

# 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 Querschnitttragfähigkeit 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</i> und <i>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    | Schalenelement SHELL181                                                    | 38        |
| 3.2.2    | Schalenelement 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        |

|          |                                                                                          |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.1      | Problemstellung und Zielsetzung                                                          | III        |
| 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<br>(Versagensfall B)                     | 203        |
| 8.4       | Tragfähigkeit des Fachwerkknotens im vertikalen Schnitt<br>(Versagensfall C)                    | 206        |
| 8.5       | Tragfähigkeit des Gurtstabstegblechs (Versagensfall D)                                          | 209        |
| 8.6       | Erreichen der Querschnittstragfähigkeit in den einzelnen<br>Stabquerschnitten (Versagensfall E) | 211        |
| 8.7       | Schweißnahtverbindung des Knotenblechs an die Diagonalen<br>(Versagensfall F)                   | 211        |
| 8.8       | Schweißnahtverbindung des Knotenblechs an den Gurtstab<br>(Versagensfall G)                     | 212        |
| 8.9       | Konstruktionsempfehlungen für Fachwerkknoten mit<br>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> |