

## IV-15. Pressure Stability Tests of Sand Lime Bricks

K. Kirtschig

-University of Hannover, BR Germany

D. Kasten

-University of Hannover, BR Germany

R. Cordes

-Research Union .Sand Lime ., BR Germany

J.E. Quincke

Research Union .Sand Lime ., BR Germany

### ABSTRACT

*It is well known that the pressure stability of a building material has no absolute quantity but is dependent for example on the type of test (end surface friction) and the design of the testing body.*

*With the inclusion of the use of hollow bricks, a greater meaning is given to the question of design influence. The consideration of this influence in the pressure stability tests of bricks (e.g. through classification into a higher brick stability class) can lead to a better use of hollow brick materials in masonry.*

*The following concept was the basis for all tests:*

*All types of bricks compacted (shortened) or shortened by horizontal cuts according to DIN 106 and tested for pressure stability. The determined average stabilities were characterized by  $\beta_{st}$ . Cubes with measurements of  $2 \times 2 \times 2$  cm cut of all brick types were tested for pressure stability. The pressure stabilities for these cubes were characterized by  $\beta_w$ . Thus the same end (resulting) material was guaranteed in the test. From the pressure stabilities  $\beta_{st}$  and  $\beta_w$  the proportional value of  $\beta_{st}/\beta_w$  was given. Thereby an independent value was created for one of the various stone pressure stabilities and thus all the tests could be compared. A rough survey of the proportional values in connection with the stone measurements shows clearly that the bigger proportional values belong to the compact stones. The case format is the 2DF Stone (length/width/height 240/115/113 mm, form factor = 1,0). The new stone stability results in:*

$$\text{new stone stability} = \text{form factor} \times \frac{\text{determined stone stability in the usual pressure test}}{\text{pressure test}}$$

*In wall tests it is shown that the determined form factors are not affected by the above described process with the application standard DIN 1053, Part I- Masonry, Calculation and Design - taking the stability demands as a basis (with a previous Format of 2DF).*

*That the proven process is determined with whole and cut sand lime stone with the appertaining cubes of  $2 \times 2 \times w$  demonstrates that form factors are also possible for other types of building wall material.*

*La résistance de matériau n'est pas une dimension absolue. Elle est interdépendant de la méthode d'essai (force de frottement) et par exemple du physique de l'éprouvette.*

*Avec l'emploi des grandes briques la question d'influence de physique est de grandes importance. Les grandes briques silico-calcaires profitent de la considération de cette influence à l'essai de résistance à la compression (par exemple: classification à une classe de résistance plus haute).*

*L'exécution des tests:*

*Tout les briques étaient coupées avec la scie et la résistance était déterminée correspondant à la norm d'essai DIN 106. Les moyennes résistances sont  $\beta_{st}$ . Des tout les arts des briques étaient coupées avec la scie des cubes  $2 \times 2 \times 2$  cm<sup>3</sup>. De ces cubes étaient déterminées la résistance de même. Ces résistances des cubes sont  $\beta_w$ . Aux tout les tests le matériau est identique.*

*Les quotients  $\beta_{st}/\beta_w$  sont destinés. Avec cette méthode le quotient est indépendant des résistances différentes et tout les essais sont comparables.*

*Les quotients sont interdépendantes des physiques des briques; c'est à dire: les briques compactes ont les quotients plus grands. Le point de référence est la brique avec la dimension  $240 \times 115 \times 113$  mm<sup>3</sup>. La résistance des briques est:*

$$\text{Résistance nouvelle} = \text{facteurs de forme} \times \text{résultée d'essai.}$$

*Des essais de compression des parois ont montrées que les facteurs de forme ne font pas tort aux coefficients de sécurité correspondant DIN 1053 part. 1.*

Es ist bekannt, daß die Druckfestigkeit eines Baustoffes keine absolute Größe ist, sondern von der Art der Prüfung (Endflächenreibung) und z.B. von der Gestalt des Probekörpers abhängig ist.

Mit der Zunahme der Verwendung von großformatigen Steinen kommt der Frage des Gestalteinflusses eine größere Bedeutung zu. Die Berücksichtigung dieses Einflusses bei der Druckfestigkeitsprüfung von Steinen kann (z.B. durch Einordnung in eine höhere Steinfestigkeitsklasse) zu einer wesentlich besseren Ausnutzung des großformatigen Steinmaterials im Mauerwerk führen.

Den Versuchen lag folgendes Konzept zugrunde:

Alle Steinarten wurden ganz oder durch horizontale Schnitte verkürzt nach DIN 106 auf Druckfestigkeit geprüft. Die dabei ermittelten mittleren Festigkeiten seien mit  $\beta_{st}$  bezeichnet. Aus allen Steinarten wurden Würfel mit den Abmessungen  $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$  geschnitten und diese ebenfalls auf Druckfestigkeit geprüft. Diese Würfelfestigkeiten seien mit  $\beta_w$  bezeichnet. Gleiches Ausgangsmaterial bei den Prüfungen wurde somit gewährleistet. Aus den Druck-

festigkeiten  $\beta_{st}$  und  $\beta_w$  wurde der Verhältniswert  $\frac{\beta_{st}}{\beta_w}$  gebildet. Damit wurde ein von den verschiedenen Druckfes-

tigkeiten der Steinarten unabhängiger Wert geschaffen und wurden sämtliche Versuche vergleichbar.

Ein grober Überblick über die Verhältniswerte im Zusammenhang mit den Steinabmessungen zeigt deutlich, daß zu den gedungenen Steinen die größeren Verhältniswerte gehören. Des Bezugsformat ist der 2 DF-Stein (Länge/Breite/Höhe 240/115/113 mm, Formfaktor = 1,0). Die neue Steinfestigkeit ergibt sich zu:

neue Steinfestigkeit = Formfaktor  $\times$  ermittelte Steinfestigkeit im üblichen Druckversuch.

An Wandprüfungen wird nachgewiesen, daß die nach dem oben beschriebenen Verfahren ermittelten Formfaktoren die der Anwendungsnorm DIN 1053, Teil 1—Mauerwerk, Berechnung und Ausführung—zugrunde liegenden Sicherheitsanforderungen (bei einem bisherigen Format 2 DF) nicht beeinträchtigen.

Das an ganzen und geschnittenen Kalksandsteinen mit den zugehörigen Würfeln  $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$  nachgewiesene Verfahren gibt den Hinweis, daß auch für andere Wandbaustoffe Formfaktoren möglich sind.

E' noto che la resistenza alla compressione di materiali d'impiego nel settore edile non è rappresentata da un ordine di grandezza assoluta bensì è condizionata dal genere di prova (attrito di superficie di copertura), e, per esempio, dalla forma del provino.

Coll'aumento dell'impiego di prodotti in pietra di grande formato si viene automaticamente a dare una grande importanza al fattore forma. La considerazione che viene rivolta in sede di prova di resistenza alla compressione fatta su pietra, a questo fattore (ad es. assegnando alla pietra una classe di resistenza superiore) può condurre ad una notevole e migliore utilizzazione del materiale in pietra di grande formato d'impiego nell'ambito d'opere murarie.

Le prove sono state eseguite tenendo conto del seguente concetto:

tutti i tipi di pietre sono stati sottoposti a debita prova di resistenza alla compressione o in blocco o ritagliati in sezione orizzontale secondo norma DIN 106. Gli indici di resistenza qui determinati vengono indicati da  $\beta_{st}$ . Per tutti i tipi di pietre sono stati utilizzati cubetti nelle dimensioni  $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$  i quali sono pure stati sottoposti a prova di resistenza alla compressione. Gli indici dei cubetti vengono indicati da  $\beta_w$ . Durante le prove sono stati messi a disposizione sempre cunei del medesimo materiale. Sulla scorta degli indici di resistenza alla compressione  $\beta_{st}$  e  $\beta_w$  si è addivenuti ad un rapporto indice  $\frac{\beta_{st}}{\beta_w}$ . Si è così potuto costituire un valore non condizionato da differenti indici di resistenza alla compressione dei differenti tipi di pietre e si è proceduto a tutte le prove di raffronto. Un sommario sguardo ai rapporti indici in funzione delle dimensioni delle pietre indica chiaramente che i rapporti indici maggiori si riferiscono alle pietre tozze. Come formato di riferimento è il blocco 2 DF (coefficiente di forma = 1,0). La nuova resistenza della pietra risulta indi da:

nuova resistenza della pietra = coefficiente di forma

\*resistenza della pietra determinata in sede di convenzionale prove alla compressione.

Sulla scorta delle prove eseguite su pareti si può dimostrare che i coefficienti di forma determinati in funzione delle procedure sopra citate non vengono a pregiudicare i criteri (sempre mantenendo il formato 2 DF sinora valido) di sicurezza di cui alla norma DIN 1053, parte I.



## VORBEMERKUNG

Der Mauerwerksbau ist zweifellos durch die in den letzten Jahren abgehaltenen, jetzt insgesamt fünf Internationalen Mauerwerkskonferenzen gefördert worden. Der mit dem Mauerwerksbau befaßte Ingenieur wird durch diese Veranstaltungen mit dem jeweiligen neuesten Stand des Wissens auf dem Gebiet des Mauerwerksbaues vertraut gemacht. Leider ist jedoch auch festzustellen, daß ein großer Teil der Informationen häufig nur qualitativ aber nicht quantitativ verwertbar ist. Was gemeint ist, soll an einem Beispiel erläutert werden. Es mag ein Forscher sich in einem Beitrag mit dem Zusammenhang zwischen Stein-, Mörtel- und Mauerwerksdruckfestigkeit befaßt haben und auch einen funktionalen Zusammenhang zwischen den genannten Größen gefunden haben. Dieser Zusammenhang gilt naturgemäß nur für die Bedingungen, unter denen er ermittelt worden ist. Hat sich nun aber ein zweiter Forscher mit der gleichen Aufgabe befaßt und dabei etwa die Steindruckfestigkeit unter anderen Bedingungen ermittelt, so heißt dies, daß die Ergebnisse beider Forscher nicht mehr vergleichbar sind. Sie werden es erst wieder, wenn die Zusammenhänge zwischen den beiden Arten der Steindruckfestigkeitsprüfung geklärt werden. Das ist häufig aber nicht mehr möglich, und so bleiben beide Ergebnisse, obwohl sie beide zusammen zu einer abgesicherten Aussage führen könnten, nur begrenzt für sich anwendbar. Dabei ist hier der einfachste Fall unterstellt worden, daß nämlich nur die Steindruckfestigkeitsprüfung unterschiedlich war. Meistens sind gleichzeitig mehrere mögliche Einflußgrößen verschieden, so daß eine quantitative Vergleichbarkeit nahezu ausgeschlossen ist.

Das geschilderte Dilemma ist in allen Gebieten der Technik—und nicht nur hier—anzutreffen. National und in begrenztem Umfang auch international versucht man, es durch die Normung in den Griff zu bekommen. Leider werden dort zum Teil falsche Wege beschritten, indem man den zweiten Schritt vor den ersten tut. So erfolgt etwa eine Klassifikation in Mauerwerksfestigkeitsklassen in Abhängigkeit von der Stein- und der Mörteldruckfestigkeit, ohne aber anzugeben, wie die letztgenannten Größen zu bestimmen sind. Dieses Vorgehen ist höchst unbefriedigend und auf die Dauer nicht tragbar.

Die vorstehenden Ausführungen sind einerseits allgemein zu verstehen, sie stehen aber auch in einem engen Zusammenhang mit dem in diesem Beitrag abzuhandelnden Thema. Es befaßt sich mit der Druckfestigkeitsprüfung von Mauersteinen—speziell mit der von Kalksandsteinen. Es dürfte verdeutlichen, wie wichtig es ist, einheitliche Bedingungen für die Prüfung von Steindruckfestigkeiten festzulegen, um zu vergleichbaren Ergebnissen zu kommen und damit bei den Grundlagen des Mauerwerksbaues weiterzukommen.

## AUFGABENSTELLUNG

Es kann von folgendem, allgemein bekannten Erkenntnisstand ausgegangen werden:

- a) Die Größe der Druckfestigkeit von Mauersteinen ist abhängig von den Bedingungen, unter denen sie bestimmt wird.

- b) Die Ermittlung der Druckfestigkeit von Mauersteinen ist kein Selbstzweck. Sie ist in engem Zusammenhang mit der Mauerwerksdruckfestigkeit zu sehen. Die Druckfestigkeit der Steine ist in diesem Sinne nur eine Hilfsgröße zur Charakterisierung der Eigenschaft des Endproduktes Mauerwerk.

Aus a) und b) ergeben sich u.a. folgende Fragestellungen: Wie stark beeinflussen die Prüfbedingungen die Steindruckfestigkeit, und welche Prüfbedingungen müssen bei der Steindruckfestigkeitsprüfung gewählt werden, um den richtigen Bezug zur Mauerwerksdruckfestigkeit zu bekommen? Hinsichtlich der Prüfbedingungen bei der Steindruckfestigkeitsprüfung ist zu präzisieren, daß in der vorliegenden Untersuchung nur der Einfluß der Gestalt des Probekörpers behandelt werden soll. Alle anderen Einflußgrößen wie z.B. Prüfgeschwindigkeit, Feuchtigkeitsgehalt der Steine sollen konstant gehalten werden. Der Bezug zwischen der Gestalt des Prüfkörpers bei der Steinfestigkeitsprüfung und der eigentlich interessierenden Mauerwerksfestigkeit geht am einfachsten aus den in Bild 1 formulierten Fragen hervor. Wie dort angegeben, ergeben sich zwei Fragestellungen:

1. Welche Wand hat die größere Druckfestigkeit?
2. Falls die Druckfestigkeit gleich groß ist, was ist an der Steindruckfestigkeitsprüfung zu ändern, damit dies auch bei dieser "Hilfsgröße" zum Ausdruck kommt?

Beide Fragestellungen sollen nachstehend behandelt werden.

## DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE

### Zur Frage "Welche Wand hat die größere Druckfestigkeit?"

Zur Beantwortung der gestellten Frage wurde im wesentlichen wie im Bild 1 beschrieben vorgegangen. Das heißt, bei verschiedenen Kalksandsteinwerken wurde zunächst eine Reihe von verschiedenen Kalksandsteinarten beschafft. Sie unterschieden sich hinsichtlich ihrer Druckfestigkeit, ihrer Rohdichte, ihrer Größe sowie hinsichtlich ihrer Querschnittsausbildung (Vollsteine, Lochsteine, Hohlblocksteine). Insgesamt lagen sieben verschiedene Arten in<sup>1</sup> vor. Sie seien im folgenden mit Systemen bezeichnet. Aus jedem System wurden Mauerwerksprüfkörper hergestellt. Dabei wurden nicht nur Prüfkörper aus den Ausgangsgrößen der verschiedenen Systeme gemauert, sondern wurden auch Prüfkörper mit aus den verschiedenen Systemen herausgeschnittenen kleineren Formaten hergestellt, so daß für jedes System mehrere Prüfkörper entsprechend Punkt 4 im Bild 1 entstanden. Die Abmessungen der Mauerwerksprüfkörper wurden so gewählt, daß außer der Einflußgröße des Formates der Steine möglichst keine weiteren Parameter die Mauerwerksdruckfestigkeit beeinflussen. Die Prüfungen wurden an insgesamt 60 Prüfkörpern durchgeführt. Die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen, die hier aus Platzgründen im einzelnen nicht wiedergegeben werden können, zeigten, daß die Wandfestigkeiten innerhalb eines Systems weitgehend gleich groß waren. Statistische Aus-

wertungen ergaben, daß mit einer statistischen Sicherheit von 95% davon ausgegangen werden kann, daß die Mauerwerksfestigkeit unabhängig von der Größe der Steine ist, sofern die Steine sonst die gleichen Eigenschaften haben. Damit ist die erste unter Punkt 5 gestellte Frage beantwortet.

Hier ist allerdings noch auf die Größe der an den verschiedenen Steingrößen innerhalb eines Systems ermittelten Steindruckfestigkeiten einzugehen. Da, wie unter Punkt 3 im Bild 1 angedeutet, die Druckfestigkeit der verschiedenen Steingrößen jeweils am ganzen Stein ermittelt wurde, hat sich hier erwartungsgemäß gezeigt, daß die größeren Steine eine zum Teil erheblich geringere Festigkeit hatten als die kleinen Steine. Daß die Ursache hierfür auf den Einfluß der Endflächenreibung zwischen den Druckplatten der Prüfmaschine und den angrenzenden Steinflächen zurückzuführen ist, braucht hier nicht näher begründet zu werden.

Das Vorhandensein der "sonst gleichen Eigenschaften", wie sie als Bedingung dafür genannt wurden, daß die Mauerwerksfestigkeit unabhängig von der Steingröße ist, war bei den Untersuchungen in der Weise sichergestellt, daß die kleineren Formate aus den jeweils größeren Formaten herausgeschnitten wurden. Nach den Ausführungen über die Ergebnisse der Steindruckfestigkeitsprüfungen ist nun aber unter "sonst gleichen Eigenschaften" offensichtlich nicht die Steindruckfestigkeit zu verstehen, wenn sie wie hier an den jeweils ganzen Steinen bestimmt wird. Da die Mauerwerksfestigkeit aber die eigentliche Zielgröße ist, ergibt sich hieraus die auch schon im Bild 1 unter Punkt 5 formulierte Frage, was nämlich an der Steindruckfestigkeitsprüfung zu ändern ist, damit auch an dieser der Bezug zur Mauerwerksfestigkeit gegeben wird. Diese Frage soll im nächsten Abschnitt behandelt werden.

### Zur Änderung der Steindruckfestigkeitsprüfung

Mit der Frage des Gestalteinflusses auf die Größe der Druckfestigkeit haben sich alle Baustoffe auseinanderzusetzen. Bei der Druckfestigkeitsprüfung von Beton ist dies für die praktische Handhabung überwiegend in der Weise gelöst, daß die an einem Prüfkörper festgelegter Abmessungen ermittelte Druckfestigkeit als maßgebend angesehen wird. An anderen Probekörpern ermittelte Druckfestigkeiten werden mit Hilfe eines gestaltabhängigen Faktors so "korrigiert", daß nach der Korrektur eine Festigkeit angegeben wird als wäre die Prüfung am maßgeblichen Probekörper erfolgt. Vom Prinzip her kann dieser Weg auch bei der Druckfestigkeitsprüfung von Mauersteinen gegangen werden. Sieht man sich aber die Fülle der Literatur über die Größe der "Formfaktoren" bei dem in dieser Beziehung relativ problemlosen Beton an, so dürfte deutlich werden, daß bei Mauersteinen mit den verschiedensten Abmessungen, den unterschiedlichen Ausgangsstoffen und vor allem mit den kaum übersehbaren Möglichkeiten der Querschnittsgestaltung (Vollsteine, Lochsteine, Hohlblocksteine) das Problem ungleich größer ist als bei Beton. Deshalb muß die Frage experimentell aufgegriffen werden, da sie ja nicht nur von akademischer, sondern insbesondere von wirtschaftlicher Bedeutung ist.

Zur Ermittlung von Formfaktoren für Kalksandsteine wurde hierbei wie folgt vorgegangen<sup>2</sup>:

- 1) Aus verschiedenen Kalksandsteinwerken der Bundesrepublik Deutschland wurden insgesamt 24 verschiedene Steinformate aus laufenden Produktionen beschafft. Sie unterschieden sich wieder hinsichtlich ihrer Druckfestigkeit, ihrer Abmessungen, Lochbilder etc. Im Vergleich zu den vorstehend beschriebenen Untersuchungen war die Bandbreite der erfaßten Steinarten jedoch noch größer.
- 2) Um eine gemeinsame Auswertung aller Versuchsergebnisse vornehmen zu können, wurde als maßgebende Druckfestigkeit die an Würfeln mit einer Kantenlänge von 2 cm ermittelte Druckfestigkeit angesehen. Die relativ kleinen und damit ungünstigen Probekörperabmessungen mußten gewählt werden, um auch noch Vergleichskörper aus Steinen mit großen Lochanteilen zu bekommen.
- 3) Alle Steinarten wurden auf Druckfestigkeit geprüft. Die Prüfung erfolgte jeweils an den ganzen Steinen.
- 4) Die Steinfestigkeiten  $\beta_{st}$  wurden jeweils auf die an den 2 cm-Würfeln ermittelten Festigkeiten  $\beta_2$  bezogen. Das heißt, es wurde jeweils der Faktor

$$f_2 = \frac{\beta_{st}}{\beta_2} \quad (1)$$

gebildet. Unter der Voraussetzung, daß der Formfaktor unabhängig von der Größe der Steinfestigkeit ist, wurden damit alle Versuchsergebnisse vergleichbar.

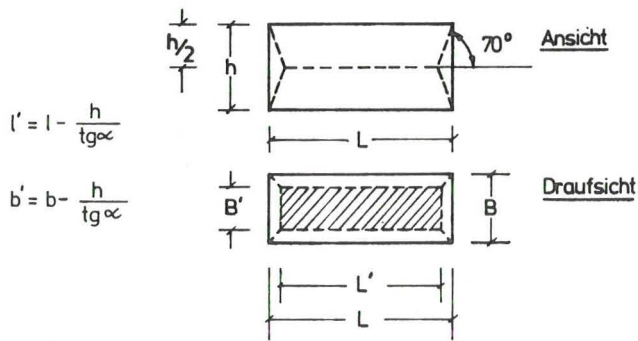
- 5) Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse mußte davon ausgegangen werden, daß der Faktor  $f_2$  etwa von folgenden Größen abhängig ist: Abmessungen der Steine, Lochanteil, Lochverteilung. Wegen der vielen Einflußgrößen bedeutete dies, daß nach einer entsprechend vielparametrigen Funktion zu suchen war. Insgesamt wurden 24 Ansätze auf ihre Brauchbarkeit hin untersucht. Als Maß der Brauchbarkeit wurden die mittlere quadratische Abweichung in Verbindung mit dem Korrelationskoeffizienten angesehen. Als in diesem Sinne brauchbarer Ansatz erwies sich die Beziehung

$$f_2 = a + \frac{b}{\left(1 + \frac{\sqrt{A_{st}}}{10\sqrt{A_w}}\right)^c \left(\frac{U_0}{U}\right)^d} \quad (2)$$

In der Gleichung bedeuten:

1. a, b, c und d die Festwerte
2.  $A_{st}$  = die Druckfläche des zu prüfenden Steines (Bruttofläche)
3.  $A_w$  = die Druckfläche der 2 cm-Vergleichswürfel
4.  $U_0 = 2l + 2b$  = der Umfang der Druckfläche des zu prüfenden Steines
5.  $U = 2l' + 2b'$  = der Umfang der "Restfläche" gemäß nachfolgender Skizze





Die Festwerte a, b, c und d wurden durch Ausgleichsrechnung ermittelt. Setzt man diese in Gleichung (2) ein, so erhält man

$$f_2 = 0,89 + \frac{6,96}{\left(1 + \frac{\sqrt{A_{St}}}{10\sqrt{A_w}}\right)^{1,78} \left(\frac{U_0}{U}\right)^{5,98}} \quad (3)$$

Die mittlere quadratische Abweichung beträgt hierbei  $s = 0,126$ , der Korrelationskoeffizient ist  $r = 0,943$ .

6. Die Gleichung (3) ist im Bild 2 in Abhängigkeit vom Nenner des zweiten Gliedes dargestellt. In dem Bild sind auch die Versuchswerte eingetragen. Dabei ist unterschieden zwischen Werten, die an Voll- und Lochsteinen ermittelt wurden. Insgesamt erkennt man, daß die gewählte Funktion in der Lage ist, den Zusammenhang zwischen den aufgetragenen Größen wiederzugeben, wenngleich auch—and das war zu erwarten—merkliche Streuungen vorhanden sind.

7. Nach Gleichung (1) ist  $f_2 = \frac{\beta_{St}}{\beta_2}$  mit  $f_2$  nach Gleichung (3). Der Bezug von  $f_2$  auf  $\beta_2$  ist ungünstig, da der 2 cm-Würfel in keiner Beziehung zu einer üblichen Steingröße steht. Besser ist es, den Formfaktor auf ein gängiges Format zu beziehen. Das ist in der Bundesrepublik Deutschland der als 2 DF bezeichnete Stein mit den Abmessungen Länge/Breite/Höhe = 240/115/113 mm<sup>3</sup>. Es sollte also gelten:

$$f_{2 \text{ DF}} = \frac{\beta_{St}}{\beta_{2 \text{ DF}}} \quad (4)$$

und hieraus

$$\beta_{2 \text{ DF}} = \frac{1}{f_{2 \text{ DF}}} \beta_{St} \quad (5)$$

Die Größe  $f_{2 \text{ DF}}$  läßt sich aus Gleichung (3) ermitteln:

$$f_{2 \text{ DF}} = \frac{f_2}{f_{2 \text{ (2 DF)}}} \quad (6)$$

Damit wird aus Gleichung (5)

$$\beta_{2 \text{ DF}} = \frac{f_{2 \text{ (2 DF)}}}{f_2} \beta_{St} \quad (7)$$

Bezeichnet man  $\frac{f_{2 \text{ (2 DF)}}}{f_2}$  mit  $f$ , so wird

$$\beta_{2 \text{ DF}} = f \cdot \beta_{St} \quad (8)$$

Der Formfaktor  $f$  ist somit die Ziffer, mit der die an einem Kalksandstein beliebiger Abmessungen ermittelte Steifigkeit  $\beta_{St}$  zu multiplizieren ist, um die Festigkeit zu erhalten, falls die Prüfung an einem 2 DF-Stein erfolgt wäre.

8. Der Formfaktor  $f$  ist in Bild 3 in Abhängigkeit von der Steinfläche dargestellt. Als Parameter ist die Steinhöhe gewählt. Man erkennt, daß sie den Formfaktor stark beeinflußt und daß auch die Grundflächen der Steine natürlich einen entsprechenden Einfluß auf die Größe des Formfaktors haben. Welche Folgerungen hieraus im einzelnen gezogen werden können, wird nachstehend behandelt.

## FOLGERUNGEN

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen wurden dem zuständigen Gremium des Deutschen Normenausschusses vorgelegt. Dieser beschloß, in einen neuen Entwurf der für Kalksandsteine maßgeblichen Norm DIN 106 folgende Regelungen für die Druckfestigkeitsprüfung von Kalksandsteinen aufzunehmen:

- a) Die Prüfung von Vollsteinen mit Höhen kleiner als 11,3 cm (das sind in der Bundesrepublik die Formate DF und NF) erfolgt an zwei gegenläufig aufeinandergelegten Steinhälften. Für dieses Vorgehen war einmal maßgebend, daß der Formfaktor in diesem Bereich stark schwankt (vgl. Bild 2) und zum andern die Prüfung auch bisher in dieser Weise erfolgte. Hier ist also keine Änderung gegenüber dem bisherigen Vorgehen eingetreten.
- b) Die Prüfung von Lochsteinen der gleichen Formate wie unter a) wird an jeweils zwei aufeinandergelegten ganzen Steinen vorgenommen. Dies ist eine Regelung in Anlehnung an a). Wegen der Lochung erschien es jedoch hier richtiger, die Prüfung am ganzen Stein durchzuführen.
- c) Die Prüfung von Steinen mit Höhen von 11,3 cm erfolgt am ganzen Stein. Ein Formfaktor wird hier nicht eingeführt, da das 2 DF-Format mit der Höhe 11,3 cm als Bezugsformat gewählt wurde und bei den anderen Formaten mit der Höhe 11,3 cm der Formfaktor in etwa in der Größenordnung von 1 liegt (vgl. Bild 3).
- d) Die Prüfung von Steinen mit einer Höhe von 17,5 cm erfolgt ebenfalls am ganzen Stein. Die im Druckversuch ermittelten Festigkeiten werden jedoch mit dem Formfaktor  $f = 1,1$  multipliziert. Diese Festigkeiten sind maßgebend für die Einstufung der Steine in Druckfestigkeitsklassen. Der Wert  $f = 1,1$  liegt bei allen Formaten auf der sicheren Seite (vgl. Bild 3).
- e) Die Prüfung und Einstufung von Steinen mit einer Höhe von 23,8 cm erfolgt wie bei d). Der Formfaktor beträgt jedoch 1,2. Nach Bild 3 scheint dieser zum Teil sehr auf der sicheren Seite gewählt zu sein. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, daß Steine mit der Höhe von 23,8 cm mit nur gleichzeitig relativ großen

Druckflächen (also im rechten Bereich von Bild 3) hergestellt werden.

### SCHLUSSBEMERKUNGEN

Abschließend seien noch zwei Bemerkungen gemacht:

1. Da das Prinzip der Formfaktoren nicht neu ist, stellt sich vielleicht die Frage, warum man sie nicht schon früher aufgegriffen hat. Der Grund liegt darin, daß zumindestens Kalksandsteine erst seit neuerer Zeit in größerem Umfang als großformatige Steine hergestellt werden und daher erst jetzt die Formfaktoren von stärkerem Interesse sind.
2. Die Einführung der Formfaktoren bedeutet, daß die maßgebliche Festigkeit der Steine um bis zu 20% größer als bisher festgelegt wird. Das beinhaltet gleichzeitig, daß die Mauerwerkssicherheit etwas herabgesetzt wird.

Eine entsprechende Überprüfung ergab, daß dies aber in einem nicht unzulässigen Maße erfolgt. Nicht unzulässig heißt hier, daß die Mindestsicherheit 3 nicht unterschritten wird.

### LITERATUR

1. Prüfzeugnis Nr., 337/78, Überprüfung des Einflusses des Steinformates auf die Mauerwerksfestigkeit bei Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN 106. Institut für Baustoffkunde und Materialprüfwesen der Universität Hannover Amtliche Materialprüfanstalt
2. Kasten, D., Zur Gestaltsabhängigkeit der Druck- und Spaltzugfestigkeit von Kalksandsteinen, Dissertation, Hannover 1980

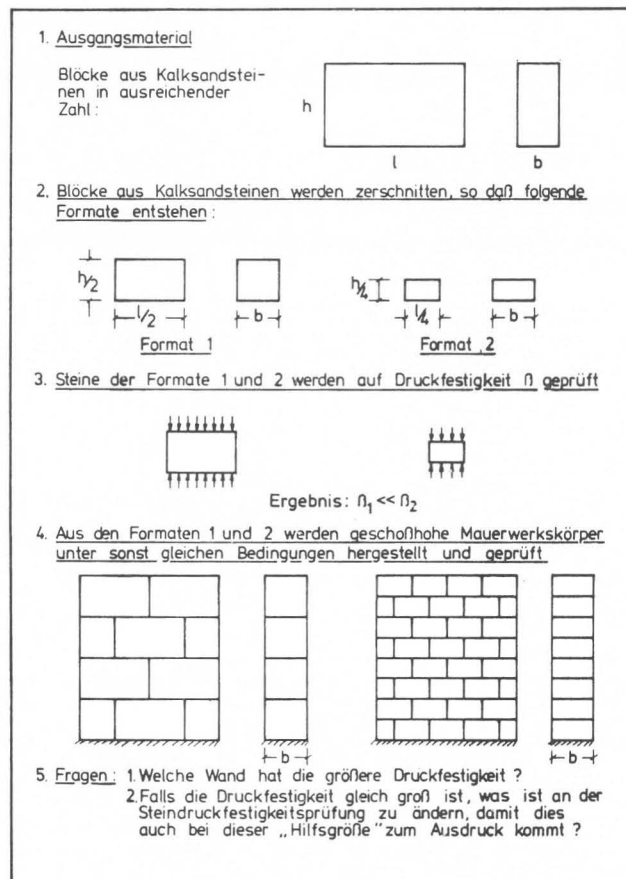


Bild 1. Zur Formulierung der Aufgabenstellung

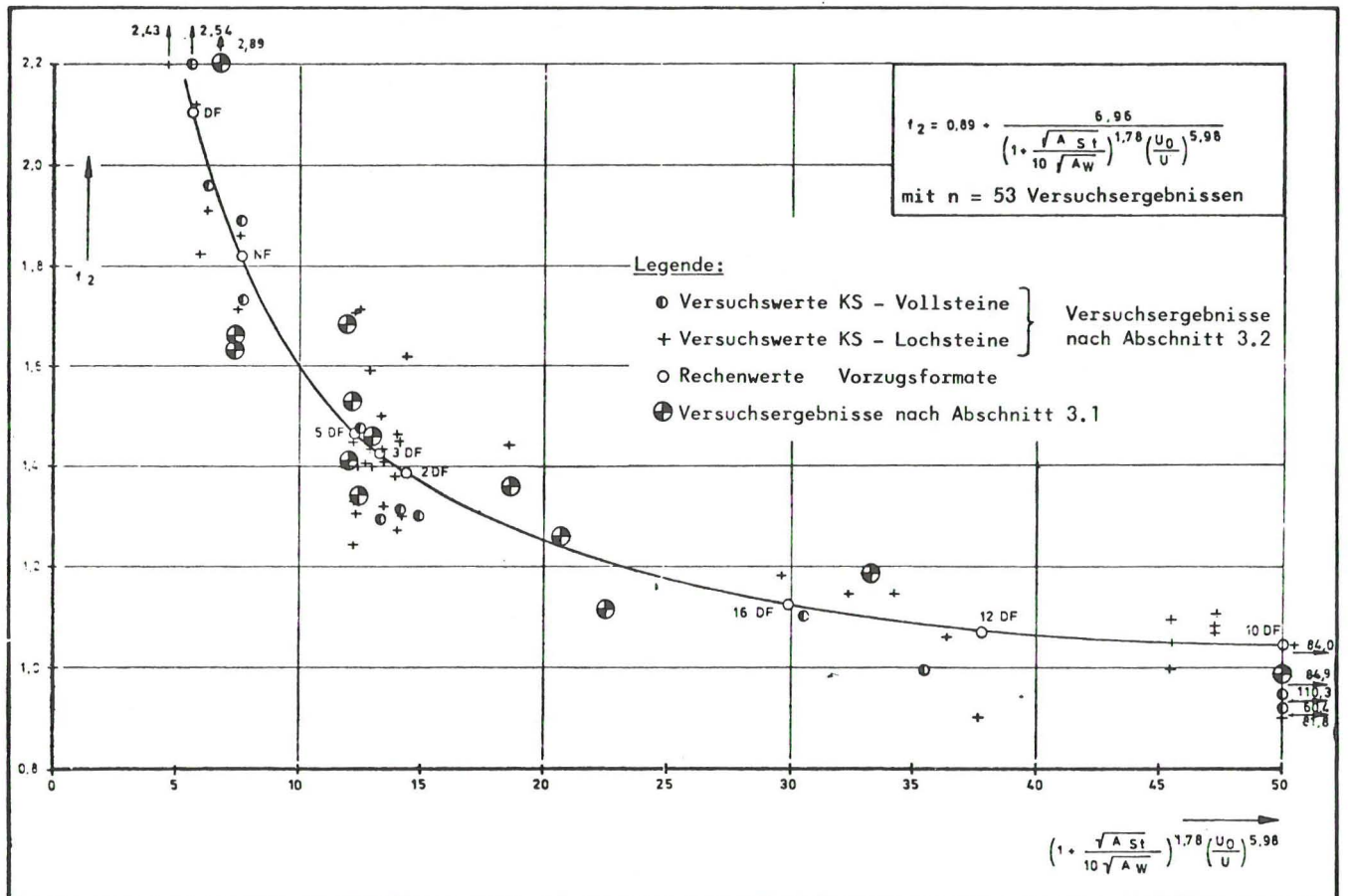
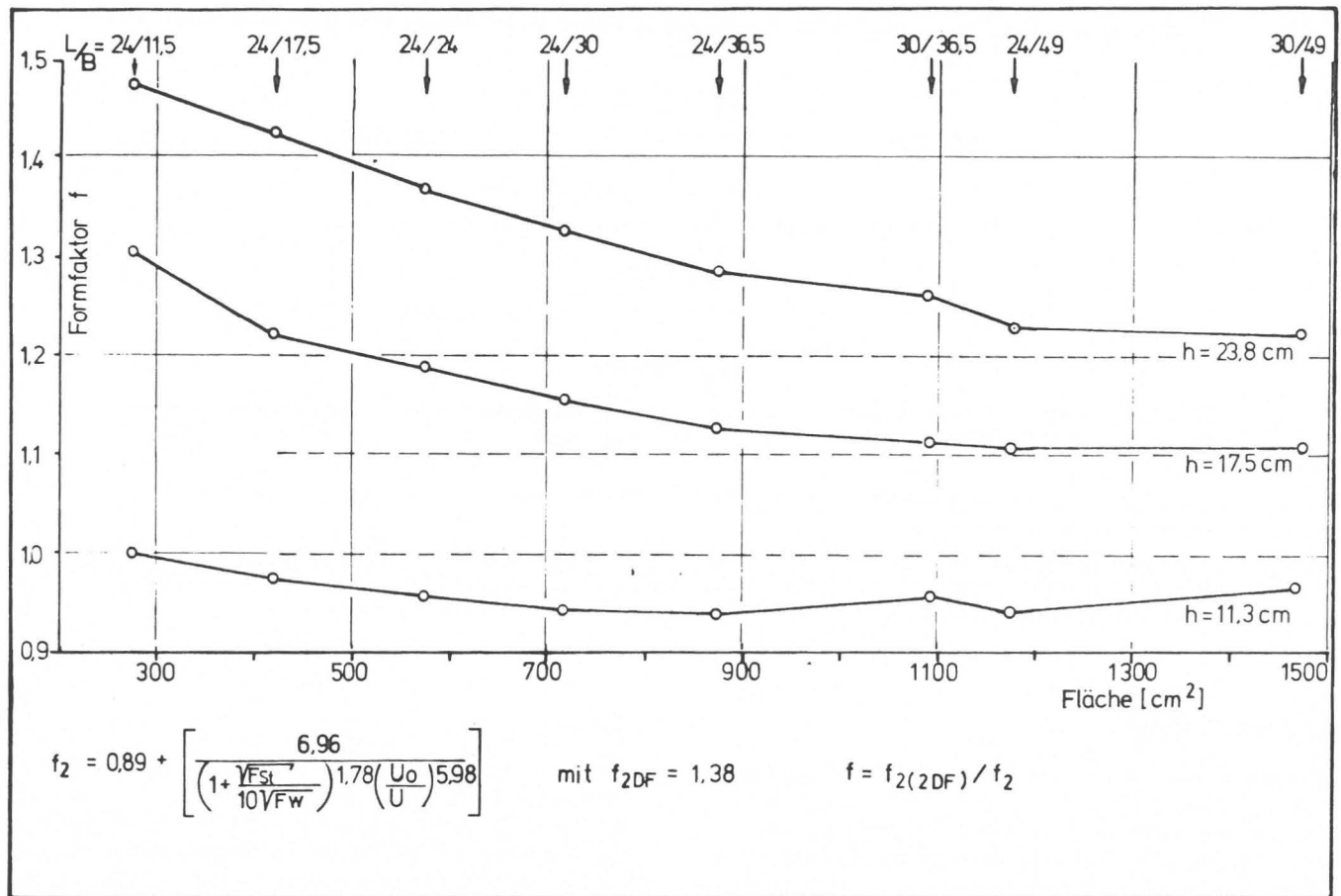


Bild 2. Formfaktor mit den Versuchsergebnissen nach Abschnitt 3.1 und Abschnitt 3.2

Bild 3. Formfaktor  $f$  in Abhängigkeit von Länge/Breite bei verschiedenen Steinhöhen