

**Berichte aus dem
Konstruktiven Ingenieurbau
Technische Universität Berlin**

Heft 21

Hans Scholz

**Ein Querkrafttragmodell für Bauteile
ohne Schubbewehrung im Bruchzustand
aus normalfestem und hochfestem Beton**



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abstract, Vorwort, Inhaltsverzeichnis	3-18
0 Verwendete Begriffe	19
1 Einleitung	23
1.1 Problemstellung	23
1.2 Ziel der Arbeit	24
2. Theoretische Betrachtungen des Schubtragverhaltens von Bauteilen ohne Schubbewehrung	25
2.1 Allgemeines	25
2.2. Querkrafttragmechanismen	25
2.3 Wichtige Parameter der Querkrafttragfähigkeit	27
2.3.1 Schubslankheit a/d bzw. Slankheit l/d	27
2.3.2 Betonfestigkeiten	28
2.3.3 Längsbewehrungsgrad	28
2.3.4 Bauteilabmessungen	29
2.4 Querkraftversagensarten	29
2.4.1 Scherbruch	30
2.4.2 Schubdruckbruch	30
2.4.3 Schrägzugbruch	31
2.5 Modelle und Theorien zum Schubtragverhalten	32
2.5.1 Übersicht	32
2.5.2 Die Fachwerkanalogie	32
2.5.3 Kammodelle	33
2.5.4 Lastabtragende Druckbögen	35
2.5.5 Theorien auf der Grundlage der Festigkeit der Druckzone	35
2.5.6 Ansätze auf Grundlage der Plastizitätstheorie	36
2.5.7 Empirische Ansätze	36

3	Das dreigeteilte Querkrafttragmodell nach Specht	37
3.1	Gültigkeitsbereich	37
3.2	Kurze Darstellung der Modellentwicklung	37
3.2.1	Traganteil einer Schubbewehrung	38
3.2.2	Betontraganteil	39
3.2.3	Wirkung einer Vorspannung	41
3.2.4	Superposition der drei Traganteile	42
3.3	Betrachtungen am Betontraganteil	43
3.4	Parameterstudie für Träger unter Einzellasten	48
3.4.1	Abstand der Last zum Auflager	49
3.4.2	Längsbewehrungsgrad	49
3.4.3	Statische Höhe d	50
3.4.4	Betondruckfestigkeit	50
3.4.5	Träger unter Gleichlasten	51
3.4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse der Parameterstudie	51
3.5	Überprüfung des dreigeteilten Modells an Versuchen aus der Literatur	52
3.5.1	Verwendete Literatur	52
3.5.1.1	Einzellasten	52
3.5.1.2	Gleichlasten	53
3.5.1.3	Umrechnungen	53
3.5.2	Untersuchung der Datenbasis	54
3.5.2.1	Daten der Versuche mit Einzellasten	54
3.5.2.2	Daten der Versuche mit Gleichstreckenlasten	56
3.5.3	Überprüfung der Vorhersagegenauigkeit für Träger unter Einzellasten	58
3.5.3.1	Versuche mit Festigkeiten $f_{cm} \leq 50 \text{ N/mm}^2$	58
3.5.3.2	Versuche mit Festigkeiten $f_{cm} > 50 \text{ N/mm}^2$	60
3.5.4	Überprüfung der rechnerischen Bruchlast unter Gleichstreckenlasten	62
3.5.5	Zusammenfassung der Ergebnisse der Überprüfung	64
4.	Beschreibung eigener Versuche	65
4.1	Begründung und Zielsetzung	65
4.2	Versuchsprogramm	67
4.2.1	Schal- und Bewehrungspläne	68
4.2.2	Versuchsaufbau und Belastungseinrichtung	69
4.2.3	Meßtechnik	70
4.2.4	Versuchsablauf	71
4.3	Rezepturen	72

4.3.1	Labormischungen	72
4.3.2	Mischreihenfolge	73
4.3.3	Angestrebte Sieblinie für die Mischungen der Versuchsträger	73
4.3.4	Mischungen für die Versuchsträger	74
4.4	Festigkeitsentwicklung	74
4.4.1	Festigkeiten der Versuchsträger	76
4.5	Versuchsauswertung	77
4.5.1	Allgemeines	77
4.5.2	Bruchlasten und Tragverhalten im Bruchzustand	77
4.5.3	Rißbilder und Rißbreiten im Bruchzustand	80
4.5.4	Gemessene Neigungen der Hauptdehnungen in Auflagernähe	82
4.5.5	Dehnungen des schrägen Druckfeldes ($a/d = 2,0$)	84
4.5.6	Beton- und Stahldehnungen im querkraftfreien Bereich	84
4.5.7	Durchbiegungen	84
4.6	Zusammenfassende Wertung der Versuchsergebnisse	85
5	Weiterentwicklung des dreiteiligen Querkrafttragmodells unter Einschluß hoher Festigkeiten	87
5.1	Allgemeines	87
5.1.1	Geometrie des fachwerkgekoppelten Bogen-Zugband-Modells	87
5.1.2	Definition der Bereichsgrenzen	88
5.2	Einfluß des Längsbewehrungsgrads	90
5.2.1	Dübelwirkung der Längsbewehrung	90
5.2.2	Berücksichtigung der Dübelwirkung im Tragmodell	92
5.2.3	Einfluß des Längsbewehrungsgrads auf die Steifigkeit	95
5.3	Schlanke Träger	96
5.3.1	Ansatz der Zugfestigkeit	96
5.3.2	Tragkraft der Zugstrebe und Maßstabeffekte	96
5.3.3	Aufstellen der Gleichgewichtsbedingung	99
5.3.4	Einfluß der Duktilität	99
5.3.5	Besonderheiten bei Gleichstreckenlasten	100
5.4	Gedrungene Träger	101
5.4.1	Lastabtrag bis zum Zeitpunkt der Schrägrißbildung	101
5.4.2	Lastabtrag im Bruchbereich	103
5.4.2.1	Die Untersuchungen von <i>Lehwalter</i> [52]	103
5.4.2.2	Ermittlung der Bruchquerkraft	104
5.4.3	Einfluß einer veränderten Laststellung $a/d < 1,5$	106
5.4.4	Einfluß der Lasteinleitung und Betrachtung der Gleichstreckenlast	107

5.5	Träger im Übergangsbereich	110
5.6	Bestimmung der eingeführten Koeffizienten	113
5.6.1	Koeffizienten schlanker Träger k_1 und k_2	113
5.6.2	Koeffizienten gedrungener Träger k_3 und k_4	115
5.6.3	Koeffizienten für die Träger im Übergangsbereich k_F und k_q	117
5.6.4	Zusammenstellung der Bestimmungsgleichungen	120
5.7	Vergleich mit anderen Bestimmungsgleichungen	121
5.7.1	Versuche mit Einzellasten	122
5.7.2	Versuche unter Gleichstreckenlast	125
5.7.3	Zusammenfassung des Vergleichs mit anderen Ansätzen	126
6	Entwicklung eines Bemessungsmodells	127
6.1	Allgemeines	127
6.2	Ableitung des Bemessungswertes des Querkraftwiderstands	127
6.2.1	Bestimmung eines 5%-Fraktilwerts	127
6.2.2	Bemessungswert des Querkraftwiderstands	129
6.2.3	Parameterstudie des Querkrafttragverhaltens	130
6.2.4	Bemessungswert der Querkrafteinwirkung	134
6.2.5	Kombinierte Beanspruchung aus Gleich- und Einzellasten	134
6.3	Vergleich mit anderen Bemessungsansätzen	135
6.3.1	Verwendete Bemessungsansätze	136
6.3.2	Querkraftwiderstand (schub-)schlanker Träger	136
6.3.3	Querkraftwiderstand gegenüber auflagenahen Lasten	140
6.4	Mindestbügelbewehrung schlanker Balken	141
6.5	Obere Grenze der Tragfähigkeit	143
6.6	Bemessungsbeispiele	146
6.6.1	Schwach beanspruchter Träger	146
6.6.2	Stark beanspruchter Träger unter kombinierter Beanspruchung	148
7	Zusammenfassung und Ausblick	151
7.1	Zusammenfassung	151
7.2	Ausblick	154
8	Literaturverzeichnis	155