

Rotationskapazität von biegebeanspruchten Stahlbetonbauteilen mit Schubrissbildung

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

DISSERTATION

vorgelegt von
MEng. Duy Tien Nguyen
aus Hanoi / Vietnam

D 17

Darmstadt 2004

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Anschrift:

Technische Universität Darmstadt
Institut für Massivbau
Petersenstrasse 12
64287 Darmstadt
<http://www.massivbau.tu-darmstadt.de>

Nguyen, Duy Tien:
Rotationskapazität von biegebeanspruchten
Stahlbetonbauteilen mit Schubrissbildung

1. Auflage Darmstadt, Eigenverlag, Heft 7

ISBN 3-9808875-5-3

Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD)

Dr. -Ing. Duy Tien Nguyen

Geboren 1974 in Hanoi/Vietnam. Von 1991 bis 1996 Studium des Bauingenieurwesens an der Hochschule für Verkehrswesen Hanoi (UTC). 1993 und 1994 Preise beim nationalen Wettbewerb in Technische Mechanik und Statik. Seit 1996 Dozent an der Hochschule für Verkehrswesen Hanoi und freier Mitarbeiter in Highway Engineering Consultants (HECO) - Transport Engineering Design Incorporation (TEDI) Hanoi. Von 1998 bis 2000 Masterstudiengang in Bauingenieurwesen an der Hochschule für Verkehrswesen Hanoi. Von 2000 bis 2004 DAAD-Stipendiat zur Promotion in Deutschland. Von 2001 bis 2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt (TUD).

Rotation Capacity of Reinforced Concrete Members under Bending and Shear Cracking

Department of Civil Engineering and Geodesy
Darmstadt University of Technology

DISSERTATION

MEng. Duy Tien Nguyen
from Hanoi / Vietnam

D 17

Darmstadt 2004

Editor:

Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Address:

Darmstadt University of Technology
Institute for Concrete Structures, Building Materials and Masonry
Petersenstrasse 12
64287 Darmstadt
<http://www.massivbau.tu-darmstadt.de>

Nguyen, Duy Tien:

Rotation Capacity of Reinforced Concrete Members
under Bending and Shear Cracking

1. Edition Darmstadt, Own Publishing House, Band 7

ISBN 3-9808875-5-3

Printed with support by the German Academic Exchange Service (DAAD)

Dr. -Ing. Duy Tien Nguyen

born in 1974 in Hanoi/Vietnam. From 1991 to 1996 studying Civil Engineering at the University of Transport and Communications Hanoi (UTC). 1993 and 1994 Prizes in the National Competitions in Theoretical Mechanics and Structural Analysis. Since 1996 University Lecturer at the University of Transport and Communications Hanoi and Collaborator in Highway Engineering Consultants (HECO) - Transport Engineering Design Incorporation (TEDI) Hanoi. From 1998 to 2000 Master Course in Civil Engineering at the University of Transport and Communications Hanoi. From 2000 to 2004 DAAD-Scholarship Holder for Doctoral Research in Germany. From 2001 to 2004 Scientific Assistant of Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner at the Institute for Concrete Structures, Building Materials and Masonry, Darmstadt University of Technology (TUD).

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 2002 bis 2004 während meiner Zeit als Stipendiat des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner danke ich sehr herzlich für das mir entgegengebrachte Vertrauen, für die vielfältigen Anregungen und Unterstützungen über vielen Jahren. Seine stete Bereitschaft zur Diskussion mit einem offenen und kritisch-konstruktiven Verhältnis war mir eine sehr wertvolle Hilfe.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Nguyen Viet Tue danke ich ganz besonders für seine stete Diskussionsbereitschaft und für die Übernahme des Korreferates.

Meinen Kollegen bin ich für das Korrekturlesen des Manuskripts und das freundschaftliche Verhältnis sehr dankbar, das meine Tätigkeit am Institut für Massivbau zu einer unvergesslichen Zeit werden ließ. Herrn Dr.-Ing. Michael Six danke ich herzlich für die fachliche Unterstützung in Anfangszeiten im Institut. Für die vielfältigen Unterstützungen während meiner Zeit im Institut gilt hier mein besonderer Dank Frau Sylvia Steinmetz, Herrn Dr.-Ing. Holger Schmidt, Herrn Dr.-Ing. Andreas Bachmann, Herrn Dipl.-Ing. Christian Glock und Herrn Dipl.-Ing. Tilo Proske.

Dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) danke ich für die finanzielle Unterstützung während meines Aufenthalts in Deutschland und bei der Veröffentlichung dieser Arbeit.

Meinen Eltern und meinen Freunden in Deutschland bin ich sehr dankbar für die Anregungen und Unterstützungen während meines Aufenthalts in Deutschland.

Meiner lieben Frau Cam Tu sowie meinen Kindern Cam Ha und Duy Khoi danke ich ganz besonders herzlich für ihr Verständnis und ihre Geduld, wodurch sie mir die Anfertigung der vorliegenden Arbeit ermöglichten.

Duy Tien Nguyen

Referent:	Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. habil. Nguyen Viet Tue
Tag der Einreichung:	29. Juni 2004
Tag der mündlichen Prüfung:	01. Oktober 2004

Summary

The plastic rotation capacity of a reinforced concrete member is a decisive influence factor for the redistribution of internal forces in statically indeterminate reinforced concrete beams. The value of the plastic rotation is dependent on many influence factors such as material properties, cross section and system geometry. The formation of shear cracks in the member results in a higher plastic rotation due to the truss action. The influence of shear cracking on the plastic rotation occurs mostly in discontinuity regions, in which a multiaxial state of stress dominates and as a rule it is considered through a shifting of the tensile force. In case of earlier failure due to shear the plastic rotation decreases.

According to Eurocode 2, Appendix 2 the allowable plastic rotation of a reinforced concrete hinge is given only depending on the ductility class of the steel and the neutral axis depth factor at ultimate state x_d/d . Other influences like the concrete ultimate compressive strain or the shear slenderness are not taken into account. According to Model Code 90 as well as to DIN 1045-1 the influence due to shear cracking on the plastic rotation is partly considered. The influence of the stirrup ratio on the plastic rotation is not provided.

In this dissertation a new approach based on the truss analogy for the determination of plastic rotation of reinforced concrete members under bending and shear cracking in case of concrete failure in the compression zone is developed. The plastic rotation due to bending and shear cracking is determined through the deformation of individual components of the strut-and-tie model. The material models for concrete and steel are modified in a way that through the deformation of the truss components the influences of cracking and multiaxial state of stress on the deformation of the structural member are covered. Therefore a new simplified material model for concrete is proposed, which considers the confining effects of hoops depending on the concrete grade and the stirrup ratio and is based on the relative flexural capacity of the compression zone. A material model for the stirrups is set up taking into account the tension stiffening effect between diagonal cracks. For this purpose a new proposal for the average spacing of diagonal cracks at stabilized crack pattern is developed, which shows a good agreement with the test results. The influences of the state of deformation in the concrete web on the deformation of the structural member are considered through different reduction factors for the effective strength of the concrete struts. The verification of the model shows a good agreement of

the calculation with the test results, especially for members with sufficient reinforcement and stirrup ratios.

The parameter study with the developed model has shown, that in case of concrete failure the reinforcement ratio and the concrete ultimate compressive strain are the main influences on the plastic rotation of the reinforced concrete hinge. The influence of shear cracking on the plastic rotation is apparently greater for members of smaller shear slenderness. The steel properties have thereby less effect on the plastic deformation than in case of steel failure, where the tension stiffening effect plays an important role to the deformation of the structural member. According to this study the portion due to deformation of the stirrups and concrete struts can be neglected. The stirrup ratio has however an apparent effect on the concrete ultimate compressive strain and therefore on the portion due to bending as well as on the total plastic rotation, especially for members with small reinforcement ratio. The influence of the width of the loading plate is also of importance.

Based on the results of the parameter study a proposal for the determination of the plastic rotation capacity of reinforced concrete members in case of concrete failure with the influence of shear cracking taken into account is made, in which influences of the main parameters (material properties, cross section and system geometry) are regarded. The influence of the shear slenderness on the portion due to bending and shear cracking is covered separately. Influences of the confining effect of hoops and of the tension stiffening effect as well as of the width of the loading plate are also considered. The allowable plastic rotation capacity is given for different neutral axis depth factor x/d . A comparison with other proposals has shown, that the stirrup ratio according to the proposal has an apparent effect on the plastic rotation. The influence of stirrups on the ductility of reinforced concrete members is of significant importance and therefore should be covered in the standards. Further researches on the influence of the scale effect and for smaller shear slenderness are necessary in order to take into account the effect of tied-arch behaviour under shear force on the rotation of structural members.

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Zeichen und Abkürzungen.....	1
1 Einleitung.....	9
1.1 Problemstellung	9
1.2 Zielsetzung	11
1.3 Vorgehensweise	12
2 Stand der Technik.....	15
2.1 Materialmodelle für Beton	15
2.1.1 Modelle für Beton unter einachsiger Druckbeanspruchung.....	15
2.1.2 Modelle für Beton unter einachsiger Zugbeanspruchung	19
2.1.3 Modelle für Beton unter mehrachsiger Beanspruchung.....	20
2.1.4 Modelle für Beton mit Umschließungseffekt der Bügelbewehrung	21
2.1.5 Modelle für Beton unter Druckbeanspruchung und gleichzeitig wirkender Querkzugbeanspruchung der Bewehrung	29
2.2 Materialmodelle für Stahl	35
2.2.1 Modelle für Stahl unter Zug- und Druckbeanspruchung	35
2.2.2 Modelle für Stahl mit Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen (Zugversteifungseffekt)	38
2.3 Ansätze zur Ermittlung der Schrägrissabstände.....	44
2.4 Modelle zur Beschreibung des Tragverhaltens von Stahlbetonbauteilen unter Biegung mit Querkraft	46
2.4.1 Allgemeines.....	46
2.4.2 Klassisches Fachwerkmodell	46
2.4.3 Erweitertes Fachwerkmodell.....	47
2.4.4 Fachwerkmodell mit Reibungsanteil.....	48
2.4.5 Modell auf Grundlage der Plastizitätstheorie.....	49
2.4.6 FE-Modelle.....	50

2.5	Modelle zur Ermittlung der plastischen Rotation	52
2.5.1	Allgemeines.....	52
2.5.2	Plastische Rotation infolge Biegung	53
2.5.3	Plastische Rotation infolge Biegung mit Schubrissbildung	60
2.6	Ansätze zur Ermittlung der plastischen Rotationskapazität.....	66
2.6.1	Beschreibung der Ansätze.....	66
2.6.2	Vergleich der Ansätze hinsichtlich des Einflusses der Schubschlankheit ...	70
3	Ein Modell zur Ermittlung der plastischen Rotation von Stahlbetonbauteilen infolge Biegung mit Schubrissbildung.....	73
3.1	Vorbemerkung.....	73
3.2	Modellierung der Materialeigenschaften	73
3.2.1	Allgemeines.....	73
3.2.2	Vorschlag für ein Werkstoffgesetz von Beton in der Biegedruckzone mit Umschließungseffekt der Bügelbewehrung.....	74
3.2.3	Vorschlag zur Ermittlung der mittleren Schrägrissabstände.....	78
3.2.4	Tragwirkung der Bügelbewehrung unter Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Schrägrissen.....	80
3.3	Modellierung des Tragverhaltens.....	83
3.3.1	Überblick.....	83
3.3.2	Modellierung des Zuggurtes.....	85
3.3.3	Modellierung des Druckgurtes	85
3.3.4	Modellierung der Zugstreben	87
3.3.5	Modellierung der Druckstreben	87
3.4	Ermittlung der Rotationsanteile	88
3.5	Verifikation des entwickelten Modells	89
3.5.1	Allgemeines.....	89
3.5.2	Versuche von De Cossio	90
3.5.3	Versuche von Sampaio.....	91
3.5.4	Versuche von Eifler/ Plauk	91
3.5.5	Folgerungen aus der Verifikation des Modells	93

4	Parameterstudie der maßgebenden Einflussgrößen.....	95
4.1	Eingangswerte für die Parameterstudie.....	95
4.2	Einfluss des Bewehrungsgrades.....	96
4.3	Einfluss der Schubslankheit.....	98
4.4	Einfluss der Stahleigenschaften.....	100
4.5	Einfluss der Betonbruchstauchung.....	101
4.6	Einfluss des Bügelbewehrungsgrades.....	102
4.7	Einfluss der Lastplattenbreite.....	104
4.8	Einfluss des Verformungszustands der Betonstege.....	105
5	Näherungsansatz zur Ermittlung der plastischen Rotationskapazität von Stahlbetonbauteilen.....	107
5.1	Näherungsansatz mit Berücksichtigung des Einflusses der Schubrissbildung auf die plastische Rotationskapazität.....	107
5.2	Vergleich mit anderen Ansätzen.....	110
6	Zusammenfassung.....	113
7	Literaturverzeichnis.....	117

Dissertationsreihe