

Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau

Herausgeber:
Geschäftsführender Direktor des
Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau
Ruhr-Universität Bochum

Heft 2009-2

Judith Beier-Tertel

**Geometrische Ersatzimperfectionen für
Tragfähigkeitsnachweise zum Biegedrillknicken
von Trägern aus Walzprofilen**

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Bochum, Univ., Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8125-0

ISSN 1614-4384

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 2003 bis 2008 während meiner Tätigkeit als Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum. Sie wurde von der Fakultät für Bau- und Umwelt-Ingenieurwissenschaften als Dissertation angenommen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. R. Kindmann für die Betreuung und Unterstützung während der Entstehung dieser Arbeit sowie die Übernahme des Referates.

Herrn Professor Dr.-Ing. D. Ungermann danke ich sehr herzlich für die Übernahme des Koreferates.

Weiterhin gilt mein Dank allen meinen Kollegen, die durch ihre Diskussionsbereitschaft zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben.

Schließlich danke ich meiner Familie und insbesondere meinem Mann Simon für ihre verständnisvolle Unterstützung während der Erstellung dieser Arbeit.

Dezember 2008

Judith Beier-Tertel

Doktorarbeit eingereicht am: 19. Mai 2008

Tag der mündlichen Prüfung: 26. November 2008

Berichter:

Prof. Dr.-Ing. R. Kindmann, Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr.-Ing. D. Ungermann, Technische Universität Dortmund

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einführung | 1 |
| 1.1 | Problemstellung und Zielsetzung | 1 |
| 1.2 | Stand der Forschung | 6 |
| 1.3 | Bezeichnungen | 8 |
| 1.4 | Grundlegende Beziehungen, Annahmen und Voraussetzungen | 11 |
| 2 | Nachweisverfahren für biegedrillknickgefährdete Stäbe | 14 |
| 2.1 | Vorbemerkungen | 14 |
| 2.2 | Nachweis mit Abminderungsfaktoren nach DIN 18800-2 | 16 |
| 2.3 | Nachweis mit Abminderungsfaktoren nach DIN EN 1993-1-1 | 17 |
| 2.3.1 | χ_{LT} -Verfahren – Allgemeiner Fall | 18 |
| 2.3.2 | χ_{LT} -Verfahren – Gewalzte und gleichartige geschweißte Querschnitte | 18 |
| 2.3.3 | Vergleich der Nachweisverfahren mit Abminderungsfaktoren | 20 |
| 2.4 | Ersatzimperfektionsverfahren | 22 |
| 2.4.1 | Ansatz der geometrischen Ersatzimperfektionen | 23 |
| 2.4.2 | Begrenzung des plastischen Formbeiwertes α_{pl} | 25 |
| 2.4.3 | Näherungsverfahren nach Kindmann/Ding | 26 |
| 2.5 | Einfluss der Teilsicherheitsbeiwerte | 27 |
| 3 | Methoden zur Ermittlung der Grenztragfähigkeit | 31 |
| 3.1 | Vorbemerkungen | 31 |
| 3.2 | Versuche | 31 |
| 3.3 | Nichtlineare Berechnung nach der Fließzonentheorie | 34 |
| 3.3.1 | Materialgesetz | 35 |
| 3.3.2 | Vorverformungen | 36 |
| 3.3.3 | Fließgrenzenstreuungen | 37 |
| 3.3.4 | Eigenspannungen | 37 |
| 3.3.5 | Querschnittswerte | 42 |
| 3.3.6 | Physikalische und Geometrische Nichtlinearitäten | 48 |
| 3.3.7 | Iterationsverfahren zur Gleichgewichtsermittlung | 51 |
| 3.3.8 | Hinweise zu dem FEM-Programm ANSYS | 52 |
| 3.4 | Erfassung ausreichender Querschnittstragfähigkeit | 53 |
| 3.5 | Stabilitätsversagen | 56 |
| 4 | Tragverhalten und Versagenskriterien | 59 |
| 4.1 | Vorbemerkungen | 59 |
| 4.2 | Querschnittstragfähigkeit am Auflager | 59 |
| 4.3 | Versagen durch Erreichen der Querschnittstragfähigkeit in Feldmitte | 61 |
| 4.4 | Eigenwertversagen des teilplastizierten Systems | 63 |
| 4.5 | Begrenzung der Verdrehung | 65 |
| 4.6 | Begrenzung durch das Erreichen der Verzweigungslast | 66 |
| 4.7 | Zusammenfassung der Versagenskriterien | 71 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5 | Identifikation maßgebender Einflüsse und Parameter | 73 |
| 5.1 | Ziele und Vorgehensweise | 73 |
| 5.2 | Basisfälle | 74 |
| 5.3 | Einfluss der Stablänge und des bezogenen Schlankheitsgrades | 79 |
| 5.4 | Querschnittsgeometrie | 84 |
| 5.5 | Lastangriffspunkt | 88 |
| 5.6 | Momentenverlauf | 89 |
| 5.7 | Eigenspannungen | 91 |
| 5.8 | Trägerüberstände | 92 |
| 5.9 | Vorverformung | 93 |
| 5.10 | Stahlgüte | 94 |
| 5.11 | Zusammenfassende Beurteilung | 96 |
| 6 | Grenztragfähigkeit ausgewählter baustatischer Systeme | 98 |
| 6.1 | Vorbemerkungen | 98 |
| 6.2 | Berechnungsparameter und –annahmen | 98 |
| 6.3 | Rechnerische Abminderungsfaktoren | 101 |
| 6.4 | Einfluss der Querschnittsgeometrie | 105 |
| 6.5 | Einfluss der Tragfähigkeit infolge Querkraft | 107 |
| 6.6 | Einfluss von Eigenspannungen | 110 |
| 7 | Genauigkeit der Abminderungsfaktoren in den bautechnischen Regelwerken und Modifizierungen | 113 |
| 7.1 | Berechnungsergebnis Lastfall q_z | 113 |
| 7.2 | Berechnungsergebnisse Lastfall F_z | 119 |
| 7.3 | Zusammenfassende Beurteilung | 120 |
| 8 | Festlegung von geometrischen Ersatzimperfektionen für das Biegedrillknicken | 122 |
| 8.1 | Vorbemerkungen | 122 |
| 8.2 | Berechnungskriterien zur Ermittlung des j -Wertes | 122 |
| 8.3 | Bestimmung des Faktors j mit einem Näherungsverfahren | 126 |
| 8.4 | Exakte Ermittlung geometrischer Ersatzimperfektionen | 130 |
| 8.4.1 | Begrenzung des plastischen Formbeiwertes | 133 |
| 8.4.2 | Einfluss der Querschnittsgeometrie | 136 |
| 8.5 | Vorschlag neuer geometrischer Ersatzimperfektionen | 139 |
| 8.5.1 | Vorbemerkungen | 139 |
| 8.5.2 | Lastfall q_z | 140 |
| 8.5.3 | Lastfall F_z | 145 |
| 8.5.4 | Zusammenfassende Beurteilung | 148 |
| 9 | Stäbe mit planmäßiger Torsion | 149 |
| 9.1 | Vorbemerkungen | 149 |
| 9.2 | Tragverhalten von Stäben mit planmäßiger Torsion | 149 |
| 9.2.1 | Geometrische Ersatzimperfektionen | 153 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 9.3 | Geometrische Ersatzimperfectionen für Stäbe mit planmäßiger Torsion | 156 |
| 10 | Zusammenfassung | 160 |
| | Anhang | 164 |
| | Literatur | 171 |