksspannungen - erfolgt z. Z. noch ausschließlich nach ihrer Druckfestigkeit. Diese wird nach den entsprechenden Steinnormen im Druckversuch ermittelt, wobei bei der in der Bundesrepublik üblichen Art der Druckfestigkeitsprüfung zwischen starren Druckplatten die Querverformung des Steines behindert wird. Der Festigkeit des Steines in der senkrecht zur Druckrichtung liegenden Ebene kommt wegen der Querdehnungsbehinderung in der Prüfmaschine nicht die Bedeutung zu wie bei der tatsächlichen Beanspruchung im Mauerwerk. Will man dieser Tatsache mehr als bisher Rechnung tragen, bietet sich beispielsweise die Spaltzugfestigkeitsprüfung als zusätzliche oder Ersatzprüfung zur Druckfestigkeitsprüfung an. Bevor man diesen Weg einschlagen kann, muß allerdings vorher geklärt werden, ob es sich beim Baustoff Mauerstein um einen homogenen Baustoff handelt, d. h. ob er beispielsweise bei Beanspruchung in Steinlängs- und Querrichtung gleiches Tragverhalten zeigt.

Aber auch bei der bisher üblichen Druckfestigkeitsprüfung kann der Homogenität der Mauersteine eine gewisse Bedeutung zukommen, und zwar immer dann, wenn Mauersteine in Steinhöhe und -breite gleiche oder annähernd gleiche Abmessungen haben. Wenn in diesen Fällen kein gleiches Tragverhalten in den unterschiedlichen Belastungsrichtungen vorhanden wäre, müßte das bei der Druckfestigkeitsprüfung durch "Prüfung in der schwächsten Richtung" berücksichtigt werden.

Zur Klärung dieser Fragen wurden entsprechende Untersuchungen an unterschiedlichen Steinarten durchgeführt. Hierbei wurden wegen des Einflusses der Prüfkörpergestalt auf die Festigkeiten [1] ausschließlich Würfel verwendet.

2. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

2.1 Auswahl der Mauersteine

Es wurden folgende Steinarten in die Untersuchungen einbezogen:

Mauerziegel, Kalksandsteine, Gasbetonsteine und Vollsteine aus Leichtbeton.

Um bei den Versuchen den Einfluß der Querschnittsgestaltung (Lochanordnung, Lochanteil usw.) auf die Größe der Festigkeiten auszuschließen, wurden im wesentlichen nur "echte" Vollsteine (ohne Löcher und Grifföffnungen) ausgewählt.

2.2 Ermittlung von Rohdichte- und Festigkeitsunterschieden innerhalb der Mauersteine

Es wurde wie folgt vorgegangen:

1. Die Steinhöhen der untersuchten Mauersteine wurden zunächst in mehrere Schnittebenen aufgeteilt. Aus jeder dieser Schnittebenen -aus Außen-, Mittel- und Eckbereichen- wurden Würfel mit einer Kantenlänge von 2 cm herausgesägt.
2. Nach einer Unterwasserlagerung der 2^{er}-Würfel von 24 Stunden wurden durch Unterwasserwägung die Volumina bestimmt. Anschließend wurden die Prüfkörper 4 Tage bei einer Temperatur von 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und aus ihrem Gewicht und dem Volumen die Trockenrohdsichten bestimmt.
3. Nunmehr wurden die 2^{er}-Würfel auf Druck- und Spaltzugfestigkeit geprüft. Für die Druckprüfung wurden die Druckflächen ebengeschliffen. Die Last bei der Spaltzugprüfung wurde über Lastentragsstreifen aus gehärtetem Stahl eingebracht. Lastentragsstreifen aus den üblichen Materialien (Hartfaser und Filz) schieden wegen ihrer geringen Breite von 1/10 der Prüfkörperbreite ($20/10 = 2$ mm) aus.

Die Ergebnisse der Rohdichte- und Festigkeitsprüfungen an den Mauerziegeln sind in der Tabelle 1 eingetragen. Wie zu entnehmen ist, wurden alle Steine in jeweils 2 Schnittebenen unterteilt, wobei bei den Vollsteinen noch unterschieden wurde zwischen "innen" und "außen", d. h. zwischen Würfeln, die im inneren Bereich der Steine und solchen, die an den Außenflächen der Steine entnommen wurden. Bei den eingetragenen Werten handelt es sich um Mittelwerte aus jeweils 15 - 40 Einzelwerten.

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Kalksandsteinen und Gasbetonsteinen sind in den Bildern 1 - 3 eingetragen. Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aus jeweils 10 - 40 Einzelwerten.

2.3 Untersuchungen zum Tragverhalten bei unterschiedlicher Belastungsrichtung

Die Mauersteine wurden mit einer Steinkreissäge in Würfel mit Kantenlängen von rd. 5 cm (Mauerziegel, Kalksandsteine), 4, 10 und 24 cm (Gasbetonsteine) bzw. 10 cm (Vollsteine aus Leichtbeton) zerschnitten. Nach mehrtägiger Trocknung bei einer Temperatur von 105°C wurden die Prüfkörper auf Druck- und Spaltzugfestigkeit geprüft. Wie in 2.2 wurden die Druckflächen für die Druckprüfung ebengeschliffen. Die Spaltzugkräfte wurden über Hartfaserstreifen von 1/10 der Prüfkörperbreite eingetragen.

Tabelle 1: Ergebnisse der Rohdichte- und Druckfestigkeitsprüfungen an Mauerziegeln, ermittelt an 2er-Würfeln in 2 Schnittebenen

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Schnitt-ebene Nr.	Bereich	Trocken-rohdichte	Druckfestigkeit
-	-	-	-	kg/dm ²	N/mm ²
1	2	3	4	5	6
1	Mz 36/NF (240x115x71 mm ³)	1	innen	2,131	60,6
			außen	2,141	63,6
			Mittelw.	2,136	62,0
		2	innen	2,128	58,6
			außen	2,140	64,3
			Mittelw.	2,134	61,6
2	Mz 28/DF (240x115x52 mm ³)	1	innen	2,088	37,0
			außen	2,098	43,6
			Mittelw.	2,093	40,1
		2	innen	2,078	40,9
			außen	2,082	41,1
			Mittelw.	2,080	41,0
3.1	Hlz 28/NF (240x115x71 mm ³)	1		2,163	
		2		2,155	
3.2		1		2,162	
		2		2,163	
3.3		1		2,145	
		2		2,147	

Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind den Tabellen 2 und 3 zu entnehmen. Hierzu sind folgende Bemerkungen zu machen.

1. Die eingetragenen Werte sind Mittelwerte aus 15 - 120 Einzelwerten.
2. Bei der Druckfestigkeitsprüfung beziehen sich die Angaben Steinhöhe, -breite und -länge auf die Lage des Steins im vermauerten Zustand.
3. Bei der Spaltzugfestigkeitsprüfung wurden beispielsweise die Werte in der Spalte 3 in der Weise ermittelt, daß der Prüfkörper durch Überschreitung der aufnehmbaren Zugspannung in Richtung der Steinhöhe zerstört wurde.
4. Die Klammerwerte sind die auf die Festigkeiten der Spalte 3 (Steinhöhe) bezogenen Werte.

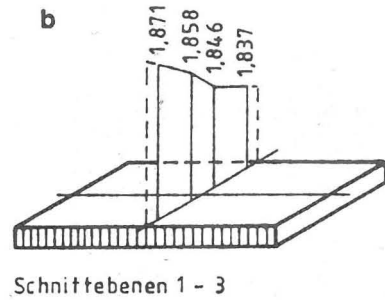
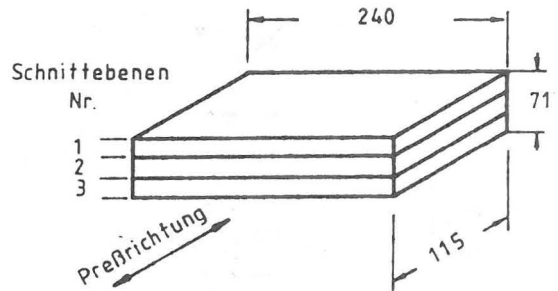
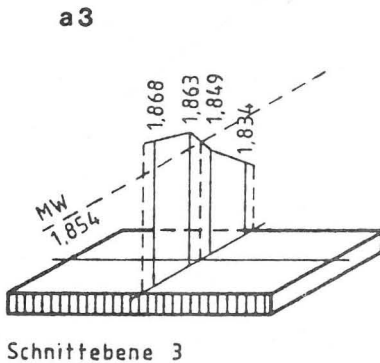
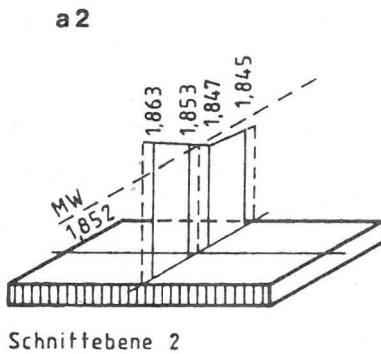
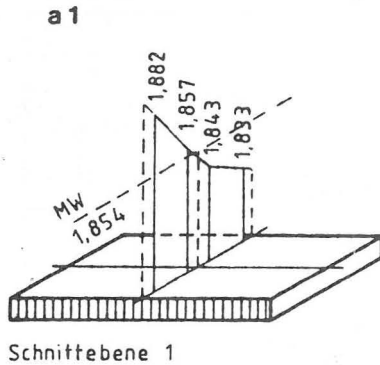


Bild 1 : Rohdichtegefälle in einem Kalksand-Vollstein KSV 20/NF, ermittelt an 2er-Würfeln in verschiedenen Schnittebenen

- a) getrennt nach Schnittebenen
- b) alle Schnittebenen gemittelt.

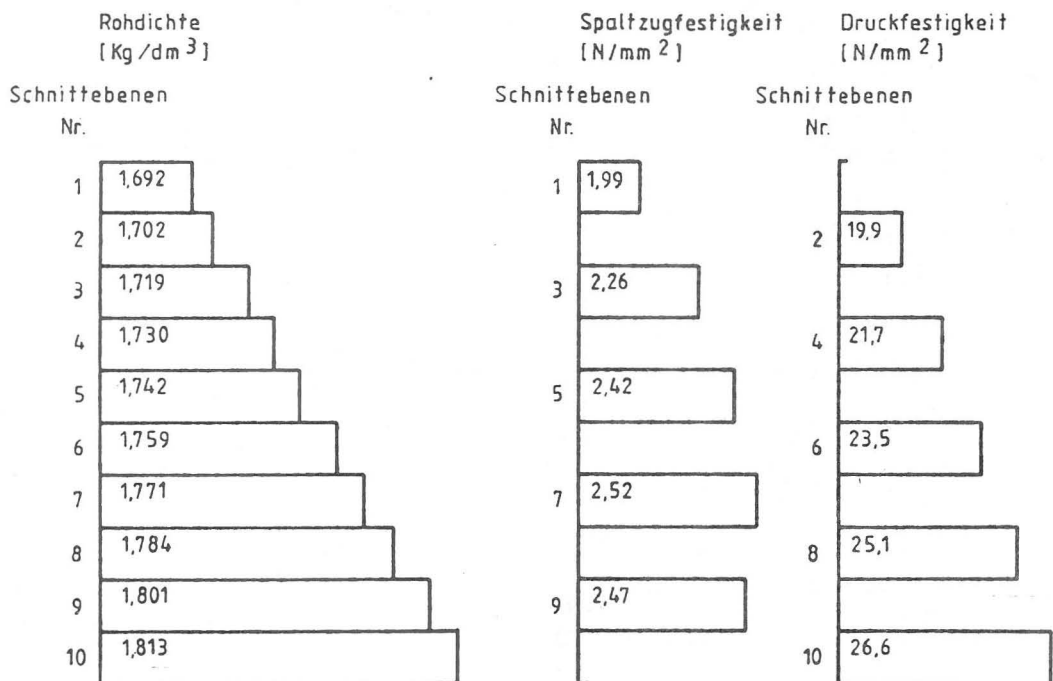
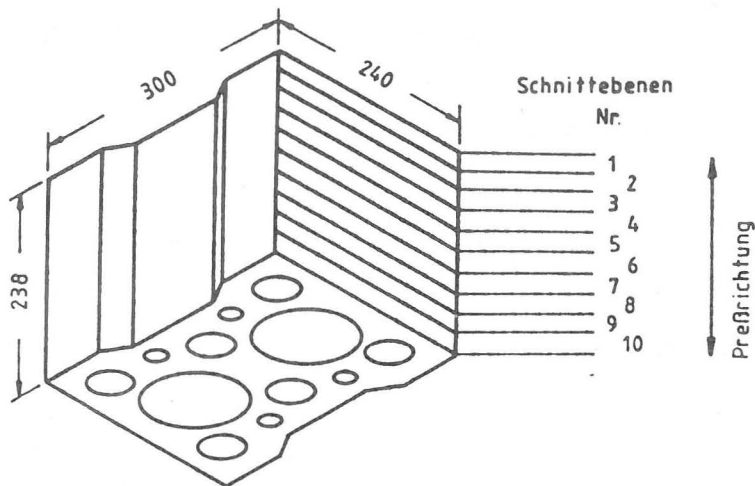


Bild 2 : Rohdichte- und Festigkeitsverteilung in einem groß-formatigen Kalksand-Hohlblockstein KSHbl 6/10 DF, ermittelt an 2er-Würfeln in verschiedenen Schnittebenen.

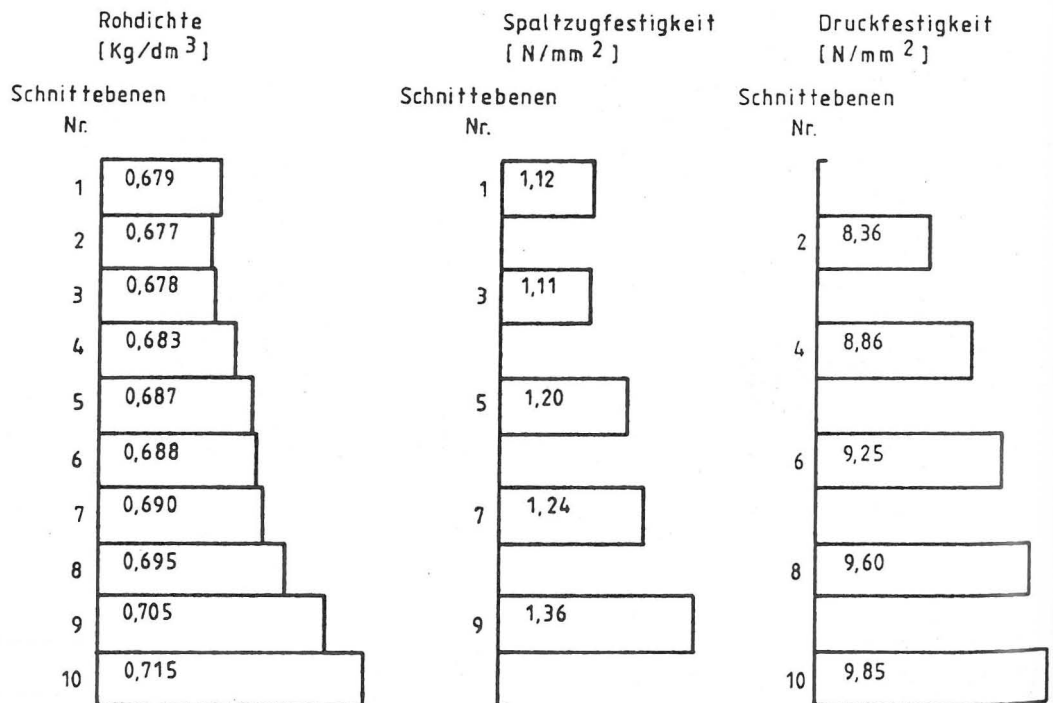
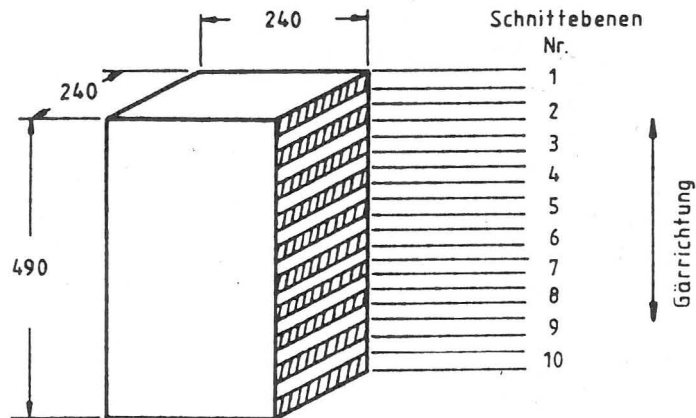


Bild 3 : Rohdichte- und Festigkeitsverteilung in einem Gasbeton-Blockstein G 6/490 x 240 x 240.

Tabelle 2: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen an Würfeln mit einer Kantenlänge von 5 cm (abweichende Abmessungen sind besonders gekennzeichnet)

Lfd. Nr.	Steinbezeichnung	Würfeldruckfestigkeit bei Prüfung in Richtung der		
		Steinhöhe	Steinbreite	Steinlänge
-	-	N/mm ² (-)		
1	2	3	4	5
1	Mz 28/DF	41,1 (1,0)	15,0 (0,36)	24,6 (0,60)
2	Mz 28/NF	39,1 (1,0)	28,2 (0,72)	32,9 (0,84)
3	Mz 36/DF	63,5 (1,0)	19,4 (0,31)	38,0 (0,60)
4	Mz 36/NF	55,7 (1,0)	25,5 (0,46)	38,4 (0,69)
5	KSV 20/NF	20,9 (1,0)	22,4 (1,07)	18,7 (0,89)
6	KSV 28/2 DF	29,9 (1,0)	27,2 (0,91)	28,5 (0,95)
7	KSV 28/NF	36,9 (1,0)	39,5 (1,07)	33,7 (0,91)
8	KSV 60/2 DF	62,8 (1,0)	60,1 (0,96)	53,1 (0,85)
9	G 2 1)	3,47 (1,0)	-	2,82 (0,81)
10	G 4 1)	5,30 (1,0)	-	3,84 (0,72)
11	G 6 1)	8,94 (1,0)	-	6,25 (0,70)
12	G 6 2)	7,12 (1,0)	7,55 (1,06)	4,97 (0,70)
13	G 6 3)	6,92 (1,0)	-	4,73 (0,68)
14	V 6	7,85 (1,0)	5,57 (0,71)	7,50 (0,96)

1) 10^{er}-Würfel

2) 4^{er}-Würfel

3) 24^{er}-Würfel

Tabelle 3: Ergebnisse der Spaltzugfestigkeitsprüfungen an Würfeln mit einer Kantenlänge von 5 cm (abweichende Abmessungen sind besonders gekennzeichnet)

Lfd. Nr.	Stein- bezeichnung	Spaltzugfestigkeiten bei Zugbean- spruchung in Richtung der		
		Steinhöhe	Steinbreite	Steinlänge
-	-	N/mm ²		
1	2	3	4	5
1	Mz 28/DF	2,78 (1,0)	1,82 (0,65)	1,41 (0,51)
2	Mz 36/DF	2,89 (1,0)	2,20 (0,76)	1,71 (0,59)
3	Mz 36/NF	3,06 (1,0)	2,28 (0,75)	2,06 (0,67)
4	KSV 20/NF	2,57 (1,0)	2,61 (1,02)	2,69 (1,05)
5	KSV 28/2 DF	2,91 (1,0)	2,82 (0,97)	2,78 (0,96)
6	KSV 60/2 DF	4,12 (1,0)	4,85 (1,18)	4,24 (1,03)
7	G 6 1)	0,93 (1,0)	0,86 (0,92)	0,89 (0,96)
8	V 6 1)	0,70 (1,0)	0,77 (1,10)	0,64 (0,91)

1) 10^{er}-Würfel

3. Diskussion der Auswerteergebnisse

3.1 Rohdichte- und Festigkeitsunterschiede innerhalb der Mauersteine

1. Bei allen Steinarten sind herstellungsbedingt Rohdichte- und Festigkeitsunterschiede innerhalb der Steine vorhanden. Dem Einfluß dieser Inhomogenität auf die Größe der Mauerwerksfestigkeit müßte noch in einer gesonderten Untersuchung nachgegangen werden.
2. Bei den in der Strangpresse hergestellten Mauerziegeln wurden in Herstellungsrichtung über die Steinhöhe annähernd gleich große Rohdichte- und Festigkeitswerte festgestellt, während an den Außenkanten um bis zu 20 % größere Werte als im Steininnern ermittelt wurden.
3. Während bei Kalksandsteinen der Formate 2 DF (240x115x113 mm³) in Preßrichtung nur im Bereich der Druckplatten - eventuelle Verwölbung - Inhomogenitäten festgestellt wurden, ergaben sich bei Steinen der Formate NF in Richtung der Steinbreite (Preßrichtung) systematische Rohdichte- und Druckfestigkeitsgefälle. Untersuchungen an großformatigen Kalksandsteinen mit Höhen von rd. 240 mm zeigten, daß in Preßrichtung über die Steinhöhe eine Rohdichtezunahme bis zu 10 % und ein Zuwachs der mittleren Festigkeiten von rd. 25 % (Spaltzugfestigkeit) bzw. 35 % (Druckfestigkeit) besteht. Die größten Werte wurden hierbei wie beim NF-Format in der unmittelbar an der Druckplatte der Presse gelegenen Schnittebene ermittelt. Diese Ergebnisse stimmen mit den von Gundlach in [27] beschriebenen Beobachtungen überein.
4. Bei Gasbetonsteinen wurde in Richtung der Schnittebenen (= Gärrichtung) vom oberen Rand aus nach unten eine Rohdichtezunahme von rd. 5 % und Festigkeitszunahmen von rd. 20 % festgestellt. Die größten Werte wurden in der Schicht ermittelt, die bei der Herstellung dem Boden der Stahlform am nächsten lag.
5. Bei den Vollsteinen aus Leichtbeton ergaben sich über die Steinlänge (Herstellungsrichtung) Druck- und Spaltzugfestigkeitsunterschiede bis zu rd. 25 %.

3.2 Tragverhalten bei unterschiedlicher Belastungsrichtung

3.2.1 Druckfestigkeit

1. Bei allen untersuchten Mauerziegeln ergaben sich die größten Druckfestigkeiten bei Prüfung in Richtung der Steinhöhe, d.h. in Herstellungsrichtung. In Richtung der Steinbreite wurden die geringsten Werte ermittelt. Sie betrugen in den Mittelwerten teilweise nur rd. 30 % der größten mittleren Druckfestigkeiten. Im auf Druck belasteten Mauerwerk werden Mauerziegel so vermauert, daß sie stets in Richtung der Steinhöhe - also der größten aufnehmbaren Druckbelastung - beansprucht werden.
2. Bei Kalksandsteinen ergaben sich wesentlich geringere Druckfestigkeitsunterschiede in den verschiedenen Richtungen. Bei den Steinen der Formate NF ergaben sich in Richtung der Steinbreite die größten Festigkeiten, während bei den Steinen der Formate 2 DF in Richtung der Steinhöhe die größten Werte ermittelt wurden. Das bedeutet, daß stets in Preßrichtung der Steine die Maximalwerte ermittelt wurden.

Kalksandsteine der Formate NF werden im Mauerwerk in Richtung der Steinhöhe - also nicht der Maximalbelastbarkeit - auf Druck beansprucht. Sie werden bei der Druckfestigkeitsprüfung zur Einstufung in die Steinfestigkeitsklassen in der gleichen Richtung belastet.

Bei Kalksandsteinen der Formate 2 DF ohne Löcher ist bei der Druckprüfung darauf zu achten, daß wegen der Vertauschungsmöglichkeit beim Vermauern in der "schwächsten" Richtung geprüft wird. Es muß allerdings angemerkt werden, daß derartige Vollsteine in der Praxis kaum mehr zum Einsatz kommen und erfahrene Baustoffprüfer die Richtungen auseinanderhalten können.

3. Bei Gasbetonsteinen ergaben sich bei Prüfung in Richtung der Steinhöhe und -breite annähernd die gleichen Festigkeiten, während in Gärriechung um bis zu rd. 35 % geringere Werte ermittelt wurden.
Im Mauerwerk werden Gasbetonsteine je nach ihrer Vermauerung in Richtung der Steinhöhe oder -breite auf Druck beansprucht. Die Prüfung der Steine in der Druckprüfmaschine erfolgt in den gleichen Richtungen.
4. Bei Vollsteinen aus Leichtbeton ergaben sich zwischen den Richtungen Steinhöhe und -breite - also den möglichen Beanspruchungsrichtungen im Mauerwerk - Druckfestigkeitsunterschiede von rd. 30 %. Das bedeutet, daß bei der Druckprüfung beide Richtungen - Unterscheidungsmöglichkeit durch Kennzeichnung der Steine vom Hersteller (Nuten) - untersucht werden müssen und der kleinere Wert maßgebend ist.

3.2.2 Spaltzugfestigkeit

1. Bei Mauerziegeln wurden grundsätzlich bei Zugbeanspruchung in Steinhöhe die größten Werte und bei solcher in Richtung der Steinlänge die geringsten Werte ermittelt. In den beiden Richtungen, in denen die Steine im vermauerten Zustand auf Zug beansprucht werden, betragen die Unterschiede bis zu rd. 25 %. Von der Größenordnung her zu den gleichen Ergebnissen kommen Schubert und Glitza in [3] bei Prüfung von Hochlochziegeln, wobei allerdings die Maximalwerte bei wechselnden Belastungsrichtungen festgestellt wurden. Das bedeutet, daß bei der Spaltzugprüfung die Steine sowohl in Längs- als auch in Querrichtung geprüft werden müssen, wobei der kleinere Wert maßgebend wäre.
2. Bei Kalksandsteinen betragen die Festigkeitsunterschiede bei Prüfung in Richtung der Steinlänge- und -breite bis zu rd. 15 %. Ein Vergleich mit den Werten in [3] zeigt auch hier eine gute Übereinstimmung. Für die Spaltzugprüfung von Kalksandsteinen gilt das gleiche wie für die Prüfung von Mauerziegeln.
3. Bei Gasbetonsteinen liegen die Unterschiede zwischen den im Mauerwerk auftretenden Belastungsrichtungen unter 5 %. Hier ist eine Spaltzugprüfung in einer der beiden Richtungen ausreichend.
4. Bei Vollsteinen aus Leichtbeton wurden in Richtung der Steinlänge rd. 20 % geringere Werte als in Richtung der Steinbreite ermittelt. Da hier nur Steine einer Festigkeitsklasse untersucht wurden, wäre ebenfalls die Spaltzugprüfung in Längs- und Querrichtung zu empfehlen.

L i t e r a t u r :

- [1] Kasten, D.: Zur Gestaltsabhängigkeit der Druck- und Spaltzugfestigkeit von Kalksandsteinen, Dissertation Universität Hannover, 1980
- [2] Gundlach, H.: Dampfgehärtete Baustoffe, Bauverlag Wiesbaden, 1973
- [3] Schubert, P. und Glitza, H.: Festigkeits- und Verformungskennwerte von Mauersteinen und Mauermörtel, Die Bautechnik, Heft 10, 1979