

Tragfähigkeit überwiegend horizontal beanspruchter Aussteifungsscheiben aus unbewehrtem Mauerwerk

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Thomas Kranzler

aus Koblenz / Rheinland-Pfalz

D 17

Darmstadt 2008

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Anschrift:

Institut für Massivbau – Fachgebiet Massivbau

Petersenstrasse 12

64287 Darmstadt

<http://www.massivbau.tu-darmstadt.de>

Kranzler, Thomas:

Tragfähigkeit überwiegend horizontal beanspruchter Aussteifungsscheiben
aus unbewehrtem Mauerwerk

1. Auflage Darmstadt, Eigenverlag, Heft 17

ISBN 978-3-9811881-4-1

Dr.-Ing. Thomas Kranzler

Geboren 1976 in Koblenz/Rheinland-Pfalz. Von 1996 bis 2001 Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität Darmstadt. Von 2001 bis 2004 Tragwerksplanung und Bauleitung bei der Bilfinger Berger AG in Wiesbaden und Frankfurt. Von 2004 bis 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt. Seit 2004 nebenberuflich als beratender Ingenieur für das Bauwesen tätig. Seit 2008 technischer Mitarbeiter beim Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. in Bonn.

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 2004 bis 2007 während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt. Eine entscheidende Motivation zur Behandlung des gewählten Themenkomplexes war das von der Europäischen Kommission geförderte Forschungsvorhaben ESECMaSE (Enhanced Safety and Efficient Construction of Masonry Structures in Europe). Für die finanzielle Unterstützung sowie die gute Zusammenarbeit mit den Projektpartnern (insbesondere Herrn Dr.-Ing. Udo Meyer, Herrn Dipl.-Ing. Jochen Stürz, Herrn Dipl.-Ing. Peter Schöps und Herrn Dipl.-Ing. Antonio Caballero González) bin ich sehr dankbar.

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner danke ich für die vielfältigen Anregungen, seine stete Diskussionsbereitschaft und das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Fehling möchte ich für die angenehme Zusammenarbeit im Rahmen des Forschungsvorhabens ESECMaSE, das Interesse an meiner Arbeit sowie für die Übernahme des Korreferates danken.

Meinen lieben Kollegen gilt mein Dank für die sehr schöne Zeit am Institut. Unser stets kollegiales und freundschaftliches Verhältnis in beruflicher und privater Hinsicht habe ich sehr genossen und es wird mir stets in Erinnerung bleiben. Meinem langjährigen Zimmerkollegen Herrn Dipl.-Ing. Lars Richter sowie Herrn Dipl.-Ing. Andreas Greck gilt dabei ein zusätzlicher Dank für die fachliche Unterstützung und die fruchtbaren Diskussionen.

Frau Renate Schneider, Herrn Ass. jur. Arnd Schmidt und Herrn Dipl.-Ing. Lars Richter danke ich für die sorgfältige Durchsicht des Manuskripts dieser Arbeit.

Frau Dipl.-Ing. Susanne und Herrn Dipl.-Ing. Jochen Stolle gilt mein Dank dafür, dass sie mir die Möglichkeit gegeben haben, meine Arbeit ungestört fertig zu stellen.

Meinen Eltern Dagmar und Prof. Dipl.-Ing. Gernot Kranzler danke ich für ihre liebevolle und wichtige Unterstützung in all den Jahren. Meinem Vater gilt darüber hinaus meine besondere Dankbarkeit für seine stete Bereitschaft, mich fachlich zu unterstützen. Ich widme ihm diese Arbeit und bedaure zutiefst, dass er ihre Fertigstellung nicht mehr erleben durfte.

Meiner lieben Frau Nicole und meiner Tochter Jana danke ich von ganzem Herzen für ihr Verständnis, ihre Geduld an vielen Tagen und das Gefühl von Sicherheit, ohne welches diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Wiesbaden, September 2008

Thomas Kranzler

Referent:	Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner (TU Darmstadt)
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Fehling (Uni Kassel)
Tag der Einreichung:	21. Januar 2008
Tag der mündlichen Prüfung:	9. Mai 2008

„Wenn die Dinge zu kompliziert werden, ist es manchmal sinnvoll zu überlegen: Habe ich überhaupt die richtige Frage gestellt?“

Enrico Bombieri, italienischer Mathematiker

ABSTRACT

In-plane lateral-load capacity of unreinforced masonry shear walls

Due to a strong increase in the design loads for wind and earthquakes in the European standards, it was presumed that the structural design methods for the in-plane lateral-load capacity of URM shear walls will no longer be sufficient in the future. Furthermore, the calculated in-plane lateral-load capacity of masonry structures on the basis of the current standards seems to underestimate the values observed in practice. Therefore, the aim of this thesis was the development of a new approach for the calculation of the in-plane lateral-load capacity of URM shear walls.

In a first step several theoretical models and standards to calculate the in-plane lateral-load capacity of unreinforced masonry shear walls have been analysed. The capacity of horizontally loaded unreinforced masonry panels is influenced by many parameters, mainly the material properties, the dimensions of the units, the geometry of the whole panel, the design concept and the static system. It was shown that the respective parameters and the basic assumptions used in different design approaches affect the shear resistance against horizontal forces significantly.

In the next step the outcome of a large number of FE-calculations has been compared with the previously analysed theoretical design procedures. This led to an integral approach, which considers the essential influence parameters on the in-plane lateral-load capacity of URM shear walls. The new approach does not need to consider the parameters tensile strength perpendicular to the bed joints and initial shear strength (cohesion).

The comparison with the maximum horizontal loads determined in nearly 100 tests on storey high masonry panels has shown that the new integral approach gives a good approximation of test results.

I would like to thank the European Commission for granting the research project ESECMaSE and generously funding it for three years.

INHALTSVERZEICHNIS

FORMELZEICHEN UND VARIABLEN	V
1 EINLEITUNG	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung und Abgrenzung	3
1.3 Vorgehensweise	4
2 AUSGANGSSTOFFE UND TRAGVERHALTEN VON MAUERWERK.....	7
2.1 Einführung.....	7
2.2 Ausgangsstoffe.....	7
2.2.1 Mauersteine	7
2.2.2 Mörtel.....	9
2.2.3 Verbundeigenschaften.....	9
2.3 Tragverhalten von Mauerwerk unter Druckbeanspruchung.....	12
2.3.1 Druckbeanspruchung senkrecht zur Lagerfuge.....	12
2.3.2 Druckbeanspruchung parallel zur Lagerfuge	14
2.4 Tragverhalten von Mauerwerk unter Zug- und Biegezugbeanspruchung	15
2.4.1 Zug- und Biegezugbeanspruchung senkrecht zur Lagerfuge.....	15
2.4.2 Zug- und Biegezugbeanspruchung parallel zur Lagerfuge	16
2.5 Tragverhalten von Mauerwerk unter Schubbeanspruchung	17
2.5.1 Versagensarten von überwiegend horizontal beanspruchten Aussteifungsscheiben aus unbewehrtem Mauerwerk	18
2.5.2 Historische Entwicklung der Berechnung von schubbeanspruchtem Mauerwerk	21
2.6 Zusammenfassung.....	30

3	KRITISCHE ANALYSE AUSGEWÄHLTER SCHUBFESTIGKEITSMODELLE	33
3.1	Einführung.....	33
3.2	Modelle unter Vernachlässigung der Spannungsübertragung über die Stoßfugen	33
3.2.1	Schubfestigkeit nach Mann & Müller	34
3.2.2	Schubfestigkeit nach Graubner & Simon.....	37
3.2.3	Schubfestigkeit nach Simon	39
3.2.4	Schubfestigkeit nach Jäger & Schöps	45
3.2.5	Gegenüberstellung der Schubfestigkeitsmodelle	54
3.2.6	Auswertung vorliegender Messwerte zur Schubfestigkeit.....	57
3.3	Modelle unter Berücksichtigung der Spannungsübertragung über die Stoßfugen	61
3.3.1	Erweitertes Schubfestigkeitsmodell von Mann & Müller.....	61
3.3.2	Erweitertes Schubfestigkeitsmodell von Simon.....	64
3.3.3	Schubfestigkeit nach Ganz	65
3.3.4	Gegenüberstellung der Schubfestigkeitsmodelle	72
3.3.5	Auswertung vorliegender Messwerte zur Schubfestigkeit.....	75
3.4	Zusammenfassung.....	76
4	ANALYTISCHE BERECHNUNG DER TRAGFÄHIGKEIT VON AUSSTEIFUNGSSCHEIBEN.....	77
4.1	Einführung.....	77
4.2	Rechnerische Tragfähigkeit nach Navier'scher Biegelehre	78
4.2.1	Grundlagen	78
4.2.2	Kippen der Aussteifungsscheibe	79
4.2.3	Biegeversagen	80
4.2.4	Horizontales Gleiten entlang der Lagerfugen	82
4.2.5	Schubversagen.....	83
4.2.6	Gegenüberstellung der rechnerischen Tragfähigkeiten.....	95
4.3	Berechnung der Tragfähigkeit auf Basis der Plastizitätstheorie.....	96
4.3.1	Grundlagen	96

4.3.2	Materialdruckfestigkeit in Abhängigkeit des Neigungswinkels	97
4.3.3	Ermittlung der rechnerischen Tragfähigkeit	98
4.3.4	Gegenüberstellung mit den rechnerischen Tragfähigkeiten nach Navier'scher Biegelehre.....	102
4.4	Normative Bemessungsverfahren.....	103
4.4.1	Allgemeines	103
4.4.2	Deutsche Normen DIN 1053-1 und DIN 1053-100.....	104
4.4.3	Europäische Normen Eurocode 6 Teil 1 und Teil 3.....	112
4.4.4	Britische Norm BS 5628-1	114
4.4.5	Kanadische Norm CSA S 304-1	116
4.4.6	Australische Norm AS 3700	120
4.4.7	Schweizer Norm SIA 266	123
4.4.8	Gegenüberstellung der normativen Bemessungsverfahren.....	124
4.5	Einfluss des Teilsicherheitskonzeptes auf die horizontale Tragfähigkeit	129
4.6	Zusammenfassung.....	131
5	BERECHNUNGSMODELL FÜR DIE TRAGFÄHIGKEIT VON AUSSTEIFUNGSSCHEIBEN	133
5.1	Einführung.....	133
5.2	Tragfähigkeitsermittlung mit Hilfe der Finite Elemente Methode	133
5.2.1	Vereinfachte diskrete Modellierung mittels ATENA (2006).....	133
5.2.2	Kalibrierung der FE-Parameter	137
5.2.3	Parameterstudie	140
5.3	Entwicklung eines Berechnungsmodells	145
5.3.1	Biegedruckversagen im Eckbereich.....	145
5.3.2	Horizontales Gleiten entlang der Lagerfugen	149
5.3.3	Schubversagen – Kippen der Einzelsteine	150
5.3.4	Schubversagen – Steinzugversagen	157
5.3.5	Schubversagen – Versagen des Ecksteins nach Reibungsversagen in Wandscheibenmitte	168
5.4	Zusammenfassung.....	170

6	VERIFIKATION UND KALIBRIERUNG DES BERECHNUNGSMODELLS	173
6.1	Einführung.....	173
6.2	Versuche im Rahmen des EU-Forschungsvorhabens ESECMaSE.....	173
6.3	Weitere Versuche an geschosshohen Wandscheiben	176
6.3.1	Versuche mit Wandscheiben aus Porenbetonmauerwerk in Anlehnung an ESECMaSE	177
6.3.2	Auswertung weiterer Forschungsarbeiten	178
6.4	Kalibrierung des Berechnungsmodells	179
6.5	Zusammenfassung.....	184
7	BEMESSUNGSVORSCHLAG	185
7.1	Einführung.....	185
7.2	Approximation für das Steinzugversagenskriterium	185
7.3	Semiprobabilistisches Teilsicherheitskonzept	188
7.4	Bemessungsvorschlag auf Basis des neuen Berechnungsmodells	191
7.5	Vergleich mit der deutschen Normung	194
7.6	Zusammenfassung.....	198
8	RESÜMEE UND AUSBLICK.....	201
	LITERATURVERZEICHNIS.....	207
	ANHANG.....	