

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| Einheiten, Abkürzungen und Symbole.....                                      | iv        |
| Abbildungsverzeichnis.....   | ix        |
| Tabellenverzeichnis.....   | xvi       |
| <b>KAPITEL 1      Veranlassung und Zielsetzung.....</b>                      | <b>1</b>  |
| 1.1    Veranlassung zur Arbeit .....   | 2         |
| 1.2    Zielsetzung der Arbeit .....  | 5         |
| 1.3    Zusammenfassung und Fazit zu Kapitel 1 .....                          | 8         |
| <b>KAPITEL 2      Stand der Technik und Forschung .....</b>                  | <b>9</b>  |
| 2.1    Durchstanzversagen von Flachdecken.....                               | 10        |
| 2.2    Durchstanzen im normativen Kontext.....                               | 12        |
| 2.2.1    Geometrische Einflussfaktoren auf die Durchstanztragfähigkeit.....  | 14        |
| 2.2.2    Physikalische Einflussfaktoren auf die Durchstanztragfähigkeit..... | 15        |
| 2.3    Durchstanzmodelle - Theoretische Ansätze aus der Literatur .....      | 17        |
| 2.3.1    Plattensegment-Modelle .....  | 18        |
| 2.3.2    Plastizitätstheorie-Modelle .....                                   | 22        |
| 2.3.3    Fachwerk analogie-Modelle.....                                      | 25        |
| 2.3.4    Lokale Verbundversagens-Modelle .....                               | 28        |
| 2.3.5    Bruchmechanik-Modelle.....  | 29        |
| 2.4    Durchstanzbewehrung durch Doppelkopfbolzen.....                       | 32        |
| 2.5    Untersuchungen zu lochrandgestützten Flachdecken .....                | 39        |
| 2.6    Zusammenfassung und Fazit zu Kapitel 2 .....                          | 48        |
| <b>KAPITEL 3      Verbundverhalten und Verankerung .....</b>                 | <b>49</b> |
| 3.1    Rechnerische Ansätze für den idealisierten Verbund .....              | 50        |
| 3.2    Verbund zwischen Stahl und Beton.....                                 | 51        |
| 3.3    Verbundwirkung und Bruchmechanik.....                                 | 53        |
| 3.4    Verankerung über Kopfbolzen .....                                     | 56        |
| 3.4.1    Verankerungsqualität .....  | 58        |
| 3.4.2    Einfluss von Rissen auf die Verankerung .....                       | 60        |
| 3.5    Eigene Auszugsversuche (Pull-out-Versuche) .....                      | 62        |
| 3.5.1    Versuchsaufbau.....   | 62        |
| 3.5.2    Versuchsreihe und Ergebnisse .....                                  | 66        |
| 3.6    Zusammenfassung und Fazit zu Kapitel 3 .....                          | 77        |

|                  |   |            |
|------------------|---|------------|
| <b>KAPITEL 4</b> | <b>Durchstanzversuche im Hinblick auf Lochrandstützungen.....</b>               | <b>79</b>  |
| 4.1              | Versuchsserie und Zielsetzung .....   | 80         |
| 4.2              | Konzeption und Aufbau des Versuchsstands.....                                   | 82         |
| 4.2.1            | Materialien und Herstellung .....   | 82         |
| 4.2.2            | Bewehrung der Versuchsplatten .....   | 84         |
| 4.3              | Durchführung der Bauteilversuche.....   | 85         |
| 4.4              | Ergebnisse der Bauteilversuche.....   | 90         |
| 4.4.1            | Versagensarten und Versagensformen in den Bauteilversuchen .....                | 90         |
| 4.4.2            | Betondehnungen am Stützenanschnitt an der Plattenunterseite .....               | 91         |
| 4.4.3            | Last-Verschiebungs-Verhalten.....   | 95         |
| 4.4.4            | Plattenverdrehung .....   | 97         |
| 4.4.5            | Dehnungen in der Biegezugbewehrung .....  | 101        |
| 4.4.6            | Rissentwicklung auf Plattenoberseite .....                                      | 102        |
| 4.4.7            | Risse im Querschnitt und Versagen im Lasteinleitungsbereich.....                | 105        |
| 4.5              | Vergleich von Vollplatte und lochrandgestützter Platte .....                    | 107        |
| 4.5.1            | Betondehnungen an der Plattenunterseite .....                                   | 107        |
| 4.5.2            | Schubrissbildung und Stützeneinsenkung   Platten ohne Durchstanzbewehrung ..... | 108        |
| 4.6              | Lochrandgestützte Platte mit Durchstanzbewehrung.....                           | 109        |
| 4.6.1            | Schubrissbildung und Stützeneinsenkung   Platte mit Durchstanzbewehrung .....   | 109        |
| 4.6.2            | Aktivierung der Durchstanzbewehrung .....                                       | 110        |
| 4.7              | Zusammenfassung und Fazit zu Kapitel 4.....                                     | 113        |
| <b>KAPITEL 5</b> | <b>Begleitende FEM-Untersuchungen.....</b>                                      | <b>115</b> |
| 5.1              | Vorgehen und Zielsetzung für die FEM-Simulationen.....                          | 116        |
| 5.2              | Erstellung der FEM-Modelle.....   | 117        |
| 5.2.1            | Modellierung auf Elementebene (geometrische Modellierung).....                  | 117        |
| 5.2.2            | Modellierung auf Materialebene (physikalische Modellierung).....                | 120        |
| 5.2.3            | Lösungsverfahren.....   | 122        |
| 5.3              | FEM-Simulationen zu den durchgeführten Pull-out-Versuchen .....                 | 124        |
| 5.3.1            | FEM-Modellierung der Pull-out-Versuche .....                                    | 124        |
| 5.3.2            | Nachrechnung der eigenen Pull-out-Versuche.....                                 | 125        |
| 5.3.3            | Vorgehen zur Implementierung des Verbundverhaltens.....                         | 129        |
| 5.4              | FEM-Simulationen zu den durchgeführten Durchstanzversuchen .....                | 130        |
| 5.4.1            | FEM-Modellierung der Durchstanzversuche .....                                   | 130        |
| 5.4.2            | Validierung des FEM-Modells anhand der eigenen Durchstanzversuche .....         | 132        |
| 5.5              | Zusammenfassung und Fazit zu Kapitel 5 .....                                    | 144        |

|                                   |   |            |
|-----------------------------------|---|------------|
| <b>KAPITEL 6</b>                  | <b>Bemessungsansätze durch weiterführende FEM-Untersuchungen.....</b>   | <b>145</b> |
| 6.1                               | Einordnung der eigenen Versuchsergebnisse .....                         | 146        |
| 6.2                               | Grundlage für experimentell ermittelte Bemessungsbeiwerte .....         | 150        |
| 6.3                               | FEM-Simulationen zur Tragfähigkeit von lochrandgestützten Platten.....  | 153        |
| 6.3.1                             | Tragfähigkeit bei ausgelagerter Bewehrung und Lochrandstützungen.....   | 155        |
| 6.3.2                             | Untersuchungen zur Auswirkung der Lochgröße .....                       | 164        |
| 6.4                               | Bemessungsansätze für lochrandgestützte Platten.....                    | 166        |
| 6.4.1                             | Berücksichtigung der Lochrandstützung im Nachweis nach CSCT .....       | 166        |
| 6.4.2                             | Berücksichtigung der Lochrandstützung im Nachweis nach Eurocode 2 ..... | 172        |
| 6.5                               | Durchstanzbewehrung in lochrandgestützten Platten .....                 | 178        |
| 6.6                               | Verstärkung der Druckzone.....  | 181        |
| 6.7                               | Zusammenfassung und Fazit zu Kapitel 6 .....                            | 183        |
| <b>KAPITEL 7</b>                  | <b>Gesamtfazit und Ausblick .....</b>                                   | <b>185</b> |
| 7.1                               | Gesamtfazit.....  | 186        |
| 7.2                               | Ausblick.....   | 189        |
| <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b> |   | <b>192</b> |
| <b>ANHANG</b>                     |   |            |
| Anhang A                          | Schematischer Ablauf von Durchstanznachweisen.....                      | A.1        |
| Anhang B                          | Aufbau des Versuchsstands.....  | B.1        |
| Anhang C                          | Versuchsprotokolle zu den Durchstanzversuchen.....                      | C.1        |