

INHALTSVERZEICHNIS

Einheiten und Bezeichnungen	vii
1 Einleitung	1
1.1 Veranlassung.....	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehen.....	2
2 Stand der Kenntnisse	5
2.1 Allgemeines	5
2.2 Traganteile für Querkraft.....	5
2.3 Modellansätze für die Querkrafttragfähigkeit	6
2.3.1 Allgemeines	6
2.3.2 Empirische Ansätze	6
2.3.3 Physikalisch basierte Modelle	7
2.3.3.1 Exkurs: Bauteile mit Querkraftbewehrung	7
2.3.3.2 Modelle auf Basis der Compression Field Theory.....	8
2.3.3.3 Critical Shear Crack Theory	9
2.3.3.4 Shear-flexural strength mechanical model.....	10
2.3.4 Vergleich der Modellansätze	11
2.4 Abgrenzung zwischen Querkraft und Durchstanzen	17
2.5 Mitwirkende Breite für Querkraft.....	20
2.5.1 Allgemeines	20
2.5.2 Historische Entwicklung in deutschen Regelwerken	21
2.5.3 Horizontale Lastausbreitung unter einem Winkel	23
2.5.4 Linear-elastische Finite-Elemente-Berechnungen	24
2.5.5 Vergleich der verschiedenen Ansätze und Fazit.....	26
2.6 Untersuchung ausgewählter Einflussfaktoren	27
2.6.1 Einfluss der Schubslankheit	27
2.6.1.1 Schubtal nach Kani	27
2.6.1.2 Auflagernahe Einzellasten	28
2.6.2 Einfluss der Durchlaufwirkung.....	31
2.6.2.1 Allgemeines.....	31
2.6.2.2 Einspanngrad, Momenten-Querkraft- und Momentenverhältnis.....	31
2.6.2.3 Experimentelle Untersuchungen an Balken	33
2.6.2.4 Experimentelle Untersuchungen an Platten unter Einzellasten	38

2.6.2.5	Fazit	39
2.6.3	Einfluss der Gurtneigung	39
2.6.3.1	Allgemeines	39
2.6.3.2	Berücksichtigung bei der Querkraftbemessung	39
2.6.3.3	Experimentelle Untersuchungen	40
2.6.3.4	Fazit	46
2.7	Offene Fragestellungen	46
3	Experimentelle Untersuchungen	47
3.1	Allgemeines	47
3.2	Versuchsprogramm	47
3.3	Versuchsvorbereitung und -durchführung	51
3.3.1	Bewehrung und Materialkennwerte	51
3.3.2	Versuchsaufbau und –durchführung	51
3.3.2.1	Versuchsaufbau	51
3.3.2.2	Versuchsdurchführung	53
3.3.3	Messtechnik.....	55
3.3.3.1	Allgemeines.....	55
3.3.3.2	Verformung	56
3.3.3.3	Rissöffnungen und Änderung der Plattendicke.....	56
3.3.3.4	Betondehnungen	57
3.3.3.5	Betonstahldehnungen	57
3.3.3.6	Prüflasten und Auflagerkraft	57
3.4	Versuchsergebnisse.....	58
3.4.1	Allgemeines.....	58
3.4.2	Versagensform, Bruchbilder und Rissöffnungen.....	58
3.4.3	Verformung.....	70
3.4.4	Verteilung der Auflagerkräfte.....	72
3.4.5	Betondehnungen.....	76
3.4.6	Stahldehnungen	78
3.4.7	Querkrafttragfähigkeit.....	79
3.4.8	Mitwirkende Breiten	90
3.4.9	Fazit.....	92
4	Numerische Untersuchungen.....	94

4.1	Allgemeines	94
4.2	Nichtlineare Berechnungen	94
4.2.1	Modellierung.....	94
4.2.2	Materialmodelle	96
4.2.2.1	Beton	96
4.2.2.2	Betonstahl und Baustahl.....	99
4.2.3	Validierung	100
4.2.4	Auswertung.....	102
4.2.4.1	Vorgehen bei der Auswertung der mitwirkenden Breite	102
4.2.4.2	Einflüsse aus dem Versuchsaufbau.....	104
4.2.4.3	Parameterstudie zur mitwirkenden Plattenbreite	106
4.3	Linear-elastische Berechnungen.....	110
4.3.1	Modellierung.....	110
4.3.2	Materialmodelle	115
4.3.3	Validierung	116
4.3.4	Auswertung.....	117
4.3.4.1	Vorgehen bei der Auswertung der mitwirkenden Breite	117
4.3.4.2	Einflüsse aus dem Versuchsaufbau und dem statischen System	117
4.3.4.3	Parameterstudie zur mitwirkenden Plattenbreite	122
4.4	Fazit	131
5	Querkraftdatenbank Platten unter Einzellasten.....	132
5.1	Allgemeines	132
5.2	Übersicht über die Datenbank	132
5.2.1	Aufbau der Datenbank	132
5.2.2	Datengrundlage	133
5.2.3	Auswahl der Versuche für die weitere Auswertung	135
5.2.4	Datengrundlage nach Anwendung der Auswahlkriterien	136
5.2.5	Fazit.....	140
5.3	Überprüfung einzelner Einflussfaktoren	140
5.3.1	Allgemeines	140
5.3.2	Lastabstand und a/d -Verhältnis	141
5.3.3	Einspanngrad.....	142
5.3.4	Größe der Belastungsfläche	145

5.3.5	Versuchskörperbreite	147
5.3.6	Statische Nutzhöhe bzw. Maßstabseffekt	148
5.3.7	Querbewehrungsgrad	149
5.3.8	Fazit.....	150
5.4	Auswertung der Datenbank nach bestehenden Ansätzen	151
5.4.1	Allgemeines.....	151
5.4.2	Vergleich der Bemessungsmodelle	152
5.4.2.1	Auswertung nach Einflussparametern.....	152
5.4.2.2	Statistische Auswertung	154
5.4.3	Bewertung bestehender Ansätze für die mitwirkende Breite.....	156
5.4.3.1	Auswertung nach Einflussparametern.....	156
5.4.3.2	Statistische Auswertung	158
5.4.4	Fazit.....	160
6	Eigene Bemessungsansätze	162
6.1	Allgemeines	162
6.2	Einfluss der Gurtneigung	162
6.2.1	Eigener Vorschlag zur Berücksichtigung bei der Bemessung.....	162
6.2.2	Validierung.....	163
6.2.3	Bedeutung für die Praxis.....	166
6.3	Auflagernahe Einzellasten	166
6.3.1	Modifizierter β -Faktor	166
6.3.2	Validierung.....	168
6.3.3	Bedeutung für die Praxis.....	171
6.4	Maßstabseinfluss.....	171
6.4.1	Modifizierter Maßstabsfaktor.....	171
6.4.2	Kalibrierung und Validierung	172
6.4.3	Bedeutung für die Praxis.....	173
6.5	Mitwirkende Breite für Querkraft.....	173
6.5.1	Modifizierter Ansatz	173
6.5.2	Validierung.....	177
6.5.2.1	Validierung durch zusätzliche experimentelle Untersuchungen.....	177
6.5.2.2	Validierung anhand der Querkraftdatenbank	180
6.5.2.3	Statistische Validierung.....	182

6.5.3	Bedeutung für die Praxis.....	185
6.6	Fazit	189
7	Zusammenfassung und Ausblick	191
	Literatur	197
A	Anhang A: Bemessungsmodelle	A1
A1	Allgemeines	A1
A2	Eurocode 2	A1
A3	Model Code 2010	A3
A4	SIA 262	A4
A5	Shear-flexural strength mechanical model	A6
B	Anhang B: Experimentelle Untersuchungen.....	B1
B1	Versuchsmatrix.....	B1
B2	Versuchsvorbereitung.....	B2
B2.1	Bewehrung.....	B2
B2.2	Herstellung der Versuchskörper	B4
B2.3	Materialkennwerte	B5
B3	Ergänzende Auswertung der Stahldehnungen	B8
C	Anhang C: Querkraftdatenbank Platten unter Einzellasten	C1
C1	Aufbau der Datenbank.....	C1
C2	Kriterien zur Auswahl der Versuche	C3
C3	Datenbank	C5
C4	Vorgehen bei der statistischen Auswertung	C22
C5	Auswertung Querkraftbemessungsansätze (Datenbasis P1a).....	C23
C6	Auswertung Querkraftbemessungsansätze in Verbindung mit Ansätzen für die mitwirkende Breite für Querkraft (Datenbasis P1)	C28
C6.1	Auswertung nach Einflussparametern	C28
C6.2	Statistische Auswertung.....	C50
D	Anhang D: Datenbanken Balken.....	D1
E	Anhang E: Aufbereitung der Normenvorschläge.....	E1
E1	Einfluss der Gurtneigung.....	E1
E2	Auflagernahe Einzellasten	E1
E3	Maßstabseinfluss.....	E2
E4	Mitwirkende Breite für Querkraft.....	E2