

Inhaltsverzeichnis

Einheiten, Abkürzungen und Symbole..... iv

Abbildungsverzeichnis ix

Tabellenverzeichnis..... xvi

KAPITEL 1 Veranlassung und Zielsetzung..... 1

 1.1 Veranlassung zur Arbeit 2

 1.2 Zielsetzung der Arbeit 5

 1.3 Zusammenfassung und Fazit zu Kapitel 1 8

KAPITEL 2 Stand der Technik und Forschung 9

 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 Fachwerkanalogie-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

KAPITEL 3 Verbundverhalten und Verankerung..... 49

 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

KAPITEL 4 Durchstanzversuche im Hinblick auf Lochrandstützungen..... 79

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 Stützeineinsenkung | Platten ohne Durchstanzbewehrung 108

4.6 Lochrandgestützte Platte mit Durchstanzbewehrung..... 109

 4.6.1 Schubrissbildung und Stützeineinsenkung | Platte mit Durchstanzbewehrung..... 109

 4.6.2 Aktivierung der Durchstanzbewehrung 110

4.7 Zusammenfassung und Fazit zu Kapitel 4..... 113

KAPITEL 5 Begleitende FEM-Untersuchungen..... 115

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

KAPITEL 6 Bemessungsansätze durch weiterführende FEM-Untersuchungen..... 145

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

KAPITEL 7 Gesamtfazit und Ausblick 185

7.1 Gesamtfazit..... 186

7.2 Ausblick..... 189

LITERATURVERZEICHNIS 192

ANHANG

Anhang A Schematischer Ablauf von Durchstanznachweisen..... A.1

Anhang B Aufbau des Versuchsstands..... B.1

Anhang C Versuchsprotokolle zu den Durchstanzversuchen..... C.1