

Stahlbetontheorie - Schubbemessung

Seite aktualisiert Mai 2010

zur Auswahl der Hintergrundinformationen ➔

Infos auf dieser Seite als pdf 

Die Eurocode-nahen Normen DIN 1045-1, DIN-Fb 102, ÖN B 4700 und EC 2 sind bis auf wenige Unterschiede identisch. Im Folgenden wird sich auf DIN 1045-1 bezogen, Unterschiede zum DIN-Fachbericht, zur ÖN B 4700 und zum EC 2 sind besonders gekennzeichnet.

Eine Zusammenstellung der korrespondierenden Kapitel, Gleichungen und Tabellen ist hier zu finden. ➔

Anmerkungen zur DIN 1045-1 Die neueste Ausgabe der Norm (August 2008) kann in den *pcae*-Programmen zur Bemessung herangezogen werden.

Unterschiede gegenüber der Ausgabe Juli 2001 sind besonders gekennzeichnet.

Anmerkungen zum Eurocode Die Eurocode-Normen sind nur in Verbindung mit ihren **nationalen Anhängen** gültig, welche für eine Auswahl an Parametern nationale Festlegungen treffen. Im Folgenden wird sich nur auf den Original-Code bezogen.

Die Schubbemessung gliedert sich in die Bemessung für Querkraft, Torsion sowie Querkraft und Torsion. Zunächst wird separat für jede Schnittgröße die erforderliche Bügel- (Querkraft $a_{s,bü}$) bzw. Bügel- und Längsbewehrung (Torsion $a_{s,büT}$ und $A_{s,T}$) ermittelt. Anschließend werden die Bewehrungsquerschnitte anteilig ausgewertet.

Die Materialgüte der Schubbewehrung kann unabhängig von der Biegebemessung gewählt werden.

Analog den **Biegebemessungsmaterialien** steht für senkrecht belastete Flächenträger (Platte, Falwerk, Rechteckquerschnitt mit Kennung 'Platte'), die nach DIN 1045-1, Fb-102, ÖN B 4700 und EC 2 bemessen werden, die Bewehrungsausführung mit „Gitterträgern“ zur Verfügung.

Gitterträger dienen in erster Linie dazu, nachträglich mit Ortbeton ergänzte Deckenplatten (Elementdecken, s.a. **Verbundbauteile** nach DIN 1045-1, 13.4.3) wirtschaftlich und komfortabel herzustellen.

Sie sind nicht genormt, daher wird in den *pcae*-Programmen nicht auf zulassungsspezifische Details eingegangen.

• **DIN 1045-1, 10.3 und 10.4 / DIN-Fb 102, 4.3.2 und 4.3.3 / EC 2, 6.2 und 6.3 / ÖN B 4700, 3.4.4 und 3.4.6**

Die in die Bemessung eingehenden Schnittgrößen sind Bemessungsgrößen.

Materialgüte der Schubbewehrung wie Biegebew. ▼

Bemessung als Platte

Neigungswinkel der Bewehrung α ° Druckstrebenneigungswinkel θ °

vorhandene Zugbewehrung A_{sl} <input type="text" value="0.0"/> cm ²	In die Flansche ausgel. Bewehrungsanteil Σ <input type="text" value="0"/> %
Wirksamkeitsfaktor α_k <input type="text" value="1.00"/>	Eintragungslänge a_v <input type="text" value="0.00"/> m
	Differenzmoment ΔM_{Ed} <input type="text" value="0.00"/> kNm

z^{II} aus Biegebemessung $V_{Rd,ct}$ begrenzen
 Annahme: $z^{II} = 0.9 d$
 Kontrolle: $z^{II} \leq d - 2 c_{nom,L}$ mit $c_{nom,L}$ cm

Schubbewehrung vermeiden (Erhöhung der Längsbew.)
 Schubkraftübertragung in Fugen
 Torsion: effektive Dicke einer Wand t_{eff} cm

Abb. Eigenschaftsblatt aus 4H-BETON

• Querkraftbemessung

Gegenüber den nach DIN 1045 zu führenden Schubspannungsnachweisen sind die Bemessungsmodelle nach DIN 1045-1 für Bauteile mit und ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung mechanisch besser nachvollziehbar und damit verständlicher.

Die Schubbemessung gliedert sich in die Bemessung für die Querkraft, Torsion und Querkraft und Torsion.

Die Bügelbewehrung kann um den Winkel α gegen die Systemachse geneigt sein.

Zunächst wird der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}$ (Abschnitt 10.3.3(1)) berechnet.

Wenn der Bemessungswert der Querkraft $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$ ist, ist rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich.

Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten stabförmigen Bauteilen (Balken) ist jedoch grundsätzlich eine Mindestbügelbewehrung für die Querkraft nach Abschnitt 13.2.3(5) anzuordnen.

• Bemessungswert der ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft

$$V_{Rd,ct} = \left[\frac{0.15}{\gamma_c} \cdot \kappa \cdot \eta_1 \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} - 0.12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d \quad \dots \text{mit } \dots$$

$$\kappa = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2.0$$

$$\eta_1 = 0.40 + 0.60 \cdot \rho / 2200 \quad \rho \text{ in kg/m}^3, \text{ für Normalbeton } \eta_1 = 1.0$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) \leq 0.02 \quad \text{Längsbewehrungsgrad innerhalb der Zugzone des Querschnitts (überdrückte Querschnitte: } \rho_l = 0)$$

b_w wirksame Querschnittsbreite in mm

d statische Nutzhöhe der Biegebewehrung im betrachteten Querschnitt in mm

$\sigma_{cd} = N_{Ed} / A_c$ Bemessungswert der Betonlängsspannung im Schwerpunkt in N/mm²

N_{Ed} Bemessungswert der Längskraft ($N_{Ed} < 0$ als Längsdruckkraft)

Als wirksame Breite b_w wird die minimale Querschnittsbreite in Höhe der resultierenden inneren Schnittgrößen (entweder res. Betondruckkraft oder res. Stahlzugkraft) betrachtet.

Der $V_{Rd,ct}$ -Wert darf auf einen Mindestwert (nicht DIN 1045-1 (7.01)) von

$$V_{Rd,ct} = [\eta_1 \cdot v_{min} - 0.12 \cdot \sigma_{cd}] \cdot b_w \cdot d \quad \dots \text{mit } \dots$$

$$v_{\min} = \frac{\kappa_1}{\gamma_c} \cdot \sqrt{\kappa^3 \cdot f_{ck}} \quad \text{und} \quad \kappa_1 = \begin{cases} 0.0252 & \text{für } d \leq 600 \text{ mm} \\ 0.0375 & \text{für } d \geq 800 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{dazwischen linear interpolieren}$$

begrenzt werden. Bei einer Bemessung nach DIN 1045-1 (7.01) kann der Mindestwert nach DIN-Fb 102 berücksichtigt werden.

ÖN B 4700: Nach 3.4.4.4(1) darf eine Bewehrung zur Aufnahme der schrägen Zugkräfte entfallen, wenn gilt

$$V_{Rd,ct} = [\tau_d \cdot \kappa_c \cdot (12 + 40 \cdot \rho_l) + 0.15 \cdot \sigma_{cd}] \cdot b_w \cdot d \quad \text{mit ...}$$

τ_d Rechenwert der Schubspannung gem. Tab. 4.

Bei frei gewählten Materialparametern wird τ_d programmintern ermittelt mit $\tau_d = 0.09 \cdot f_{ck}^{1/3}$

$\kappa_c = 1.0$ (vereinfachend)

EC 2: Der Bemessungswert des Querkraftwiderstands ergibt sich nach 6.2.2(1) zu

$$V_{Rd,ct} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad \text{... } k = \kappa \text{ (s.o.) ... mit mindestens ...}$$

$$V_{Rd,ct} = [v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad \text{... mit ... } \sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 \cdot f_{cd}$$

Dabei können die Faktoren $C_{Rd,c}$, v_{\min} und k_1 einem nationalen Anhang entnommen werden. Voreingestellt sind

$$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot \sqrt{\kappa^3 \cdot f_{ck}}$$

$$k_1 = 0.15$$

Bei der Plattenbemessung als rein biegebeanspruchtes Bauteil, das bei $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$ ohne Mindestbewehrung (13.3.3(2)) auskommt, spielt der Zug-Längsbewehrungsgrad ρ_l eine entscheidende Rolle.

Das Programm bietet mehrere Möglichkeiten, die in die Bemessung eingehende Längsbewehrung zu berücksichtigen. Sie kann entweder vom Anwender direkt vorgegeben (nur in 4H-BETON als A_{sI} im Eigenschaftsblatt) oder aus der Biegebemessung unter Berücksichtigung der Grundbewehrung ($A_{sI} = \max(A_s, A_{s0})$) übernommen werden.

Als dritte Möglichkeit bietet das Programm eine automatische Erhöhung der Längsbewehrung an (Aktivierung des Buttons ‚Schubbewehrung vermeiden‘), die nur an den fraglichen Stellen und nur in der notwendigen Höhe die Längsbewehrung (natürlich nur bis zum erlaubten Grenzwert) erhöht.

Besonderheiten bei der Schubbemessung unbewehrter Betonquerschnitte →

• Bemessungswert der durch die Tragfähigkeit der Querkraftbew. begrenzten aufnehmbaren Querkraft

Wenn dagegen gilt $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$ ist eine Querkraftbewehrung derart vorzusehen, dass $V_{Ed} \leq V_{Rd,sy}$ (Abs. 10.3.4 (4)) ist.

$$V_{Rd,sy} = a_{s,bü} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha / \alpha_k \quad \text{mit ...}$$

z innerer Hebelarm im betrachteten Bauteilabschnitt

$0.5 \leq \alpha_k \leq 1.0$ Wirksamkeitsfaktor der Rundbügel (nur bei Kreisquerschnitten)

Der innere Hebelarm z ist eine entscheidende Größe bei der Querkraftbemessung und kann auf drei verschiedene Arten angenommen werden:

- z aus der Biegebemessung des zugehörigen N,M-Lastfalls
- n. 10.3.4(2) mit $z = 0.9 \cdot d \leq d - 2 \cdot c_{v,D} \leq d - c_{v,D} - 30 \text{ mm}$ (nur bei geringer Normalkraftbeanspruchung sinnvoll)
- z aus der Biegebemessung (wie 1.) mit der Einschränkung $z \leq d - 2 \cdot c_{v,D} \leq d - c_{v,D} - 30 \text{ mm}$ aus 10.3.4(2)

$c_{v,D}$ Betondeckung der Längsbewehrung in der Betondruckzone (Verlegemaß)

Besonderheiten

- ist der zugehörige N,M-Lastfall Null, wird angenommen $z = 0.9 \cdot d$... mit ... $d = h - \max(h_{s0}, h_{su})$
bei Kreisquerschnitten $d = r_a$
- ist der Querschnitt überdrückt, wird der innere Hebelarm berechnet zu $z = I/S$
I Trägheitsmoment, S statisches Moment um die Schwerachse
- ist der Querschnitt überzogen, ergibt sich z zum Abstand der Bewehrungslagen
- ist $c_{v,D} = 0$, wird vereinfachend angenommen: $c_{v,D} = h_{s,D} - 10 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$
(Annahme einer einlagigen Druckbewehrung mit dem Längsstabdurchmesser $d_s = 20 \text{ mm}$)
- bei Kreisquerschnitten ist bei überzogenem Querschnitt $z = 4/\pi \cdot (r_a - h_{sa})$
- bei Kreisquerschnitten wird die wirksame Querschnittsbreite b_w auf die Breite in Höhe der äußersten Bewehrungslage begrenzt

ÖN B 4700 Zu 2.: Es darf $z = 0.9 \cdot d$ angenommen werden, wenn keine nennenswerte Normalkraft wirkt (3.4.4.2(3)).
3. entfällt.

EC 2 Zu 2.: Es darf $z = 0.9 \cdot d$ angenommen werden, wenn keine Normalkraft wirkt (6.2.3(1)).
3. entfällt.

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft $V_{Rd,sy}$ ($a_{s,bü}$) ist dabei abhängig von der Neigung der Querkraftbewehrung α und der Neigung der Druckstreben $\cot \theta$.

α und θ sind im Eigenschaftsblatt vorzugeben, werden aber programmintern auf ihre Grenzwerte hin überprüft und bei Bedarf angepasst (s. Ausgabeprotokoll).

Grenzwerte der Neigung der Querkraftbewehrung: $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

• Grenzwerte der Neigung der Druckstreben

$$\cot 60^\circ \leq \cot \theta \leq \begin{cases} \frac{1.2 - 1.4 \cdot \sigma_{cd}/f_{cd}}{1 - V_{Rd,c}/V_{Ed}} \leq 3.0 & \dots \text{ für Normalbeton} \\ \leq 2.0 & \dots \text{ für Leichtbeton} \end{cases} \dots \text{ mit } \dots$$

$$V_{Rd,c} = \beta_{ct} \cdot 0.10 \cdot \eta_1 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot (1 + 1.2 \cdot \sigma_{cd}/f_{cd}) \cdot b_w \cdot z$$

$$\beta_{ct} = 2.4$$



Je kleiner θ gewählt wird, desto weniger Bewehrung ergibt sich. Allerdings wirkt sich θ umgekehrt proportional bei der Berechnung der Verankerungslängen der Längsbewehrung (Versatzmaß, 13.2.2(3)) aus!

Vereinfachend darf nach 10.3.4(5) angenommen werden für

- reine Biegung oder Biegung und Längsdruckkraft $\theta = 40^\circ$ ($\cot \theta = 1.2$)
- Biegung und Längszugkraft..... $\theta = 45^\circ$ ($\cot \theta = 1.0$)

ÖN B 4700 Nach 3.4.4.2(7) gilt i.A. ($\sigma_{sd} = f_{yd}$) $0.6 \leq \tan \theta \leq 1.6$

Wenn die Spannung der am Biegezugrand angeordneten Längsbewehrung keine Zugspannung ist und keine Torsion vorliegt, darf gelten $0.4 \leq \tan \theta \leq 2.5$

Zwischenwerte von $0 < \sigma_{sd} < f_{yd}$ dürfen linear interpoliert werden.


EC 2 Der landesspezifische Wert für $\cot \theta$ darf einem nationalen Anhang entnommen werden (6.2.3(2)).
Voreingestellt ist $1.0 \leq \cot \theta \leq 2.5$

• Bemessungswert der durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten aufnehmbaren Querkraft

Allerdings darf der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert $V_{Rd,max}$ überschreiten (Abschnitt 10.3.4(6)).

$$V_{Rd,max} = b_w \cdot z \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot \Theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \Theta} \quad \dots \text{mit} \dots \alpha_c = 0.75 \cdot \eta_1$$

Wird jedoch eine Grundbewehrung a_{sb0} vorgegeben, die größer als die erforderliche Querkraftbewehrung ist, darf die Druckstrebenneigung $\cot \Theta$ zur Ermittlung von $V_{Rd,max}$ um den Anteil a_{sb}/a_{sb0} reduziert werden.

 Da $V_{Rd,max}$ von Θ abhängt, wird im Falle von $V_{Rd,max} > V_{Ed}$ der Winkel Θ innerhalb seiner Grenzen variiert, bis gilt $V_{Ed} = V_{Rd,max}$.

ÖN B 4700 Nach 3.4.4.2(9) gilt

$$V_{Rd,max} = b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\cot \Theta + \cot \alpha) \cdot \sin^2 \Theta \leq 0.7 \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \quad \dots \text{mit} \dots v = 0.7 - \frac{1.5 \cdot f_{cd}}{200} \geq 0.5$$

Für Bauteile unter Längsdruck muss der Bemessungswert des Widerstandes gegen Querkraft abgemindert werden zu

$$V_{Rd,max,red} = 1.67 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{cd,eff}}{f_{cd}}\right) \leq V_{Rd,max} \quad \dots \text{mit} \dots \sigma_{cd,eff} = \frac{N_{Ed} - f_{yd} \cdot A_{s2}}{A_c}$$

A_{s2} Bewehrung auf der Druckseite

EC 2 Nach 6.2.3(3) und (4) gilt

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot \Theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \Theta}$$

Die landesspezifischen Werte v_1 und α_{cw} dürfen einem nationalen Anhang entnommen werden.

Voreingestellt sind

$$v_1 = 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad \dots \text{und} \dots \alpha_{cw} = 1.0$$

• Ausnutzungsgrad des Querschnitts infolge Querkraftbeanspruchung

Die Querkraftausnutzung wird nach Tab. 31 wie folgt ermittelt

Bereich	Querkraftausnutzung*	Festigkeitsklasse des Betons			
		$\leq C50/60$ $\leq LC50/55$	$> C50/60$ $> LC50/55$	$\leq C50/60$ $\leq LC50/55$	$> C50/60$ $> LC50/55$
		Längsabstand		Quersabstand	
1	$V_{Ed} \leq 0.30 V_{Rd,max}$	0.7 h bzw. 300 mm	0.7 h bzw. 200 mm	h bzw. 800 mm	h bzw. 600 mm
2	$0.30 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0.60 V_{Rd,max}$	0.5 h bzw. 300 mm	0.5 h bzw. 200 mm	h bzw. 600 mm	h bzw. 400 mm
3	$V_{Ed} > 0.60 V_{Rd,max}$	0.25 h bzw. 200 mm			

* V_{Ed} und $V_{Rd,max}$ nach 10.3.2 und 10.3.4

ÖN B 4700 AB 1 $V_{Ed} \leq 2/5 \cdot V_{Rd,max}$
 2 $V_{Ed} \leq 2/3 \cdot V_{Rd,max}$
 3 $V_{Ed} > 2/3 \cdot V_{Rd,max}$

EC 2 AB 1 $V_{Ed} \leq 1/3 \cdot V_{Rd,max}$
 2 $V_{Ed} > 1/3 \cdot V_{Rd,max}$

• Mindestquerkraftbewehrung (Abschnitt 13.2.3(5))

Bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen ist eine Mindestquerkraftbewehrung in Höhe von

$$\min \rho_{wv} = \rho = 0.16 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq \rho_{wv} = \frac{a_{s,bü}}{b_{wv} \cdot \sin \alpha}$$

nach Tab. 29 vorzusehen.

ÖN B 4700 Gemäß 3.4.9.4(2) muss die geforderte Bügelbewehrung mindestens dem nachstehend angegebenen Bewehrungsquerschnitt entsprechen

$$a_{sw,min} = \frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{15 \cdot f_{ctm}}{f_{yd}} \cdot b_{wv}$$

EC 2 Nach 9.2.2(5) darf die Mindestquerkraftbewehrung für Balken einem nationalen Anhang entnommen werden. Voreingestellt ist

$$\rho_{wv,min} = 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

Platten und Faltwerke bilden als Flächenträger mit $b/h > 5$ ebenso wie Stützen und Wände als Druckglieder mit $e_d/h \leq 3.5$ eine Ausnahme.

• Anschluss der Gurte an den Balkensteg (Abschnitt 10.3.5)

Bei Plattenbalken und Doppel-T-Querschnitten ist der Anschluss der abstehenden Querschnittsteile (Gurte) an den Balkensteg zu bemessen (z. Z. nur 4H-BETON).

Nähere Informationen finden Sie hier [→](#)

• Schubkraftübertragung in Fugen (Abschnitt 10.3.6)

Für einige Querschnittstypen ist es möglich, die zumeist erhöhte Querkraftbewehrung im Fugenbereich zu berücksichtigen.

Nähere Informationen finden Sie hier [→](#)

• Besonderheiten bei zweiachsiger Querkraftbeanspruchung (geneigter Querkraft)

Die Bemessung kann auf zwei Arten erfolgen:

• Bemessung der Querkraftkomponenten

Die Querkraft wird in ihre Komponenten zerlegt und in den entsprechenden Richtungen (ggf. einschließlich des Torsionsmoments) einachsig bemessen.

Die Vorstellung beruht dabei darauf, dass jede Querkraftkomponente unabhängig von der anderen jeweils eine Bügelschenkelrichtung abdeckt.

Das Bemessungsergebnis ist demnach das Maximum aus den Einzelbemessungen.

• Bemessungsansatz von Peter Mark

Unter den Bedingungen

- Rechteckquerschnitt
- keine Normalkraft
- innerer Hebelarm aus Biegebemessung

kann der Ansatz von P. Mark durchgeführt werden:

Vergrößerung der Bügelkräfte um den Faktor

$$1 \leq 1 + \left(\frac{2}{\sqrt{(b/h)^2 + 1}} \right) \cdot \alpha_v^k < 2$$

Verringerung der maximalen Druckstrebentragfähigkeit um den Faktor

$$1 \leq 1 + \left(\frac{b}{b_{\text{eff}}} - 1 \right) \cdot \alpha_v^k < \frac{b}{b_{\text{eff}}}$$

mit der dimensionslosen Querkraftneigung

$$\alpha_v = \left| \frac{V_{\text{Edy}}}{V_{\text{Edz}}} \right| \cdot \frac{h}{b} \leq 1 \quad \dots \text{ sowie } \dots k = 1/2 \quad \dots \text{ und } \dots b_{\text{eff}} = 0.6 \cdot b$$

Aus Kompatibilitätsgründen (zur einachsigen Querkraftbemessung) ergibt sich die wirksame Querschnittsbreite zu

$$b_{\text{w}} = b \cdot \left(1 + \left(\min(1, h/b) - 1 \right) \cdot \alpha_v^k \right) \leq b$$



Je schiefwinkliger die Querkraft wirkt, um so mehr Bewehrung ergibt sich gegenüber der "Komponenten"-methode. Untersuchungen haben gezeigt, dass die nach der "Komponenten"methode ermittelte Bewehrung ggf. zu gering ist, da das zweiachsige Tragverhalten des Querschnitts nicht erfasst wird.

• Torsionsbemessung

Bei der Bemessung für Torsion ist bei Vollquerschnitten i.d.R. nur die St.Venant'sche Torsion zu betrachten.

Die Torsionstragfähigkeit kann unter Annahme eines dünnwandigen, geschlossenen Querschnitts mit der Ersatzwanddicke $t_{\text{eff}} = 2 \cdot d_1$ nachgewiesen werden.

Bei Hohlquerschnitten darf t_{eff} nicht größer sein als die vorhandene Wanddicke.

Bei schmalen Querschnitten mit $t_{\text{eff}} > b_{\text{w}}/2$ wird gesetzt $t_{\text{eff}} = 2 \cdot (b_{\text{w}}/2 - d_1)$ (auch DIN-Fb 102).

ÖN B 4700 $t_{\text{eff}} = d_0/6$ mit d_0 als Durchmesser des größten, dem tatsächlichen Querschnitt einzuschreibenden Kreises (Hohlquerschnitte s.o.).

EC 2 $t_{\text{eff}} = A_c/u_c$ mit A_c = Gesamtfläche und u_c = äußerer Umfang des Querschnitts (Hohlquerschnitte s.o.).

Zunächst ist zu überprüfen, ob Torsionsbewehrung erforderlich ist (nicht DIN-Fb 102 und ÖN B 4700).

Dies geschieht nach Abschnitt 10.4.1(6) für einen näherungsweise rechteckigen Vollquerschnitt mit

$$T_{\text{Ed}} = (V_{\text{Ed}} \cdot b_{\text{w}}) / 4.5 \quad \dots \text{ und } \dots V_{\text{Ed}} \cdot \left(1 + (4.5 \cdot T_{\text{Ed}}) / (V_{\text{Ed}} \cdot b_{\text{w}}) \right) \leq V_{\text{Rd,ct}}$$

EC 2 Bei näherungsweise rechteckigen Vollquerschnitten ist nur die Mindestbewehrung erforderlich, wenn gilt:

$$T_{\text{Ed}}/T_{\text{Rd,c}} + V_{\text{Ed}}/V_{\text{Rd,ct}} \leq 1.0 \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$$T_{\text{Rd,c}} = \tau_t \cdot t_{\text{eff}} \quad \dots \text{ und } \dots \tau_t = f_{\text{ctd}}$$

$$f_{\text{ctd}} = \alpha_{\text{ct}} \cdot f_{\text{ctk},0.05} / \gamma_c$$

α_{ct} darf einem Nationalen Anhang entnommen werden; voreingestellt ist $\alpha_{\text{ct}} = 1.0$.

• Bemessungswert des durch die Tragfähigkeit der Bew. begrenzten aufnehmbaren Torsionsmoments

Kann der Nachweis nicht erbracht werden, ist mit 10.4.2(3) die Bewehrung zu ermitteln, so dass gilt $T_{\text{Ed}} = T_{\text{Rd,sy}}$.

Der Bemessungswert des aufnehmbaren Torsionsmoments $T_{\text{Rd,sy}}$ ($a_{\text{sbü,T}}$ und $A_{\text{s,T}}$) ist dabei abhängig von der Neigung der Druckstreben $\cot \theta$, die für die Schubkraft in der Wand infolge Querkraft und Torsion (nicht ÖN B 4700 und EC 2).

$$V_{\text{Ed,T+V}} = V_{\text{Ed,T}} + (V_{\text{Ed}} \cdot t_{\text{eff}}) / b_{\text{w}} \quad \dots \text{ mit } \dots b_{\text{w}} \text{ wirksame Querschnittsbreite}$$

zu ermitteln ist. Die Neigung der Druckstreben $\cot \theta$ ist für den Querkraftnachweis gleichermaßen anzuwenden.

Berechnung des Bemessungswertes des aufnehmbaren Torsionsmomentes

$$T_{Rd,sy} = a_{sbü,T} \cdot f_{yd} \cdot 2A_k \cdot \cot \Theta \quad \dots \text{ bzw. } \dots \quad T_{Rd,sy} = A_{s,T} / u_k \cdot f_{yd} \cdot 2A_k \cdot \tan \Theta$$

A_k Kernquerschnitt, durch die Mittellinien der Querschnittswände eingeschlossene Fläche

u_k Umfang der Fläche A_k

• Bemessungswert des durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten aufnehmbaren Torsionsmoments

Allerdings darf der Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmoments in keinem Querschnitt des Bauteils den Wert $T_{Rd,max}$ überschreiten (10.4.2(4)).

$$T_{Rd,max} = \frac{\alpha_{c,red} \cdot f_{cd} \cdot 2A_k \cdot t_{eff}}{\cot \Theta \cdot \tan \Theta} \quad \dots \text{ mit } \dots \text{ (nicht ÖN B 4700 und EC 2) } \quad \alpha_{c,red} = 0.7 \cdot \alpha_c$$

• Bemessung für Querkraft und Torsion

Die maximale Tragfähigkeit bei kombinierter Beanspruchung aus Querkraft und Torsion wird durch die Druckstrebentragfähigkeit begrenzt mit

$$\left[\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \right]^2 + \left[\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \right]^2 \leq 1 \quad \dots \text{ (Kompaktquerschnitte)}$$

EC 2, ÖN B 4700

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1 \quad \dots \text{ (Vollquerschnitte)}$$

• Hauptdruckspannungsnachweis

Wände oder ähnliche, hauptsächlich über Normalkraft abtragende Bauteile sind bezüglich ihrer Hauptdruckspannung zu überprüfen.

Nach 10.6.2(2)a) ist der Bemessungswert der Druckstrebenfestigkeit unter zweiachsigem Druck begrenzt durch

$$\sigma_{Rd,max} \leq f_{ak} \cdot \eta_1 \cdot f_{cd} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad \sigma_2^I \text{ maximale Hauptdruckspannung}$$

ÖN B 4700

$$\sigma_2^I \leq 1.1 \cdot \eta_1 \cdot f_{cd}$$

• DIN 1045, 17.5

Die Bügelbewehrung steht senkrecht auf der Längsbewehrung.

Der Sicherheitsbeiwert für Schub beträgt

$$\gamma_{Schub} = 1.75$$

Abb. Eigenschaftsblatt aus 4H-BETON

Betonstahlgüte der Schubbewehrung	BSt 500 S	<input type="checkbox"/>
Nachweistyp	Balken	gestaff. Feldbewehrung <input type="checkbox"/>
		k_i für $x(Q_{max}) \neq x(M_{max})$ <input type="checkbox"/>
volle Schubdeckung im	SB 2 <input type="radio"/>	In die Zuggurte ausgelagerter Bewehrungsanteil
	SB 1 <input type="radio"/>	
Fertigteil mit Ortbeton	<input type="checkbox"/>	30 %
schiefe Hauptdruckspannungen nach	Grasser (BK'85)	
Querschnitt gilt dann als überdrückt, wenn	$\epsilon_{b2u} \leq 0$ <input checked="" type="radio"/>	
	$\epsilon_{s2u} \leq 0$ <input type="radio"/>	

• Querkraftbemessung

Die Querkraftbemessung hängt entscheidend vom Querschnittszustand (Zustand 1 – ungerissen, voll überdrückt oder Zustand 2 – gerissen) ab.

Bei einem gerissenen Querschnitt wird nach Mörsch zunächst der Grundwert der Schubspannung $\tau_0 = Q/(b_0 \cdot z)$ ermittelt, der von der Lage der Dehnungsnulllinie (k_x und k_z entweder ermittelt aus der Biegebemessung oder unter Annahme eines reinen Biegezustands) abhängig ist.

Als wirksame Breite b_0 wird die Querschnittsbreite in Höhe der Dehnungsnulllinie betrachtet.

Die einzuhaltenden Grenzen der Grundwerte der Schubspannung (Tab. 13) richten sich danach, ob das Bauteil als „Platte“ (keine Querkraftbewehrung im Schubbereich 1) oder als „Balken“ (Mindestquerkraftbewehrung im Schubbereich 1) betrachtet wird.

Tab. 13: Grenzen der Grundwerte der Schubspannung τ_0 in N/mm^2 unter Gebrauchslast

	Bauteil	Schubbereich	Grenzen der Grundwerte der Schubspannung, τ_0 in N/mm^2 für Betonfestigkeitsklasse					Schubdeckung	
			B15	B25	B35	B45	B55		
1a	Platten	1*	τ_{011}	0,25	0,35	0,40	0,50	0,55	s. 17.5.5
1b				0,35	0,50	0,60	0,70	0,80	
2		2	τ_{02}	1,20	1,80	2,40	2,70	3,00	verm. Schubd. Gl. 17 zul.
3	Balken	1	τ_{012}	0,50	0,75	1,00	1,10	1,25	s. 17.5.5
4		2	τ_{02}	1,20	1,80	2,40	2,70	3,00	verm. Schubd. Gl. 17 zul.
5		3	τ_{03}	2,00	3,00	4,00	4,50	5,00	volle Schubd. nur bei d bzw. $d_0 \geq 30$ cm

*Die Werte der Zeile 1a gelten bei gestaffelter, d.h. teilweise im Zugbereich verankerter Feldbewehrung

Bei Platten geht zusätzlich ein, ob die Feldbewehrung „gestaffelt“ eingelegt wird, und ob max IQI und max IMI an der gleichen Stelle auftreten (Faktor k_i).

Reduzierte Grenzs Schubspannungen ergeben sich bei einer Ergänzung von „Fertigteilen mit Ortbeton“.

Bei Platten geht zusätzlich ein, ob die Feldbewehrung „gestaffelt“ eingelegt wird, und ob max IQI und max IMI an der gleichen Stelle auftreten (Faktor k_i).

Reduzierte Grenzs Schubspannungen ergeben sich bei einer Ergänzung von „Fertigteilen mit Ortbeton“.

Die Größe von τ_0 ist ausschlaggebend für den Schubbereich und damit für den Bemessungswert τ , für den die Bügelbewehrung $a_{s,bü}$ bestimmt wird.

Für spezielle Anwendungen kann die Schubspannung auch „voll abgedeckt“ werden. Unabhängig von den Schubbereichen wird bei Platten und Balken ohne Abminderung bemessen. Es besteht die Möglichkeit, entweder nur die Schubbereiche 2+3 oder alle Schubbereiche voll abzudecken.

Bei Plattenbalken und Doppel-T-Querschnitten werden die abstehenden Querschnittsteile (Gurte) nach 18.8.5 (nur **4H-BETON** und **4H-DULAB**) zusätzlich bemessen. Dazu ist für die Bemessung des Zugflansches der in die Gurte ausgelagerte Bewehrungsanteil anzugeben.

Bei Flächentragwerken (Platte oder Falwerk) sollte möglichst auf eine Schubbewehrung verzichtet werden.

Da die Querkraftverteilung i. A. nicht mit der Bewehrungsanordnung übereinstimmt, wird die Hauptquerkraft nachgewiesen und nach Bedarf bemessen.

Dazu werden die benötigten Parameter näherungsweise ermittelt entweder als Minimalwerte sämtlicher zu einem Lastfall gehörender Transformationskombinationen (Standardfall) oder unter Annahme eines reinen Biegezustands (s.o.).

Ist der Querschnitt überdrückt (d.h. die maximale Dehnung ist entweder $\varepsilon_{b2} \leq 0$ oder $\varepsilon_{s2} \leq 0$, frei eingebbar), wird für die Hauptzugspannung nach Mohr $\tau = \sigma_{11}$ bemessen.

Diese ergibt sich für baupraktische Zwecke ausreichend genau zu

$$\sigma_{11} = 0,5 \cdot \left(\sigma_x + \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau^2} \right) \quad \dots \text{mit} \quad \sigma_x \approx N/A \pm M \cdot z/I \quad \dots \text{und} \quad \tau = (Q \cdot S)/(I \cdot b)$$

Für eine genauere Berechnung s. **Friemann**.

• Nachweis der schiefen Hauptdruckspannung

Außerdem ist bei erfolgreicher Querkraftbemessung der Nachweis der schiefen Hauptdruckspannung (wahlweise nach Heft 400, DAfStb oder nach Grasser (BK'85) unter Berücksichtigung des Heftes 320, DAfStb) zu führen.

Literaturangaben s. unten.

• Verfahren nach Heft 400, DAfStb

Bei der Berechnung der schiefen Hauptdruckspannungen wird eine Neigung der Druckstrebe von 45° im Zustand 1 zugrunde gelegt, so dass sich σ_{11} folgendermaßen berechnet:

$$\sigma_{11} = \tau \geq 0.4 \tau_0 = 0.4 \cdot Q_m / (b_1 \cdot z_s) \quad \dots \text{mit} \dots z \text{ innerer Hebelarm}$$

Bei der Annahme lotrechter Bügel und bei einer empfohlenen Druckfeldneigung von $\tan \vartheta = 0.4$

berechnet sich aus τ_0 die schiefe Hauptdruckspannung σ_{211} zu

$$\sigma_{211} = \tau_0 / (\sin \vartheta \cdot \cos \vartheta)$$

Die Begrenzung der Hauptdruckspannung wird n. DIN 1045 angegeben mit $\sigma_{211} \leq 2 \cdot \tau_{03}$

• Verfahren nach Grasser & Heft 320, DAfStb

Die Ermittlung der Neigung des Druckfeldes im Zustand 2 erfolgt zu

$$\tan \vartheta = \tan \vartheta \cdot (1 - \Delta \tau / \tau_1) \geq 0.4 \quad \dots \text{mit} \dots$$

$$\Delta \tau = 0.6 \cdot \tau_{02}$$

$$\tau_1 = Q_m / (b_1 \cdot z_s)$$

$$\tan \vartheta = \sigma_1 / \tau_1$$

Die Berechnung von σ_{211} erfolgt bei Annahme lotrechter Bügel wie im Heft 400 mit dem neu berechneten Neigungswinkels θ

$$\sigma_{211} = \tau_0 / (\sin \vartheta \cdot \cos \vartheta)$$

Nach Heft 320 sind auch Neigungswinkel von $\tan \vartheta < 0.4$ zugelassen.

• Torsionsbemessung

Die Torsionsbemessung ist nur dann durchzuführen, wenn der Grundwert τ_T die Werte $0.25 \tau_{02}$ (s. Tab. 13) überschreitet.

Der Grundwert ist mit den Querschnittswerten nach Zustand 1 zu ermitteln und darf die Werte τ_{02} nicht überschreiten.

Aufgrund des gedachten räumlichen Fachwerks mit unter 45° geneigten Druckstreben ergeben sich eine Bügel- $a_{s,büT}$ und Längsbewehrung $A_{s,T}$.

• Bemessung für Querkraft und Torsion

Der Nachweis von Querkraft und Torsion ist erfüllt, wenn gilt

$$\tau_0 / \tau_{03} + \tau_T / \tau_{02} \leq 1.3 \quad \dots \text{für Bauteildicken} \geq 30 \text{ cm} \quad \dots \text{bzw.} \dots$$

$$(\tau_0 + \tau_T) / \tau_{02} \leq 1.3 \quad \dots < 30 \text{ cm}$$

Die Bewehrungsanteile aus den Einzelnachweisen werden folgendermaßen addiert

$$\text{Bügelbewehrung} \quad a_{s,bü} + 2 \cdot a_{s,büT} \quad (\text{für zweischnittige Bügel})$$

$$\text{Längsbewehrung} \quad A_{s,T}$$

 **Literatur**



© pcae GmbH Kopernikusstr. 4A 30167 Hannover Tel. 0511/70083-0