

Tragfähigkeit unbewehrter Beton- und Mauerwerksdruckglieder bei zweiachsig exzentrischer Beanspruchung

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

DISSERTATION

von

Valentin Förster M.Sc.

aus
Würzburg

D 17

Darmstadt 2018

Referent: Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Oliver Fischer

Tag der Einreichung: 15. November 2017

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Februar 2018

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Anschrift:

Institut für Massivbau
Franziska-Braun-Str. 3
64287 Darmstadt

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

Förster, Valentin:

Tragfähigkeit unbewehrter Beton- und Mauerwerksdruckglieder
bei zweiachsig exzentrischer Beanspruchung

1. Auflage Darmstadt

Dissertation // Institut für Massivbau, Technische Universität Darmstadt; Heft 40

ISBN 978-3-942886-17-8

Dr.-Ing. Valentin Förster

Geboren 1988 in Würzburg. Von 2006 bis 2010 Studium des Bauingenieurwesens (Diplom) an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt. Im Jahr 2010 Ausbildung zum Internationalen Schweißfachingenieur. Von 2010 bis 2012 Studium des Bauingenieurwesens (Master of Science) an der Technischen Universität Darmstadt. Von Ende 2012 bis 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner am Institut für Massivbau und dem Forschungs- und Prüflabor Massivbau der Technischen Universität Darmstadt. In dieser Zeit auch als freier Mitarbeiter für verschiedene Unternehmen tätig. Seit 2018 Mitarbeiter im Ingenieurbüro König und Heunisch Planungsgesellschaft in Frankfurt am Main.

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt.

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner danke ich aufrichtig für seine Unterstützung, das mir entgegengebrachte Vertrauen sowie seiner ansteckenden Begeisterung für das Bauingenieurwesen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Oliver Fischer danke ich für das Interesse an meiner Arbeit und für die Übernahme des Korreferates.

Der Wienerberger GmbH danke ich für die zur Verfügung gestellten Ziegelsteine.

Bei Herrn Dominik Müller M.Sc. bedanke ich mich für den wissenschaftlichen Disput, insbesondere zur Zuverlässigkeitstheorie sowie der kritischen Durchsicht des Manuskriptes. Für letzteres bedanke ich mich gleichermaßen bei den Herren Benjamin Purkert M.Sc., Redouan El Ghadioui M.Sc. und bei meinem Onkel Dipl.-Verww. (FH) Jörg Linden.

Außerdem bedanke ich mich sehr herzlich bei meinen Kolleginnen und Kollegen für die in beruflicher und privater Hinsicht sehr angenehme Zeit am Institut, die mir stets in freudiger Erinnerung bleiben wird.

Mein Dank richtet sich auch an meine Eltern Ingrid und Roland für die mir eröffneten Möglichkeiten und die stete Unterstützung in all den Jahren.

Meiner lieben Frau Martina danke ich ebenso für die Durchsicht des Manuskriptes. Darüber hinaus danke ich Ihr für den notwendigen Rückhalt der zum Gelingen dieser Arbeit beitrug.

Darmstadt, Februar 2018

Valentin Förster

ZUSAMMENFASSUNG

Druckglieder, wie Stützen und Wände, dienen primär zum vertikalen Lastabtrag und erfahren Biegemomente infolge der Verdrehungen angrenzender Bauteile wie Decken oder Unterzüge. Sofern Verdrehungen um zwei Achsen auftreten oder das Druckglied neben einer einachsigen Biegung um die schwache Achse als Teil des Aussteifungssystems durch horizontale Kräfte in Richtung der starken Achse beansprucht wird, wirken Biegemomente um zwei Achsen. Obwohl unbewehrte Druckglieder aus Beton und Mauerwerk nennenswerte Biegemomente abtragen können, liegt für die Ermittlung der Tragfähigkeit bei schiefer Biegebeanspruchung kein adäquates Berechnungsverfahren vor.

Um die bestehenden Tragfähigkeitspotenziale unbewehrter Beton- und Mauerwerksdruckglieder mit rechteckigem Querschnitt nutzen zu können, wird ein nichtlineares Berechnungsmodell zur wirklichkeitsnahen Bestimmung der Tragfähigkeit entwickelt und in ein praxisgerechtes Bemessungsverfahren überführt. Grundlagen dafür sind systematisch aufeinander aufbauende Analysen zur Querschnittstragfähigkeit, -krümmung und Systemtragfähigkeit, wobei unterschiedliche Werkstoffverhalten ebenso berücksichtigt werden wie die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung für schlanke Druckglieder.

ABSTRACT

Compression members, such as columns or walls, mainly have to carry vertical loads. In addition, they experience bending moments due to the rotation of adjacent components, such as slabs or beams. If rotations occur about two axes or the compression member is, in addition to a uniaxial bending moment about the weak axis, part of the bracing system and therefore loaded with horizontal forces in direction of the strong axis, bending moments about two axes arise. Although unreinforced compression members made of concrete and masonry can resist considerable bending moments, an adequate calculation method for the determination of the load-carrying capacity in case of biaxial bending does not exist.

In order to use the existing load-carrying capabilities of unreinforced concrete and masonry compression members with a rectangular cross-section, a non-linear calculation model is developed for the realistic derivation of the load-carrying capacity and transferred into a design method for practical application. The model is based on systematic analyses of the load carrying capacity of the cross-section, the curvature and the load-carrying capacity of the system. Herein, different material behaviours are taken into account as well as the effects of second order theory for slender compression members.

INHALTSVERZEICHNIS

Formelzeichen und Variablen	V
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung.....	3
1.3 Vorgehensweise.....	3
2 Werkstoffverhalten von Beton und Mauerwerk	5
2.1 Einführung.....	5
2.2 Beton.....	6
2.2.1 Grundlagen.....	6
2.2.2 Ausgangsstoffe – Zement, Gesteinskörnung, Betonzusatzmittel und -stoffe...6	
2.2.3 Tragverhalten unter einachsialer Druckbeanspruchung.....	7
2.2.4 Tragverhalten unter Zug- und Biegezugbeanspruchung.....	11
2.3 Mauerwerk.....	13
2.3.1 Grundlagen.....	13
2.3.2 Ausgangsstoffe – Mauersteine und Mauermörtel.....	13
2.3.3 Tragverhalten unter einachsialer Druckbeanspruchung.....	16
2.3.4 Tragverhalten unter Zug- und Biegezugbeanspruchung senkrecht zur Lagerfuge.....	20
2.4 Modellierung der einachsialen Spannungs-Dehnungs-Beziehung.....	23
2.4.1 Grundlagen.....	23
2.4.2 Normierte einachsiale Spannungs-Dehnungs-Beziehung.....	23
2.4.3 Vorgeschlagener Ansatz der Werkstoffkennwerte.....	25
2.5 Zusammenfassung.....	28
3 Analyse ausgewählter Berechnungs- und Bemessungsverfahren	29
3.1 Einführung.....	29
3.2 Historische Entwicklung.....	32
3.2.1 Querschnittstragfähigkeit.....	32
3.2.2 Systemtragfähigkeit.....	35

3.3	Analyse ausgewählter Berechnungsverfahren	38
3.3.1	Grundlagen	38
3.3.2	Berechnungsverfahren für Druckglieder bei einachsiger Biegebeanspruchung	39
3.3.3	Berechnungsverfahren für Druckglieder bei zweiachsiger Biegebeanspruchung	47
3.3.4	Vergleich der Berechnungsverfahren für Druckglieder bei zweiachsiger Biegebeanspruchung	57
3.4	Normative Bemessungsverfahren	59
3.4.1	Grundlagen	59
3.4.2	Druckglieder aus Beton	59
3.4.3	Druckglieder aus Mauerwerk	64
3.4.4	Vergleich normativer Bemessungsverfahren für Druckglieder bei zweiachsiger Biegebeanspruchung	72
3.5	Zusammenfassung	73
4	Nichtlineares Berechnungsmodell.....	75
4.1	Einführung	75
4.2	Querschnittstragfähigkeit.....	77
4.2.1	Grundlagen	77
4.2.2	Linear-elastisches Werkstoffverhalten	79
4.2.3	Starr-plastisches Werkstoffverhalten.....	95
4.2.4	Nichtlineares Werkstoffverhalten.....	103
4.3	Querschnittskrümmung	107
4.3.1	Grundlagen	107
4.3.2	Linear-elastisches Werkstoffverhalten	109
4.3.3	Nichtlineares Werkstoffverhalten.....	119
4.4	Systemtragfähigkeit	121
4.4.1	Grundlagen	121
4.4.2	Linear-elastisches Werkstoffverhalten	125
4.4.3	Nichtlineares Werkstoffverhalten.....	154
4.4.4	Weitere mögliche Versagensmodi.....	160
4.5	Experimentelle Verifizierung	165
4.5.1	Grundlagen	165
4.5.2	Querschnittstragfähigkeit.....	165
4.5.3	Systemtragfähigkeit	172
4.6	Zusammenfassung	177

5	Nichtlineares Bemessungsverfahren.....	179
5.1	Einführung.....	179
5.2	Vorschlag eines nichtlinearen Bemessungsverfahrens.....	181
5.2.1	Grundlagen.....	181
5.2.2	Approximation der Systemtragfähigkeit.....	184
5.2.3	Verifizierung der Approximation der Systemtragfähigkeit.....	187
5.2.4	Modellbildung bei unterschiedlichen Exzentrizitäten an Kopf und Fuß.....	193
5.3	Berücksichtigung des semiprobabilistischen Teilsicherheitskonzepts.....	196
5.3.1	Grundlagen.....	196
5.3.2	Bemessungswerte der Druckfestigkeit.....	196
5.3.3	Modifizierung des γ_R -Verfahrens.....	197
5.3.4	Überprüfung der normenkonformen Bemessung mit dem modifizierten γ_R -Verfahren.....	202
5.4	Nichtlineare Bemessung auf Basis normativer Verfahren.....	206
5.4.1	Grundlagen.....	206
5.4.2	Druckglieder aus Beton.....	207
5.4.3	Druckglieder aus Mauerwerk.....	210
5.5	Vorschlag zur direkten Ermittlung der Systemtragfähigkeit.....	215
5.6	Zusammenfassung.....	217
6	Resümee und Ausblick.....	219
6.1	Resümee.....	219
6.2	Ausblick.....	222
7	Literaturverzeichnis.....	223