



# **Tragverhalten von Stabanschlüssen und Fachwerkknoten mit ausgeschnittenen Knotenblechen**

Vorgelegte

**Dissertation**

zur

**Erlangung des Grades  
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)**

der

**Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften  
Ruhr-Universität Bochum**

von

**Dipl.-Ing. Jan Vette**  
geboren am 19.11.1977 in Nordhorn

Bochum, Mai 2011

Doktorarbeit eingereicht am: 30. November 2010  
Tag der mündlichen Prüfung: 23. Februar 2011

Berichter:

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

Prof. Dr.-Ing. habil. P. Mark, Ruhr-Universität Bochum

Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau

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

Heft 2012-1

**Jan Vette**

**Tragverhalten von Stabanschlüssen und Fachwerk-  
knoten mit ausgeschnittenen Anschlussblechen**

Shaker Verlag  
Aachen 2012

**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., 2011

Copyright Shaker Verlag 2012

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0739-8

ISSN 1614-4384

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 2006 bis 2010 während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum. Sie wurde von der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften als Dissertation angenommen.

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

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. P. Mark 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 für ihre verständnisvolle Unterstützung während der Erstellung dieser Arbeit.

Aktuelle Hinweise zur vorliegenden Arbeit werden unter [www.vette-ing.de](http://www.vette-ing.de) veröffentlicht.

Mai 2011

Jan Vette



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2	Stand der Forschung	6
1.3	Bezeichnungen	7
1.4	Annahmen und Berechnungsgrundlagen	8
1.4.1	Vorbemerkungen	8
1.4.2	Materialverhalten	8
1.4.3	Betrachtungsweisen und Beanspruchungen in Rechteckquerschnitten	10
1.4.4	Nachweis der Tragfähigkeit auf Grundlage der Elastizitätstheorie	11
1.4.5	Nachweis der Tragfähigkeit auf Grundlage der Plastizitätstheorie	14
1.4.6	Nachweis der Tragfähigkeit von Schweißnähten	17
1.4.7	Stabilitätsnachweise von Druckstäben mit veränderlichen Querschnitten	18
<b>2</b>	<b>Berechnungsmethoden im rechnerischen Grenzzustand der Tragfähigkeit</b>	<b>20</b>
2.1	Vorbemerkungen	20
2.2	Nachweismethoden nach dem Stand der Technik	20
2.2.1	Beanspruchungen unter ingenieurmäßiger Betrachtung	20
2.2.2	Berechnung der Querschnittstragfähigkeit in den maßgebenden Schnitten	22
2.3	Nachweismethoden nach dem Stand der Forschung	22
2.3.1	Vorbemerkungen	22
2.3.2	Nachweisverfahren nach <i>Adam / Zhang</i> , [2]	22
2.3.3	Nachweisverfahren nach <i>Suppes</i> , [82] und [54]	26
2.3.4	Nachweisverfahren nach <i>Klinkenberg, Peter und Saal</i> , [75]	31
2.3.5	Nachweisverfahren nach <i>Hertle</i> , [27]	32
2.3.6	Berechnungsmethode nach <i>Kindmann / Stracke</i> , [40]	35
<b>3</b>	<b>Untersuchungen mit der Finite Elemente Methode</b>	<b>37</b>
3.1	Vorbemerkungen	37
3.2	Verwendete Elemente und Hinweise zu den FEM-Berechnungen	38
3.2.1	Shalenelement SHELL181	38
3.2.2	Shalenelement SHELL281	39
3.2.3	Balkenelement BEAM188	39
3.2.4	Nichtlineares Berechnungsverfahren in ANSYS	40
3.3	Modellierung der Anschlüsse	40
3.4	Systemmodellierungen	44
3.4.1	Vorbemerkungen	44
3.4.2	Druckstab mit ausgeschnittenen Anschlussblechen	44
3.4.3	Fachwerk	45
3.4.4	Stabilitätsuntersuchungen	46
3.5	Auswertung der Berechnungen an Schnitten	47
3.6	Konvergenzverhalten und Stabilität der Berechnungen	49

<b>4</b>	<b>Beanspruchungen in Fachwerkdiagonalen</b>	<b>55</b>
4.1	Vorbemerkungen	55
4.2	Strebenbeanspruchungen eines beispielhaften Fachwerkträgers	56
<b>5</b>	<b>Tragverhalten von ausgeschnittenen Stabanschlüssen</b>	<b>61</b>
5.1	Vorbemerkungen	61
5.2	Untersuchung an rechteckigen Anschlussblechen unter reiner Zugbeanspruchung	62
5.2.1	Kraftfluss im Grenzzustand der Tragfähigkeit	62
5.2.2	Versagensmechanismen im Anschlussblech und zugehöriger Kraftfluss	69
5.2.3	Kraftfluss unterhalb des Ausschnitts im Anschlussblech	72
5.2.4	Tragfähigkeiten in Abhängigkeit der verschiedenen Parameter	75
5.3	Untersuchung an schräg abgeschnittenen Knotenblechen	80
5.3.1	Tragverhalten und Kraftfluss im Grenzzustand der Tragfähigkeit	80
5.3.2	Tragfähigkeiten in Abhängigkeit der verschiedenen Parametern	84
5.4	Untersuchungen an unsymmetrischen Knotenblechen	88
5.4.1	Vorbemerkungen	88
5.4.2	Tragverhalten eines Anschlusses mit einer schmalen und einer breiten Anschlussseite	89
5.4.3	Tragverhalten eines Anschlusses mit einer schmalen und einer breiten Anschlussseite und mit unterschiedlichen Anschlusslängen	92
5.4.4	Tragverhalten eines Anschlusses mit unterschiedlich breiten Anschlussseiten und unterschiedlichen Anschlusslängen	94
5.5	Kraftfluss infolge einer Biegebeanspruchung	98
5.6	Stabilität von auf Druck beanspruchten Stäben	104
5.6.1	Vorbemerkungen	104
5.6.2	Ermittlung von Verzweigungslasten mit der FEM	104
5.6.3	Einfluss der Anschlussblechgeometrie auf die Verzweigungslast $N_{Ki}$	107
5.6.4	Vergleich der Verzweigungslast mit reinen Stabwerksmodellen	113
5.7	Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den Untersuchungen	122
5.7.1	Vorbemerkungen	122
5.7.2	Erkenntnisse zu Zugstabanschlüssen mit rechteckigen Anschlussblechen	122
5.7.3	Erkenntnisse zu Zugstabanschlüssen mit schräg abgeschnittenen Anschlussblechen	125
5.7.4	Erkenntnisse zu Zugstabanschlüssen mit unsymmetrischen Anschlussblechen	126
5.7.5	Erkenntnisse zu Stabanschlüssen mit reiner Biegebeanspruchung	126
5.7.6	Erkenntnisse zur Stabilität von auf Druck beanspruchten Stäben mit schräg abgeschnittenen Anschlussblechen	127
<b>6</b>	<b>Tragverhalten von Fachwerkknoten mit ausgeschnittenen Knotenblechen</b>	<b>129</b>
6.1	Vorbemerkungen	129
6.2	Grenztragfähigkeiten von symmetrischen Fachwerkknoten	130
6.3	Kraftfluss in symmetrischen Fachwerkknoten	133
6.3.1	Vorbemerkungen	133



6.3.2	Kraftfluss im Knotenblech	133
6.3.3	Tragfähigkeit der Anschlussbereiche	146
6.3.4	Horizontales Schubversagen im Knotenblech	150
6.3.5	Erreichen der Querschnittstragfähigkeit im vertikalen Schnitt durch Knotenblech und Gurt	154
6.3.6	Zusammenstellung der Versagensmechanismen	155
6.4	Vergleich der Untersuchungen mit Versuchsergebnissen aus [82]	157
6.5	Stabilität von auf Druck beanspruchten Fachwerkstreben	161
6.5.1	Ermittlung von Verzweigungslasten mit der FEM	161
6.5.2	Untersuchung des Einflusses der Knotenblechgeometrie auf die Verzweigungslast $N_{Ki}$	163
<b>7</b>	<b>Berechnungsmodell für Stabanschlüsse</b>	<b>171</b>
7.1	Vorbemerkungen	171
7.2	Berechnung der Schnittgrößen im Anschlussbereich nach der Elastizitätstheorie	172
7.3	Berechnung der Schnittgrößen im Anschlussbereich nach der Plastizitätstheorie	173
7.3.1	Vereinfachte Annahme des Kraftflusses	173
7.3.2	Plastischer Kraftfluss in rechteckigen Anschlussblechen	173
7.3.3	Plastischer Kraftfluss in schräg abgeschnittenen Anschlussblechen	175
7.4	Bestimmung der Tragfähigkeit im Anschlussbereich	177
7.4.1	Maßgebender Versagensfall	177
7.4.2	Tragfähigkeit im Versagensfall 1	178
7.4.3	Tragfähigkeit im Versagensfall 2	180
7.4.4	Tragfähigkeit im Versagensfall 3	184
7.4.5	Tragfähigkeit im Versagensfall 4	185
7.4.6	Tragfähigkeit im Versagensfall 5	188
7.4.7	Tragfähigkeit der Schweißnaht zwischen Zugstab und Anschlussblech (Versagensfall 6)	188
7.4.8	Tragfähigkeit der Schweißnaht zwischen Anschlussblech und Querträger (Versagensfall 7)	190
7.5	Tragfähigkeitsnachweis für unsymmetrische Zugstabanschlüsse	191
7.6	Tragfähigkeitsnachweis für Stabanschlüsse mit Biegebeanspruchung	192
7.7	Tragfähigkeitsnachweis des Anschlusses von auf Druck beanspruchten Stäben	193
7.8	Bemessungsmethode für Stabanschlüsse mit beliebiger Beanspruchung	196
7.9	Empfehlung für Konstruktion und Bemessung von Zugstabanschlüssen	197
<b>8</b>	<b>Bemessungsmodell für Fachwerkknoten mit ausgeschnittenen Knotenblechen</b>	<b>199</b>
8.1	Vorbemerkungen	199
8.2	Kraftfluss und Tragfähigkeit der seitlichen Anschlusslaschen (Versagensfall A)	201
8.2.1	Kraftfluss in den seitlichen Anschlusslaschen	201
8.2.2	Tragfähigkeit der seitlichen Anschlusslaschen	202

---

8.3	Tragfähigkeit des Knotenblechs im horizontalen Schnitt (Versagensfall B)	203
8.4	Tragfähigkeit des Fachwerkknotens im vertikalen Schnitt (Versagensfall C)	206
8.5	Tragfähigkeit des Gurtstabstegblechs (Versagensfall D)	209
8.6	Erreichen der Querschnittstragfähigkeit in den einzelnen Stabquerschnitten (Versagensfall E)	211
8.7	Schweißnahtverbindung des Knotenblechs an die Diagonalen (Versagensfall F)	211
8.8	Schweißnahtverbindung des Knotenblechs an den Gurtstab (Versagensfall G)	212
8.9	Konstruktionsempfehlungen für Fachwerkknoten mit Druckstabanschlüssen	213
8.10	Statistische Bewertung des Modells mit den Versuchsergebnissen	215
8.11	Konstruktionsempfehlungen und Erweiterungsmöglichkeiten	215
<b>9</b>	<b>Berechnungsbeispiele</b>	<b>218</b>
9.1	Vorbemerkungen	218
9.2	Anschluss eines Stabanschlusses an einen Querträger	218
9.3	Fachwerkknoten	223
9.4	Vergleich und Bewertung der verschiedenen Bemessungsmodelle	231
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>235</b>
<b>Literatur</b>		<b>239</b>