

18 (2005)

AKTUELLE FORSCHUNGSERGEBNISSE

Untersuchungen zur Schubfestigkeit von Mauerwerk

Research into the shear strength of masonry

U. Schmidt, B.-G. Kang, J. Hannawald, W. Brameshuber

1 EINLEITUNG

Theoretische Überlegungen in den 70er Jahren für Mauerwerk aus kleinformatigen Steinen mit halbsteiniger Überbindelänge bildeten die Grundlagen der Schubbemessungsgleichungen in DIN 1053-1 und Eurocode 6. Die sich aus den heutigen Steinformaten, Lochbildern und den variierenden Überbindmaßen ergebenden geometrischen Randbedingungen haben erheblichen Einfluss auf die in den bisherigen Modellvorstellungen definierten Versagensfälle. Im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsprojektes /1/ wurden umfangreiche theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Schubtragverhalten von Mauerwerk durchgeführt, um die wesentlichen Einflussgrößen spezifizieren zu können. Die Ergebnisse liefern einen wichtigen Beitrag für die Schubbemessung nach DIN 1053.

2 VERWENDETE MATERIALIEN UND STOFFGESETZE

Für die Untersuchungen wurden Porenbeton-Vollsteine PP 4 – 0,5 – 500 · 300 · 249 in Kombination mit Dünnbettmörtel und dem in Verbindung mit Porenbeton nicht praxisüblichen Normalmörtel verwendet, so dass mit einem Mauersteinmaterial einer Festigkeitsklasse die relevanten Bruchkriterien sowohl bei Fugenversagen als auch bei Steinversagen erzeugt werden konnten. Die Verwendung von nur einem Mauersteinmaterial ermöglichte die gezielte Untersuchung der geometrischen Einflussgrößen und die Anwendung identischer Stoffgesetze. Porenbetonsteine wurden verwendet, da diese zum einen nahezu isotrope Eigenschaften besitzen und zum anderen aus dem gleichen Material Mauersteine mit bestimmtem Lochbild und Lochanteil hergestellt werden können.

Ein wesentliches Ziel der Untersuchungen war, die durchgeführten Schubversuche mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente abzubilden. Hierzu war es erforderlich die Eingangsgrößen, d. h. die Stoffgesetze des Porenbetonmaterials und des Verbundes vorher möglichst exakt zu ermitteln. Dies erfolgte in Versuchen an Kleinprüfkörpern, wobei neue Verfahren entwickelt und angewendet wurden. Hervorzuheben ist hier u. a. das Verfahren zur

Ermittlung des Nachbruchverhaltens des Porenbetons, d. h. die Bestimmung vollständiger Spannungs-Rissöffnungskurven. Hierzu wurden verformungsgeregelte Biegeversuche an gekerbten Porenbetonprismen durchgeführt und die experimentell bestimmten Last-Durchbiegungskurven mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente nachgerechnet. Dabei wurden die Eingabeparameter (u. a. der Verlauf der Spannungs-Rissöffnungskurve) in einem automatisierten Optimierungsverfahren so variiert, dass der Verlauf der Last-Durchbiegungskurve bestmöglich dem Versuchsergebnis angepasst wird, s. Bild 1. Am Porenbeton wurden ferner die Zugfestigkeit an eingeschnürten Proben und die Druckfestigkeit in verformungsgeregelten Versuchen an Zylindern bestimmt.

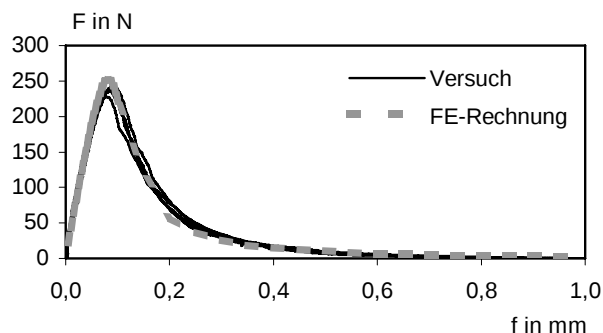


Bild 1: Vergleich der experimentell und numerisch bestimmten Last-Durchbiegungskurven im Biegeversuch an Porenbetonprismen

Fig. 1: Comparison of experimental and numerical load-deflection-curves in bending tests on autoclaved aerated concrete prisms

Die Verbundeigenschaften wurden insbesondere beim Normalmörtel eingehend untersucht. Dabei wurden in verformungsgeregelten Zugversuchen die Spannungs-Dehnungslinien und vollständige Spannungs-Rissöffnungskurven für die Haftzugbeanspruchung ermittelt. Zur Bestimmung der Haftscherfestigkeit und Schubspannungs-Verschiebungslinien wurden zahlreiche Versuche analog dem europäischen Prüfverfahren DIN EN 1052-3 durchgeführt und durch Nachrechnung der Versuchsergebnisse mit der Methode der Finiten Elemente die wesentlichen Stoffgesetze invers bestimmt.

3 UNTERSUCHUNGEN ZUR SCHUBFESTIGKEIT

Die Schubfestigkeit wurde an 8 unterschiedlichen Mauerwerkswänden mit dem vom DIBt vereinheitlichten Prüfverfahren (s. Bild 2) bestimmt. Dabei wurde die Inhomogenität des Mauerwerks schrittweise gesteigert.

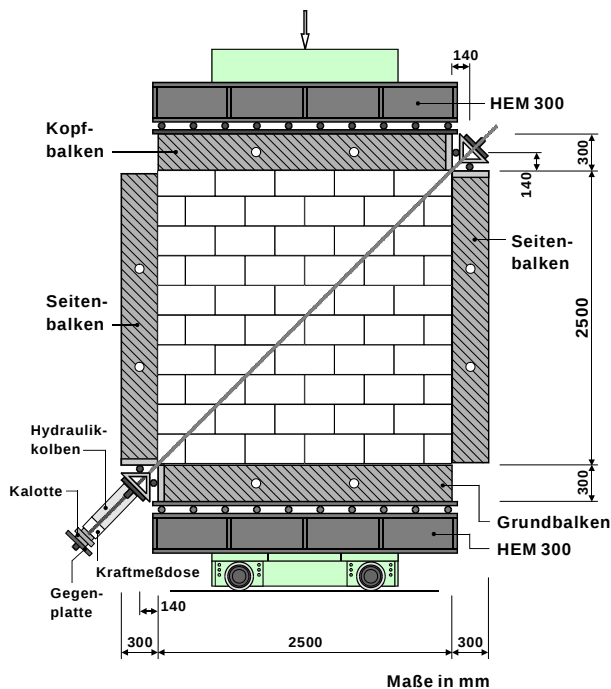


Bild 2: Schubversuch, Versuchsaufbau

Fig. 2: Determination of the shear strength, test set-up

Die Untersuchungen wurden mit dem Finite-Element-Programm DIANA nachgerechnet. Dabei wurden der tatsächliche Versuchsaufbau abgebildet und die Stoffgesetze aus den Untersuchungen an den Kleinprüfkörpern unverändert angesetzt. Zur Überprüfung des Modells wurden umfangreichen Verformungsmessungen an den Versuchswänden durchgeführt. Der Vergleich der experimentellen und der rechnerischen Untersuchungen zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen Versuchs- und Berechnungsergebnissen.

Sowohl die experimentellen als auch die numerischen Berechnungen – insbesondere die Analyse der Spannungsverteilung im Mauerwerk – zeigt, dass die Schubfestigkeit bei dem in Deutschland angewendeten Versuchsaufbau erheblich durch die Lasteinleitungsvorrichtung beeinflusst wird. Bei Mauerwerkswänden mit hohen Verbundfestigkeiten, bei denen Steinversagen maßgebend ist, wird aufgrund hoher Spannungskonzentrationen in den Ecksteinen (s. Bild 3) die tatsächliche Schubfestigkeit des Mauerwerks erheblich unterschätzt.

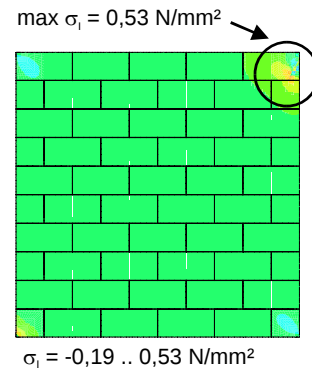


Bild 3: Hauptspannungen in einer Mauerwerkswand mit vermörtelten Stoßfugen bei einer eingeleiteten Schubspannung von $\tau = 0,10 \text{ N/mm}^2$, Zugspannungen im Eckstein führen zum Versagen der Wand

Fig. 3: Principal stresses in a masonry wall with filled head joints and an applied shear strength of $\tau = 0,10 \text{ N/mm}^2$, tensile stresses in the corner unit leading to failure of the wall

Um die tatsächliche Schubfestigkeit des Mauerwerks berechnen zu können, wurden die gleichen Mauerwerkswände mit einer optimierten Lasteinleitung simuliert. Hierdurch konnten die Festigkeitsreserven ermittelt werden.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die im Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse haben gezeigt, dass bei der Bestimmung der Schubfestigkeit mit dem angewendeten Prüfverfahren für den Versagensfall Stein die Schubfestigkeit in den untersuchten Fällen erheblich unterschätzt wird. Ziel muss es nun sein, mit weiteren FE-Rechnungen und durch Bestimmung der wesentlichen Stoffgesetze auch für andere Mauersteinarten die tatsächliche Schubfestigkeit des Mauerwerks zu bestimmen. Darauf aufbauend müssen analytische Berechnungsmodelle kalibriert bzw. hergeleitet und die Ergebnisse insbesondere bei dem rechnerischen Nachweis der Schubtragfähigkeit gemäß DIN 1053 berücksichtigt werden. Eine ausführliche Darstellung der Forschungsergebnisse erscheint in /2/.

5 LITERATUR

- /1/ Brameshuber, W. ; Schmidt, U. ; Kang, B.-G. ; J. Hannawald: Theoretische und praktische Untersuchungen zum Schubtragverhalten und der Schubbemessung von Mauerwerk. Aachen : Institut für Bauforschung, 2005. - Forschungsbericht Nr. F 752 – in Bearbeitung
- /2/ Brameshuber, W. ; Schmidt, U. ; Kang, B.-G. ; Hannawald, J.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Schubfestigkeit von Mauerwerk. In: Mauerwerk 9 (2005), Nr. 4 – Beitrag eingereicht

Forschungsförderer: DFG, BR 2009/1-1 – F 752

Herausgeber:

Institut für Bauforschung Aachen
Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Brameshuber
Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Raupach

Postfach, 52056 Aachen
Schinkelstraße 3, 52062 Aachen
Deutschland / Germany

Telefon +49 (0) 2 41 80-9 51 00
Telefax +49 (0) 2 41 80-9 21 39
www.ibac.rwth-aachen.de

Die auszugsweise Veröffentlichung dieses Berichtes, seine Verwendung für Werbezwecke sowie die inhaltliche Übernahme in Literaturdatenbanken bedürfen der Genehmigung des ibac.