Zur Durchstanztragfähigkeit lochrandgestützter Platten mit kleiner Lasteinleitungsfläche

Torsten Welsch

| Fraunhofer IRB Verlag

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2013, ISBN 978-3-8167-9002-0

Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Postfach 80 04 69 70504 Stuttgart

Nobelstraße 12 70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00 Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Zur Durchstanztragfähigkeit lochrandgestützter Platten mit kleiner Lasteinleitungsfläche

Vom Fachbereich D (Abteilung Bauingenieurwesen) der Bergischen Universität Wuppertal angenommene

Dissertation

zur

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

von

Torsten Welsch

aus Hennef

Wuppertal, April 2013

Kurzfassung

Punktgestützte Stahlbetonflachdecken haben sich aufgrund zahlreicher wirtschaftlicher, konstruktiver und architektonischer Vorzüge als fester Bestandteil des Hochbaus etabliert. In jüngerer Zeit werden neben konventionellen Stahlbetonstützen auch besonders tragfähige Verbundund Schleuderbetonstützen sowie Stützen aus hochfestem Beton als Auflagerelemente eingesetzt. Für diese Konstruktionsarten wurden Knotendetails entwickelt, bei denen die Lastdurchleitung durch den Stützen-Decken-Knoten über im Querschnitt reduzierte, hochfeste Kerne erfolgt, die die Decke durchdringen. Für die Einleitung der Deckenlast in die Stütze steht hier nicht der gesamte Stützenquerschnitt zur Verfügung, sondern nur eine reduzierte Lasteinleitungsfläche in der Stützenrandzone. Die Auflagerung ist dann nicht mehr kontinuierlich punktgestützt, sondern es stellt sich eine Lochrandstützung mit kleiner Lasteinleitungsfläche ein.

Während der Versagensmechanismus und die wesentlichen Einflussfaktoren beim Durchstanzen normal punktgelagerter Platten bekannt sind und hierfür zahlreiche theoretische Modelle hergeleitet wurden, ist die Anzahl der Untersuchungen an lochrandgestützten Platten überschaubar. Die vorliegenden Arbeiten wurden hauptsächlich im Zusammenhang mit dem Hubdeckenverfahren verfasst und sind aufgrund verschiedener Aspekte ungeeignet, um das Durchstanzen bei lochrandgestützten Platten mit kleiner Lasteinleitungsfläche zu beschreiben.

Im Rahmen dieser Arbeit wird das Tragverhalten lochrandgestützter Platten mit kleiner Lasteinleitungsfläche mittels FEM-Simulationen untersucht. Auf Grundlage der Simulationsergebnisse werden Bemessungsvorschläge für verschiedene Konstruktionsarten angegeben. Abschließend werden Vorschläge für ein Versuchsprogramm und einen Versuchsaufbau gemacht, mit denen die Simulationsergebnisse in einem zweiten Schritt überprüft werden können.

Abstract

Flat slabs have been established due to a number of economic, structural and architectural advantages as an integral part of building construction. More recently, in addition to conventional reinforced concrete columns also composite and spun concrete columns and columns of high-strength concrete are used as supports. Characteristic of these kinds of constructions is that the load transmission through the node between column and slab is made by high-strength cores with a reduced cross-section, which penetrate the slab. The reaction force of the slab then is passed to the column by a small load application area in the fringe of the column. These slabs are characterized as hole edge supported slabs with a small load application area.

While the failure mechanism and the essential factors in normal flat slabs are well known and numerous theoretical models for this purpose have been developed, there is only a small number of investigations on hole edge supported slabs. These papers were mainly written relating to lift slabs. Due to several aspects, they are unsuitable to describe the punching in hole edge supported slabs with a small load application area.

In this paper the structural behavior of hole edge supported slabs with a small load application area is investigated by means of FEM simulations. Based on the simulation results, design approaches are proposed for different kinds of construction. Finally, suggestions for a test series and a test setup are made in order to check the simulation results in a second step.

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand in den Jahren 2010 bis 2012 während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehr- und Forschungsgebiet "Massivbau & Tragkonstruktionen" der Bergischen Universität Wuppertal.

Mein besonderer Dank gilt dem Inhaber des Lehrstuhls, Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Held, für die Idee zu dieser Arbeit, die zahlreichen interessanten Gespräche und seine stete Unterstützung während meiner Forschungstätigkeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. A. Goris danke ich für das große Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Koreferats, ebenso den weiteren Mitgliedern der Prüfungskommission, Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. Anders (Vorsitz) und Herrn Univ.-Prof. Dr. rer. nat. A. Seyfried.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Kolleginnen und Kollegen am Lehr- und Forschungsgebiet "Massivbau & Tragkonstruktionen" für das angenehme Arbeitsklima und die freundschaftliche Zusammenarbeit.

Ich bedanke mich bei meinen Eltern dafür, dass sie mir meinen beruflichen Werdegang ermöglicht und mich dabei immer bedingungslos unterstützt haben. Meiner Frau Britta und meiner Tochter Maja bin ich für ihre immerwährende moralische Unterstützung von Herzen dankbar.

Wuppertal, im April 2013

Torsten Welsch

Tag der Einreichung:	12. Oktober 2012
Tag der mündlichen Prüfung:	12. März 2013

Prüfungskommission:

1. Gutachter:	UnivProf. DrIng. Markus Held, Bergische Universität Wuppertal
2. Gutachter:	UnivProf. DrIng. Alfons Goris, Universität Siegen
Vorsitzender:	UnivProf. DrIng. Steffen Anders, Bergische Universität Wuppertal
Weiteres Mitglied:	UnivProf. Dr. rer. nat. Armin Seyfried, Bergische Universität Wuppertal

Inhaltsverzeichnis

1	EINF	ÜHRUNG	1
	1.1 Eini	LEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
	1.2 Kon	ISTRUKTIONSARTEN MIT LOCHRANDSTÜTZUNG UND KLEINER LASTEINLEITUNGSFLÄCH	IE .3
	1.2.1	Verbundstützen mit eingestelltem Stahlprofil	4
	1.2.2	Kompaktstütze (CC) System DYWIDAG ©	7
	1.2.3	Schleuderbetonstütze System MABA ©	9
	1.2.4	Schleuderbetonstützen System EUROPOLES©	10
	1.3 BER	ÜCKSICHTIGUNG DER LOCHRANDSTÜTZUNG IN REGELWERKEN	12
	1.4 Faz	IT KAPITEL 1	12
2	STAN	D DER FORSCHUNG	13
_	21 Dur		12
	2.1 D0r	Retonart	15 16
	2.1.1 2.1.2	Statische Nutzhöhe	10
	2.1.2 2.1.2	Statische Nulzhone	17
	2.1.3 2.1.4	Biegebewennung.	10
	2.1.4 2.1.5	Stützenlage	10
	2.1.5 216	Stützenage	19 21
	2.1.0 2.1.7	Durchstanzbauchrung	21
	2.1.7 2.2 Due	Durchstanzbewehrung	21 26
	2.2 DUF	Versagenskriterium nach der Theorie der kritischen Schubrissbreite	20
	2.2.1 2 2 2	Frmittlung der Last-Rotations-Reziehung	20
	2.2.2	Erminiang der CSCT auf Platten mit Durchstanzhewehrung	31
	2.2.3 2.3 Rise	JERIGE UNTERSUCHUNGEN ZUM DURCHSTANZTRAGVERHALTEN LOCHRANDGESTÜTZT	<i>3-</i>
	PLATTEN		39
	2.4 FAZ	IT KAPITEL 2	44
3	EIGE	NE UNTERSUCHUNGEN MITTELS FEM-BERECHNUNGEN	45
	2.1 Ko		15
	3.1 KOP	Comparing	45
	3.1.1 2.1.2	Geometrie	45
	3.1.2 2.1.2	Elementauswant una Diskretisterung	40
	3.1.3	Polastuno	40
	3.1.4 2 1 5	Detastung	49
	3.1.5	Kritarian für die Auswahl von Framdvarsuchen zu normal nunktaastiitzten Platten	49 51
	3.1.0	Kriterten jur die Auswahl von Frendversuchen zu normal punkigestuizien Fidien. Ocustanizvedslich P1 von Schaeidt I admed und Pösi i (Schweiz 1967)	
	3.2 DUF	Geometrie und Materialeigenschaften im Versuch	55
	3.2.1	Versuchsaufhau und -ahlauf	56
	323	Versuchsargehnisse	56
	3.2.3	Diskratisiarung	50
	32.4	Werkstoffnarameter für die FFM-Berechnung	61
	326	Rerechnung	
	32.0	Froehnisse der FFM-Berechnungen	63
	3.3 DIT	CHSTANZVERSUCH S2.2 VON TOLE (SCHWEDEN 1988)	72
	331	Geometrie und Materialeigenschaften im Versuch	72
	3.3.2	Versuchsaufbau und -ablauf	
	3.3.3	Versuchsergebnisse	
	3.3.4	Diskretisierung.	77
		0	

	3.	.3.5 Werkstoffparameter für die FEM-Berechnung	78
	3.	3.6 Berechnung	79
	3.	.3.7 Ergebnisse der FEM-Berechnungen	79
	3.4	DURCHGEFÜHRTE PARAMETERSTUDIEN IN HINBLICK AUF LOCHRANDSTÜTZUNG	87
	3.	.4.1 Lochrandstützung bei Platten mit einem Sackloch in Plattenmitte	
	3.	.4.2 Lochrandstützung bei Platten mit einem Stahlkern in Plattenmitte	106
	3.	.4.3 Lochrandstützung mit Stahlkern und daran fixierter Längsbewehrung	122
	3.5	FAZIT KAPITEL 3	133
4	В	BEMESSUNGSVORSCHLAG	
	41	I ochrandgestützte Platten mit einem Sackloch in Plattenmitte	137
	4.1 4.2	I ochrandgestützte Platten mit einem Stahl kern in Plattenmitte	137
	4.3	LOCHRANDGESTÜTZTE PLATTEN MIT EINEM STAHLKERN UND DARAN FIXIERTER BE 148	EWEHRUNG
	4.4	FAZIT KAPITEL 4	150
5	K	KONZEPTION EINER VERSUCHSREIHE UND EINES VERSUCHSAUFB	AUS152
	5.1	ENTWURF EINER VERSUCHSREIHE	
	5.2	KONZEPTION EINES VERSUCHSTANDS	158
	5.3	DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG DER VERSUCHE	161
	5.4	FAZIT KAPITEL 5	163
6	Z	USAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	164
7	L	ITERATURVERZEICHNIS	

Einheiten und Bezeichnungen

Nachstehend werden die wichtigsten in dieser Arbeit verwendeten Einheiten und Formelzeichen angegeben. Nicht aufgeführte Bezeichnungen werden im Text erläutert.

Einheiten:

Kräfte:	kN, MN
Momente:	kNm
Spannungen:	KPa, MPa
Längen:	mm, cm, m
Flächen:	mm², cm², m²
Winkel:	rad, Grad

Bezeichnungen:

Kleine lateinische Buchstaben

С	Stützenbreite, Stützendurchmesser
d	statische Nutzhöhe
h	Bauteilhöhe
е	Lastausmitte
l	Stützweite
r	Radius
и	kritischer Rundschnitt im Abstand d/2 vom Anschnitt
w	Durchbiegung
x	Druckzonenhöhe

Große lateinische Buchstaben

Ε	Elastizitätsmodul
G	Schubmodul
V	Stützenlast

Kleine lateinische Buchstaben mit Indizes

c_x, c_y	Abmessungen einer Rechteckstütze
d_{col}	Durchmesser einer kreisrunden Stütze
d_{core}	Durchmesser eines Stahlkerns
d_{fixed}	Durchmesser eines Stahlkerns mit daran fixierter Betonstahlbewehrung
d_g	Größtkorndurchmesser
d_{hole}	Durchmesser eines Sacklochs
d_s	Stabdurchmesser der Betonstahlbewehrung
f_c	Einaxiale Zylinderdruckfestigkeit des Betons
f_{ck}	Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen
$f_{cm,cube150}$	Mittelwert der Betondruckfestigkeit eines Würfels mit 150 mm Kantenlänge nach 28
	Tagen

$f_{\it cm,cube200}$	Mittelwert der Betondruckfestigkeit eines Würfels mit 200 mm Kantenlänge nach 28	
C	Tagen	
Jcm,cyl	Mittelwert der einaxialen Zylinderdruckfestigkeit des Betons	
J _{ct}	zentrische Zugrestigkeit des Betons	
f _{ct,fl}	Biegezugfestigkeit des Betons	
f _{ctm}	Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons	
f_{tk}	Charakteristische Zugfestigkeit der Betonstahlbewehrung	
f_y	Streckgrenze der Betonstahlbewehrung	
f_{yw}	Streckgrenze der Durchstanzbewehrung	
$f_{ywd,ef}$	wirksamer Bemessungswert der Streckgrenze der Durchstanzbewehrung	
k _{core}	Abminderungsbeiwert zur Ermittlung der rechnerischen Versagenslast	
	lochrandgestützter Platten mit einem Kern in Plattenmitte	
$k_{hole,2}$	Abminderungsbeiwert zur Ermittlung der rechnerischen Versagenslast	
	lochrandgestützter Platten mit einem Sackloch in Plattenmitte, bilinearer Ansatz	
k _{hole,3}	Abminderungsbeiwert zur Ermittlung der rechnerischen Versagenslast	
	lochrandgestützter Platten mit einem Sackloch in Plattenmitte, kubischer Ansatz	
l_{col}	Stützenlänge	
l_w	Länge des schubbewehrten Bereichs	
m_{cr}	Rissmoment	
m_r	radiales Plattenmoment (erzeugt Dehnungen in radialer Richtung / tangentiale Risse)	
m_t	tangentiales Plattenmoment (erzeugt Dehnungen in tangentialer Richtung / radiale	
	Risse)	
r_c	Radius einer kreisrunden Stütze	
r_q	Radius der Lasteinleitungspunkte	
r_s	Außenradius eines kreisrunden Deckenausschnitts	
S_r	radialer Abstand einer Durchstanzbewehrungsreihe	
u_0	Stützenumfang	
<i>u</i> ₁	Umfang des kritischen Rundschnitts	
<i>U</i> out, ef	Umfang des äußeren Rundschnitts	
<i>V_{min}</i>	Mindestwert des Querkraftwiderstands	
v_q	über den Umfang verteilte Belastung eines kreisrunden Deckenausschnitts	
$V_{Rd,c}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands längs des kritischen Rundschnitts einer	
	Platte ohne Durchstanzbewehrung	
V _{Rd,c,core}	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands längs des kritischen Rundschnitts einer	
	lochrandgestützten Platte mit einem Kern in Plattenmitte ohne Durchstanzbewehrung	
$V_{Rd,c,hole}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands längs des kritischen Rundschnitts einer	
	lochrandgestützten Platte mit einem Sackloch in Plattenmitte ohne	
	Durchstanzbewehrung	
$V_{Rd,cs}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands für Platten mit Durchstanzbewehrung	
$V_{Rd,c,out}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands längs des äußeren Rundschnitts einer	
	Platte mit Durchstanzbewehrung	
$V_{Rd,max}$	Bemessungswert des maximalen Durchstanzwiderstands je Flächeneinheit längs des	
	Stützenumfangs	
$V_{Rd,s}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands der Durchstanzbewehrung	

Wk	Rissbreite
X5%	5%-Quantil
X_m	Mittelwert
Große lateini	sche Buchstaben mit Indizes
A_c	Betonquerschnittsfläche
A_{col}	Stützenquerschnittsfläche
A_{Load}	Lasteinleitungsfläche
$A_{Load, red}$	Infolge Lochrandstützung reduzierte Lasteinleitungsfläche
A_{sw}	Querschnittsfläche der Durchstanzbewehrung in einer Bewehrungsreihe
E_c	Elastizitätsmodul des Betons
E_{cm}	Mittelwert des Elastizitätsmoduls des Betons
$E_{c0\mathrm{m}}$	Mittelwert des Elastizitätsmoduls des Betons als Tangente im Ursprung der
	Spannungs-Dehnungslinie nach 28 Tagen
EI_0	Biegesteifigkeiten vor Erstrissbildung
EI_1	Biegesteifigkeiten nach Erstrissbildung
E_s	Elastizitätsmodul der Betonstahlbewehrung
G_{f}	Bruchenergie
$V_{E,k}$	charakteristischer Wert der Stützenlast
V_{flex}	bei Erreichen der Biegetragfähigkeit wirkende Querkraft
$V_{R,cs}$	Durchstanztragfähigkeit im durchstanzbewehrten Bereich
$V_{R,out}$	Durchstanztragfähigkeit außerhalb des durchstanzbewehrten Bereichs
$V_{R,max}$	Durchstanztragfähigkeit der Druckstrebe
V_u	Versagenslast
V _{u,core}	Versagenslast einer lochrandgestützten Platte mit Kern in Plattenmitte
$V_{u,core,cal}$	rechnerische Versagenslast einer lochrandgestützten Platte mit Kern in Plattenmitte
V _{u,core,EC}	rechnerische Versagenslast einer lochrandgestützten Platte mit Kern in Plattenmitte
	unter Verwendung eines Ansatzes nach Eurocode 2
V _{u,disp}	Versagenslast einer Vollplatte mit ausgelagerter Bewehrung
V _{u,fixed}	Versagenslast einer lochrandgestützten Platte mit Kern und daran fixierter Längsbewehrung in Plattenmitte
V. Guad and	rechnerische Versagenslast einer lochrandgestützten Platte mit Kern und daran
• u,jixea,cai	fixierter Längsbewehrung in Plattenmitte
Vy fixed EC	rechnerische Versagenslast einer lochrandgestützten Platte mit Kern und daran
· u,jixeu,EC	fixierter Längsbewehrung in Plattenmitte unter Verwendung eines Ansatzes nach
	Eurocode 2
$V_{u \ hole}$	Versagenslast einer lochrandgestützten Platte mit Sackloch in Plattenmitte
$V_{u hole cal^2}$	rechnerische Versagenslast einer lochrandgestützten Platte mit Sackloch in
u,nore,cuiz	Plattenmitte unter Verwendung eines bilinearen Ansatzes
$V_{u,hole.cal3}$	rechnerische Versagenslast einer lochrandgestützten Platte mit Sackloch in
,	Plattenmitte unter Verwendung eines kubischen Ansatzes
$V_{u,hole,EC}$	rechnerische Versagenslast einer lochrandgestützten Platte mit Sackloch in
,,	Plattenmitte unter Verwendung eines Ansatzes nach Eurocode 2

Griechische Buchstaben

Winkel zwischen Durchstanzbewehrung und Plattenebene α β Lasterhöhungsfaktor zur Berechnung des Bemessungswerts der Stützenlast β Faktor zur Abminderung des Schubmoduls infolge Rissbildung Schubverzerrung γ Dehnung Е Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Maßstabseffekts K COULOMB'scher Reibungskoeffizient μ Querdehnzahl μ Spannung σ Reibungswinkel φ Plattenrotation ψ Krümmung χ

Griechische Buchstaben mit Indizes

$\Delta \varphi$	Winkel eines Sektorelements
Δи	Relativverschiebung
\mathcal{E}_{c}	Betondehnung
\mathcal{E}_{cr}	Dehnung bei Erreichen der Betonzugfestigkeit
\mathcal{E}_{s}	Betonstahldehnung
\mathcal{E}_{u}	prozentuale Betonstahldehnung bei Höchstkraft
η_l	Beiwert für Leichtbeton
$ ho_l$	Geometrischer Längsbewehrungsgrad
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Hauptspannungen
$\sigma_{\!cp}$	Spannung im Beton aus Normalkraft oder Vorspannung
σ_{s}	Spannung in der Betonstahlbewehrung
σ_{x}	Standardabweichung
χr	radiale Krümmung
χ_t	tangentiale Krümmung

Abbildungen

Bild 1-1: Knotenpunkt normalfeste Decke – hochfeste Stütze	3
Bild 1-2: Unterscheidung der unterschiedlichen Lagerungsarten	4
Bild 1-3: Mantelrohr und Einstellprofil durchlaufend (aus [12])	5
Bild 1-4: Mantelrohr unterbrochen, Einstellprofil durchlaufend (aus [12])	5
Bild 1-5: Mantelrohr und Einstellprofil unterbrochen (aus [12])	6
Bild 1-6: Stoß der eingestellten Stahlprofile oberhalb der Decke [13]	6
Bild 1-7: Beispiel für die Ausführung einer Verbundstütze mit großem Kern (aus [15])	7
Bild 1-8: DYWIDAG Kompaktknoten [©] (aus [4])	8
Bild 1-9: Detailschnitt DYWIDAG Kompaktknoten [©] (aus [17])	9
Bild 1-10: Schleuderbetonstütze mit Deckenknoten System MABA [©] (aus [19])	10
Bild 1-11: Ausführung des Knotens Schleuderbetonstütze – Decke mit Baustahlkonstruktion (nach	h
[22])	10
Bild 1-12: Knoten mit durchgehender Stützenbewehrung mit großem Betonstahlquerschnitt (nach	
[23])	11
Bild 2-1: Bruchkegelquerschnitt bei Bauteilen unterschiedlicher Schlankheit (nach [36])	13
Bild 2-2: Bruchbild einer zentrisch belasteten Innenstützen-Verbindung (nach [39])	14
Bild 2-3: Verformungen im Durchstanzbereich (nach [40])	14
Bild 2-4: Qualitativer Verlauf der Last-Dehnungs-Kurven (nach [42])	15
Bild 2-5: Bogen-Zugband-System (C = compression / Druck, T = tension / Zug)	16
Bild 2-6: Kraftfluss in Normal- und Leichtbeton auf der Meso-Ebene (nach [36])	17
Bild 2-7: Last-Rotations-Beziehungen für Versuche von KINNUNEN und NYLANDER (nach [40])	18
Bild 2-8: Bruchbilder von Randstützen mit unterschiedlicher Lastausmitte (nach [38]	20
Bild 2-9: Uberlagertes Fachwerk-System (C = Druck, T = Zug)	22
Bild 2-10: Versagensstellen bei Bauteilen mit Durchstanzbewehrung (nach [36])	22
Bild 2-11: Last-Verformungs-Kurven verschiedener Bewehrungselemente (aus [52])	24
Bild 2-12: Durchstanzmodell von <i>MUTTONI</i> , a) Störung der geraden Druckstrebe durch den	
kritischen Schubriss, b) Fachwerkmodell mit geknickter Druckstrebe (nach [40])	27
Bild 2-13: Durchstanzversuche von <i>BOLLINGER</i> (nach [40])	28
Bild 2-14: Vergleich des Versagenskriteriums von <i>MUTTONI</i> mit 99 Versuchen aus der Literatur	•
(nach [40])	29
Bild 2-15: Versuchsergebnisse von <i>KINNUNEN</i> und <i>NYLANDER</i> im Vergleich zur Versagenslast aus	•
GI. 2.6 und GI. 2.22 (nach [40])	30
Bild 2-16: Quadrilineare Momenten-Krümmungs-Beziehung nach <i>MUTTONI</i> (nach [40])	30
Bild 2-17: Annahmen zur Ableitung der Last-Rotations-Beziehung (nach [40]);	31
Bild 2-18: Druckstrebentragfähigkeit als Schnittpunkt zwischen Versagenskriterium und Last-	~ .
Rotations-Beziehung (nach [59])	34
Bild 2-19: Zerlegung der Durchstanztragfahigkeit im durchstanzbewehrten Bereich in einen Betor	ו- 27
und einen Bewehrungstraganteil (nach [59])	35
Bild 2-20: geometrische Beziehungen im Schubriss und am Durchstanzkegel (nach [59])	36
Bild 2-21: Ermittlung der Durchstanztragfähigkeit außerhalb des durchstanzbewehrten Bereichs	20
(nach[59])	38
Bild 2-22: Verlauf der Langential- und Kadialmomente in Abhangigkeit von der Auflagerung (nac	ch
[/2]	40 41
BIIG 2-25: Vernaltnis $V_{E,k}$ / A_{Load} der vorgesteilten Arbeiten im Vergleich zu Platten	41
BIIG 2-24: Praxisbeispiel für eine Verbundstutze mit größem Kern	42
Bild 2-25: Praxispeispiei für eine verbundstutze mit Stanipilz [/3]	42

Bild 3-1: Isoparametrisches 20-Knoten-Ouaderelement vom TypCHX60" (aus [79])	46
Bild 3-2: Volumenelement CHX 60 mit eingebetteter Bewehrung (nach [79])	
Bild 3-3: Topologie und Spannung für eingebettete Bewehrung (nach [79])	48
Bild 3-4: Newton-Raphson-Verfahren (nach [88])	51
Bild 3-5: Modifiziertes Newton-Raphson-Verfahren (nach [88])	
Bild 3-6: Quasi-Newton-Verfahren (nach [88]).	53
Bild 3-7: In DIANA implementierte Konvergenzkriterien (nach [88])	54
Bild 3-8: Geometrie und Bewehrung der Versuchsplatte P1 (nach [101])	55
Bild 3-9: Last-Verformungs-Diagramm (nach [101])	57
Bild 3-10: Last-Dehnungs-Diagramm der Bewehrung (links) und Last-Stauchungs-Diagramm	n des
Betons (rechts) (nach [101])	57
Bild 3-11: Rissbild bei $V = 669$ kN (Gebrauchslast; Zahlenwerte = Rissbreite in 1/100 mm) (nach
[101])	
Bild 3-12: Rissbild bei $V_u = 1662$ kN (Bruchzustand) (nach [101])	58
Bild 3-13: Durchstanzkegel, Neigung ca. 30° (nach [101])	59
Bild 3-14: Geometrie des FEM-Modells zu Platte P1	59
Bild 3-15: Verwendetes Netz einschl. Lagerungsbedingungen und Belastung	60
Bild 3-16: Element-Seitenverhältnisse in Modell P1	60
Bild 3-17: Für die FEM-Berechnung verwendete Arbeitslinie des Betonstahls "Tor 50 IIIb".	63
Bild 3-18: Last-Verformungs-Kurve des Versuchs P1 und der FEM-Simulation P1 im Vergle	eich.64
Bild 3-19: Betonstauchungen im Versuch P1 und in der FEM-Simulation P1	65
Bild 3-20: Bewehrungsdehnungen im Versuch P1 und in der FEM-Simulation P1 im Verglei	ich66
Bild 3-21: Rissbildung in Lastinkrement 12 (V= 693,5 kN) im Vergleich zum Rissbild bei V	= 669
kN (Gebrauchslast) im Versuch	67
Bild 3-22: Rissbildung beim Bruch in der FEM-Simulation (Lastinkrement 31) im Vergleich	zum
Versuchsergebnis (Durchstanzrisse jeweils nachgezeichnet)	67
Bild 3-23: Durchstanzriss in der Symmetrieebene auf der X-Achse (nachgezeichnet)	68
Bild 3-24: Rissbildung (links) und Radiale Spannungen σ_{XX} (rechts) [MPa, mm]	69
Bild 3-25: Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} in den letzten Lastinkrementen	70
Bild 3-26: Ausbildung einer geknickten Druckstrebe beim Versagen (Spannungen σ_{zx} [MPa]))71
Bild 3-27: Versuchsplatte S2.2 von TOLF (nach [111])	72
Bild 3-28: Arbeitslinie des verwendeten Betonstahls "Ks 60S" (nach [111])	73
Bild 3-29: Versuchsaufbau von TOLF (nach [111])	74
Bild 3-30: Messstellen an Platte S2.2 (nach [111])	74
Bild 3-31: Plattenrotation (links) und vertikale Verschiebungen (rechts) (nach [111])	75
Bild 3-32: Bewehrungsdehnungen in Plattenmitte (links) und Betonstauchungen bei $a = 65$ r	nm
(rechts) (nach [111])	75
Bild 3-33: Rissbild und Rissbreiten bei verschiedenen Laststufen (nach [111])	76
Bild 3-34: Durchstanzriss in Platte S2.2 (nach [111])	76
Bild 3-35: Geometrie des FEM-Modells zu Platte S2.2	77
Bild 3-36: Verwendetes Netz einschl. Lagerungsbedingungen und Belastung	77
Bild 3-37: Für die Berechnung verwendete Arbeitslinie des Betonstahls "Ks 60S"	78
Bild 3-38: Last-Verformungs-Kurve des Versuchs S2.2 und der FEM-Simulation S2.2 im Ve	rgleich
	79
Bild 3-39: Betonstauchungen im Versuch S2.2 und in der FEM-Simulation S2.2	80
Bild 3-40: Bewehrungsdehnungen im Versuch S2.2 und in der FEM-Simulation S2.2	81
Bild 3-41: Rissbildung in Lastinkrement 12 (V= 242,3 kN) im Vergleich zum Rissbild bei V	= 240
kN (Gebrauchslast) im Versuch	82
$\mathbf{D}^{(1)}_{1} = \mathbf{D}^{(1)}_{1} = \mathbf{D}$	
Bild 3-42: Rissbildung beim Bruch in der FEM-Simulation (Lastinkrement 31, $V = 606,1$ kN	,
Bild 3-42: Rissbildung beim Bruch in der FEM-Simulation (Lastinkrement 31, $V = 606,1$ kN Durchstanzriss nachgezeichnet) im Vergleich zum Versuchsergebnis ($V = 603$ kN	,)82

D'110 44		0.4
Bild 3-44:	Rissbildung (links) und radiale Spannungen σ_{XX} auf der X-Achse (rechts) [MPa, mm].	84
Bild 3-45:	Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} in der Symmetrieebene auf der X-Achse	85
Bild 3-46:	Zugdehnungen ε_{ZZ} in der Simulation und Durchstanzriss beim Versuch im Vergleich8	86
Bild 3-47:	Schräge Druckstrebe beim Versagen (Spannungen σ_{zx} [MPa])	86
Bild 3-48:	Anschluss der Bewehrung an den Kern mit Gewindemuffen (links, aus [15]) und	
	Durchsteckmontage bei Schleuderbetonstützen (Mitte, aus [21]) und Verbundstützen	
	(rechts, aus [15])	87
Bild 3-49:	Modelle für Parameterstudien mit Lochrandstützung, hier exemplarisch für Platte P1-H	I _
2110 0 191	450 (links) und S2 2-H-200 (rechts)	89
Bild 3-50.	Vernetzung der Modelle P_1 - H_2 (links) und S2 2- H_2 200 (rechts)	80
Bild 3 51	Elementseitenverhöltnisse bei Modell <i>P1 H 450</i>	00
Dild 2 52	Elementseitenverhältnisse bei Modell S2 2 H 200	00
DIIU 3-32.	Stützenversegen hei Verwendung normalfesten Detens für die Stütze (Verweh D1 II	90
B110 3-33	Stutzenversagen bei verwendung normaliesten Betons für die Stutze (versuch PI-H-	0.1
D'110 54		91
Bild 3-54:	Last-Verformungs-Beziehungen für die lochrandgestutzten Platten der Reihe PI-H	92
Bild 3-55:	Last-Verformungs-Beziehungen für die lochrandgestützten Platten der Reihe S2.2-HS	92
Bild 3-56:	Last-Verformungs-Beziehungen für die Platten der Reihe <i>P1-D</i>	93
Bild 3-57:	Last-Verformungs-Beziehungen für die Platten der Reihe S2.2-D	94
Bild 3-58:	Betondehnungen in Platte P1-H-450	95
Bild 3-59:	Betondehnungen in Platte S2.2-H-200	95
Bild 3-60:	Stahldehnungen in Platte P1-H-450, Stab S1	96
Bild 3-61:	Stahldehnungen in Platte S2.2-H-200, Stab S1	97
Bild 3-62:	Rissbildung (Plattenoberseite) in Platte P1-H-450 beim Versagen (Lastinkrement 20)	98
Bild 3-63:	Rissbildung (Plattenoberseite) in Platte S2.2-H-200 beim Versagen (Lastinkrement 27)	98
Bild 3-64	Platte P1-H-450 Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	d
Diason	Thate TT TT 750, Resonants in der Symmetreebene dar der TT Tense im Braenzastan	u
		99
Bild 3-65	Platte S2 2-H-200 Risshildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im	99
Bild 3-65:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im	99 00
Bild 3-65:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	99 99
Bild 3-65: Bild 3-66:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	99 99 00
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	99 99 00
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand Radiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte <i>P1-H-450</i> , rechts Platte P110 Radiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte <i>S2.2-H-200</i> , rechts Platte S2.2	99 99 00 01
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	99 99 00 01
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	99 99 00 01 02
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	99 99 00 01 02 <i>0</i>
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-71:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04 05
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-72:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04 05
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-72:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04 05 05
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-73:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04 05 05 \$\$
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-73:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04 05 05 s) 06
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-73: Bild 3-74:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04 05 05 s) 06 07
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-73: Bild 3-74: Bild 3-74:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand. (2) Radiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte <i>P1-H-450</i> , rechts Platte P1 10 Radiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte <i>S2.2-H-200</i> , rechts Platte S2.2 (1) Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} (links) und Spannungen σ_{ZZ} (rechts, MPa), Modell <i>P1-H-450</i> (1) Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} (links) und Spannungen σ_{ZZ} (rechts, MPa), Modell <i>S2.2-H-200</i> (rechts)	 99 99 00 01 02 0 03 04 05 05 s) 06 07 07
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-73: Bild 3-73: Bild 3-74: Bild 3-75:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04 05 05 s) 06 07 07
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-73: Bild 3-73: Bild 3-74: Bild 3-75: Bild 3-76:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04 05 05 s) 06 07 07 07 07 07
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-73: Bild 3-74: Bild 3-75: Bild 3-76:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04 05 05 s) 06 07 07 08 06
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-73: Bild 3-74: Bild 3-75: Bild 3-76: Bild 3-77:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 03 04 05 05 s) 06 07 07 08 09 04
 Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-73: Bild 3-73: Bild 3-74: Bild 3-75: Bild 3-76: Bild 3-77: Bild 3-78: 	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04 05 06 07 07 08 09 09
Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-73: Bild 3-73: Bild 3-75: Bild 3-76: Bild 3-77: Bild 3-78: Bild 3-79:	Platte <i>S2.2-H-200</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand	 99 99 00 01 02 0 03 04 05 03 04 05 05 s) 06 07 07 08 09 09 10
 Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-73: Bild 3-73: Bild 3-74: Bild 3-75: Bild 3-76: Bild 3-77: Bild 3-77: Bild 3-78: Bild 3-79: Bild 3-80: 	Platte S2.2-H-200, Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand.SRadiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte P1-H-450, rechts Platte P110 Radiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte S2.2-H-200, rechts Platte S2.210Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} (links) und Spannungen σ_{ZZ} (rechts, MPa), Modell P1-H-45010Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} (links) und Spannungen σ_{ZZ} (rechts, MPa), Modell S2.2-H-20010Druckstrebenneigungen in Platte P1-H-450 (links) und S2.2-H-200 (rechts)10Druckstrebenneigungen in Platte P1-H-450 (links) und S2.2-H-200 (rechts)10Lokales Versagen in Platte S2.2-H-180 und Durchstanzen in Platte S2.2-H-16010Lokales Versagen in Platte P1-H-455 bis P1-H-375, Durchstanzen in Platte P1-H-35010Modelle für Parameterstudien mit Kern, Platte P1-C-450 (links) und S2.2-C-200 (rechts)11Vernetzung der Modelle P1-C-450 (links) und S2.2-C-200 (rechts)11Last-Verformungs-Beziehungen für die Platten der Reihe P1-C10Last-Verformungs-Beziehungen für die Platten der Reihe P1-C10Last-Verformungs-Beziehungen für die Platten der Reihe S2.2-C10Betonstauchungen in Platte P1-C-45011Betonstauchungen in Platte S2.2-C-20011	 99 99 00 01 02 0 03 04 05 03 04 05 05 06 07 07 08 09 10 11
 Bild 3-65: Bild 3-66: Bild 3-67: Bild 3-68: Bild 3-69: Bild 3-70: Bild 3-70: Bild 3-71: Bild 3-72: Bild 3-72: Bild 3-73: Bild 3-74: Bild 3-75: Bild 3-76: Bild 3-76: Bild 3-78: Bild 3-79: Bild 3-80: Bild 3-81: 	9Platte S2.2-H-200, Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand.Radiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte P1-H-450, rechts Platte P1 10Radiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte S2.2-H-200, rechts Platte S2.210Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} (links) und Spannungen σ_{ZZ} (rechts, MPa), Modell P1-H-45010Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} (links) und Spannungen σ_{ZZ} (rechts, MPa), Modell S2.2-H-20010Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} (links) und Spannungen σ_{ZZ} (rechts, MPa), Modell S2.2-H-20010Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} (links) und Spannungen σ_{ZZ} (rechts, MPa), Modell S2.2-H-20010Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} (links) und Spannungen σ_{ZZ} (rechts, MPa), Modell S2.2-H-20010Druckstrebenneigungen in Platte P1-H-450 (links) und S2.2-H-200 (rechts)10Druckstrebenneigungen in Platte S2.2-H-180 und Durchstanzen in Platte S2.2-H-16010Lokales Versagen in Platte P1-H-455 bis P1-H-375, Durchstanzen in Platte P1-H-35010Vernetzung der Modelle P1-C-450 (links) und S2.2-C-200 (rechts)10Vernetzung der Modelle P1-C-450 (links) und S2.2-C-200 (rechts)10Vernetzung der Modelle P1-C-450 (links) und S2.2-C-200 (rechts)10Vernetzung der Modelle P1-C-450 (link	 99 99 00 01 02 03 04 05 06 07 07 08 09 10 11 12

Bild 3-83: Bild 3-84:	Rissbildung (Plattenoberseite) in Platte <i>P1-C-450</i> beim Versagen (Lastinkrement 24) 113 Rissbildung (Plattenoberseite) in Platte <i>S2.2-C-200</i> beim Versagen (Lastinkrement 33)
Bild 3-85:	Platte <i>P1-C-450</i> , Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand 114
Bild 3-86:	Platte S2.2-C-200, Rissbildung in der Symmetrieebene auf der X-Achse im Bruchzustand 114
Bild 3-87: 1 Bild 3-88: 1	Radiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte <i>P1-C-450</i> , rechts Platte <i>P1</i> 115 Radiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte <i>S2.2-C-200</i> , rechts Platte <i>S2.2</i>
Bild 3-89:	Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} (links) und Spannungen σ_{ZZ} (rechts, MPa), Modell <i>P1-C-450</i>
Bild 3-90:	Vertikale Dehnungen ε_{ZZ} (links) und Spannungen σ_{ZZ} (rechts, MPa), Modell S2.2-C-200
Bild 3-91: Bild 3-92:	Ausbildung einer geknickten Druckstrebe beim Bruch; Spannungen σ_{zx} [MPa],
Bild 3-93:	Lokales Versagen in Platte P1-C-400, Durchstanzversagen in Platte P1-C-375;
Bild 3-94:	Lokales Versagen in Platte S2.2-C-180, Durchstanzversagen in Platte S2.2-C-160; 120
Bild 3-95:	Modelle für Parameterstudien mit Kern und daran fixierter Bewehrung,
Bild 3-90:	Last-verformungs-Beziehungen für die Platten der Reihe P1-F
Bild 3-97.	Last- vertormungs-Bezienungen für die Flauen der Kenne 52.2 -F
Bild 3-99.	Betonstauchungen in Platte S2 2- F_2 200 125
Bild 3-100	Stahldehnungen im Bereich der Stütze: links <i>P1</i> , rechts <i>P1-F-450</i>
Bild 3-101	Bewehrungsdehnungen in Platte <i>P1-F-450</i>
Bild 3-102	Bewehrungsdehnungen in Platte S2.2-F-200
Bild 3-103	Rissbildung (Plattenoberseite) in Platte P1-F-450 beim Versagen (Lastinkrement 28)
Bild 3-104	Rissbildung (Plattenoberseite) in Platte S2.2-F-200 beim Versagen (Lastinkrement 36)
Bild 3-105	Platte <i>P1-F-450</i> , Durchstanzriss in der Symmetrieebene auf der X-Achse
Bild 3-106	Platte S2.2-F-200, Durchstanzriss in der Symmetrieebene auf der X-Achse
Bild 3-10/3	Radiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte P1-F-450, rechts Platte P1.129
B110 3-108	Radiale Spannungen in der X-Achse [MPa], links Platte S2.2-F-200, rechts Platte S2.2
Dild 2 100	$V_{\text{ortikele Dehnungen } c} \text{in Modell } D = 450$
DIIU 3-109	Vertikale Dehnungen c_{ZZ} in Modell F1-F-430
Bild 3 111	vertikate Deminungen \mathcal{E}_{ZZ} in Modell 52.2-F-200
DIIQ 3-111	= Druckstrebennergungen bei Tratte T T-T-450 (miks) und 52.2-T-200 (recitis)152
Bild 4-1: V	ereinfachte Berechnung der Plattenrotation ψ aus der Verformung w
Bild 4-2: K	ubischer Zusammenhang zwischen reduzierter Lasteinleitungsfläche und Versagenslast
1	Dei den Platten der H-Serie
Bild 4-3: B	ilinearer Zusammenhang zwischen reduzierter Lasteinleitungsfläche und Versagenslast
1	bei den Platten der H-Serie
Bild 4-4: V	ersagenskriterium nach MUTTONI und Versagenskriterium für lochrandgestützte Platten
1	nit einem Sackloch in Plattenmitte nach Gl. 4.3 (<i>H</i> -Serie)140
Bild 4-5: L	inearer Zusammenhang zwischen reduzierter Lasteinleitungsfläche und Versagenslast
D:14 4 4 7	Dei den Platten der C-Serie
ыц 4-0: Z	usammennang zwischen reduzieher Lastermentungsfrache und Versagensiast (F-Serie)
•	140

Bild 5-1: Versuchsplatte L1 (Referenz-Vollplatte)	154
Bild 5-2: Versuchsplatte L1-H-250	155
Bild 5-3: Versuchsplatte L1-C-250	156
Bild 5-4: Versuchsplatte L1-F-250	157
Bild 5-5: Entwurf für einen Versuchsstand zur Durchführung der Durchstanzversuche	159
Bild 5-6: Vorschlag für die Anordnung der Messinstrumente	160

Tabellen

Tabelle 3-1: Materialeigenschaften des Versuchskörpers <i>P1</i>
Tabelle 3-2: Grundwert der Bruchenergie G_{f0} (nach [105])
Tabelle 3-3: Werkstoffparameter des Betons für die Berechnung
Tabelle 3-4: Mechanische Eigenschaften des Betonstahls "Tor 50 IIIb"
Tabelle 3-5: Materialeigenschaften des Versuchskörpers S2.2
Tabelle 3-6: Werkstoffparameter des Betons für die Berechnung
Tabelle 3-7: Untersuchungsprogramm für Parameterstudien mit Sackloch
Tabelle 3-8: Versagenslasten für Vollplatten V_u , Platten mit Sackloch $V_{u,hole}$ und Vollplatten mit
ausgelagerter Bewehrung $V_{u,disp}$ im Vergleich
Tabelle 3-9: Untersuchungsprogramm für Parameterstudien mit Stahlkern
Tabelle 3-10: Versagenslasten der Vollplatten V_u , der Modelle mit Kern $V_{u,core}$ und der Vollplatten
mit ausgelagerter Bewehrung $V_{u,disp}$ im Vergleich
Tabelle 3-11: Untersuchungsprogramm f ür Modelle mit Stahlkern und angeschlossener Bewehrung 122
Tabelle 3-12: Versagenslasten der Vollplatte V_u und der Platten aus der F-Serie $V_{u,fixed}$ im Vergleich
Tabelle 4-1: Vergleich der rechnerischen Versagenslasten nach Gl. 4.3 mit den Ergebnissen 14
Tabelle 4-2: Vergleich der rechnerischen Versagenslasten nach Gl. 4.4 mit den Ergebnissen 14
Tabelle 4-3: Vergleich der rechnerischen Versagenslasten nach Gl. 4.3 mit den Ergebnissen 142
Tabelle 4-4: Vergleich der rechnerischen Versagenslasten nach Gl. 4.4 mit den Ergebnissen 143
Tabelle 4-5: Vergleich der rechnerischen Versagenslasten nach Gl. 4.6 mit den Ergebnissen 144
Tabelle 4-6: Vergleich der rechnerischen Versagenslasten nach Gl. 4.8 mit den Ergebnissen 140
Tabelle 4-7: Vergleich der rechnerischen Versagenslasten nach Gl. 4.8 mit den Ergebnissen 147
Tabelle 4-8: Vergleich der rechnerischen Versagenslasten nach Gl. 4.10 mit den Ergebnissen der
FEM-Simulationen unter Verwendung der charakteristischen Betondruckfestigkeit f_{ck} (<i>C</i> -Serie)
Tabelle 4-9: Vergleich der rechnerischen Versagenslasten nach Gl. 2.6 mit den Ergebnissen der FEM-Simulationen unter Verwendung der mittleren Betondruckfestigkeit f_c (F-Serie)144
Tabelle 4-10: Vergleich der rechnerischen Versagenslasten nach Gl. 2.6 mit den Ergebnissen der FEM-Simulationen unter Verwendung der charakteristischen Betondruckfestigkeit f_{cl} (F-Serie)
Tabelle 4-11: Vergleich der rechnerischen Versagenslasten nach Gl. 2.1a mit den Ergebnissen der FEM-Simulationen unter Verwendung der charakteristischen Betondruckfestigkeit f_{cl} (F-Serie)
Tabelle 5-1: Übersicht über das konzipierte Versuchsprogramm