

Newsletter 18 | 01



Erläuterungen zu wesentlichen Änderungen in DIN 1045-1:2008

von Prof. Dr.-Ing. Alfons Goris

Erläuterungen zu wesentlichen Änderungen in DIN 1045-1:2008

Prof. Dr.-Ing. Alfons Goris

Einführung

Die baupraktische Anwendung von DIN 1045-1:2001 in den letzten Jahren hat zum einen Schwachstellen und Druckfehler aufgedeckt und andererseits auch Auslegungsprobleme deutlich gemacht. Druckfehlerkorrekturen und zahlreiche Auslegungen, die teilweise schon an Normenänderungen grenzten, waren die Folge.

Mit DIN 1045-1, Ausg. 08.2008, liegt jetzt eine konsolidierte Neuausgabe vor; Hintergründe sind neben den genannten Druckfehlerberichtigungen und Auslegungen auch Verbesserungen und Klarstellungen einzelner Nachweisverfahren. Dies betrifft insbesondere die Bereiche

- Expositionsklassen, Mindestbetonfestigkeiten
 - Expositionsklasse W – Alkali-Kieselsäurereaktion – ergänzt
 - Mindestbetonfestigkeitsklassen für Leichtbeton gestrichen
- Betondeckung
 - Ergänzungen zu direkt auf Verbundfugen verlegter Bewehrung
- Querkraftbemessung
 - Ergänzungen zu Bauteilen ohne Querkraftbewehrung (Mindestquerkrafttragfähigkeit)
 - Geänderte Nachweisführung für die Schubkraftübertragung in Fugen
- Durchstanzen
 - Ergänzungen für Wandenden und Wandecken
- Rissbreitenbegrenzung
 - Neuregelung der Mindestbewehrung für Zuggurte und dicke Bauteile
- Bewehrungsregeln
 - Querbewehrung bei Übergreifungsstößen
 - Mindestbewehrung
 - Bügelbewehrung bei Stützen.

Diese (und weitere) Änderungen der Neuausgabe von DIN 1045-1:2008 wurden in der 18. Auflage der *Bautabellen für Ingenieure* und *Bautabellen für Architekten* bereits berücksichtigt, so dass der Leser damit den aktuellen Stand vorliegen hat.

Im nachfolgenden Beitrag sollen **ergänzend** die Auswirkungen der **Änderungen bei der Querkraftbemessung** auf die Bemessungs- und Konstruktionspraxis gezeigt werden.

1 Bauteile ohne Querkraftbewehrung

1.1 Grundsätzliches

Für Platten ohne Querkraftbewehrung ist nachzuweisen, dass die einwirkende Querkraft V_{Ed} den Bemessungswiderstand $V_{Rd,ct}$ nicht überschreitet.

$$V_{Ed} \leq \Omega V_{Rd,ct}$$

Die aufnehmbare Querkraft eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung wird zunächst wie bisher nachgewiesen mit

$$V_{Rd,ct} = [\xi_1 \cdot (0,15/v_c) \cdot \rho \cdot (100\psi_1 \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,12 \cdot \alpha_{cd}] \cdot b_w \cdot d \quad (1)$$

Es sind

$\xi_1 = 1$ für Normalbeton (für Leichtbeton gilt ein modifizierter ξ_1 -Wert)

v_c Sicherheitsbeiwert für Beton (i. Allg. $v_c = 1,5$)

$\kappa = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2$ (d in mm)

b_w kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Nutzhöhe d

d Nutzhöhe

$\alpha_{cd} = N_{Ed}/A_c$ mit N_{Ed} als Längskraft infolge von Last oder Vorspannung (Druck negativ)

ψ_1 Längsbewehrungsgrad $\psi_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) \leq 0,02$; die Bewehrung A_{sl} muss ab der Nachweisstelle mindestens mit $(d + l_{b,net})$ verankert sein (s. hierzu Abb. 1).

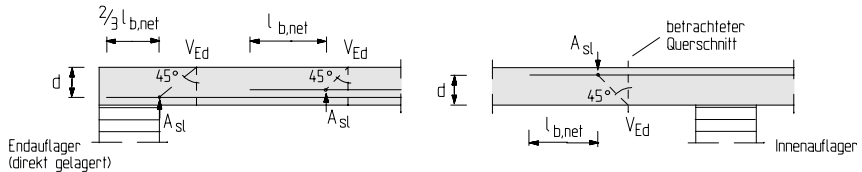


Abb. 1 Definition von A_{sl} nach Gl. (1)

Neu in DIN 1045-1 ist jedoch die Ergänzung, dass $V_{Rd,ct}$ nicht kleiner angesetzt werden muss als die Mindesttragfähigkeit $V_{Rd,ct,min}$, d. h. es gilt zusätzlich

$$V_{Rd,ct} \geq V_{Rd,ct,min}$$

(Erläuterungen zu $V_{Rd,ct,min}$ s. nachfolgend.)

1.2 Mindestquerkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct,min}$

Die Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit nach Gl. (1) wurde (halb-)empirisch abgeleitet. Bei geringen Längsbewehrungsgraden liefert diese Gleichung jedoch zunehmend auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse (für den theoretischen Grenzfall $\psi_1 = 0$ ergibt sich mit Gl. (1) $V_{Rd,ct} = 0$). Im Vorgriff auf den zukünftigen Eurocode 2 wurde daher in der Neufassung der DIN 1045-1 als Mindestquerkrafttragfähigkeit formuliert:

$$V_{Rd,ct,min} = [\xi_1 \cdot (\rho_1/v_c) \cdot (\rho^3 \cdot f_{ck})^{0,5} - 0,12 \cdot \alpha_{cd}] \cdot b_w \cdot d \quad (2)$$

mit $\rho_1 = 0,0525$ für $d \leq 60$ cm

$\rho_1 = 0,0375$ für $d > 80$ cm

(Zwischenwerte interpolieren)

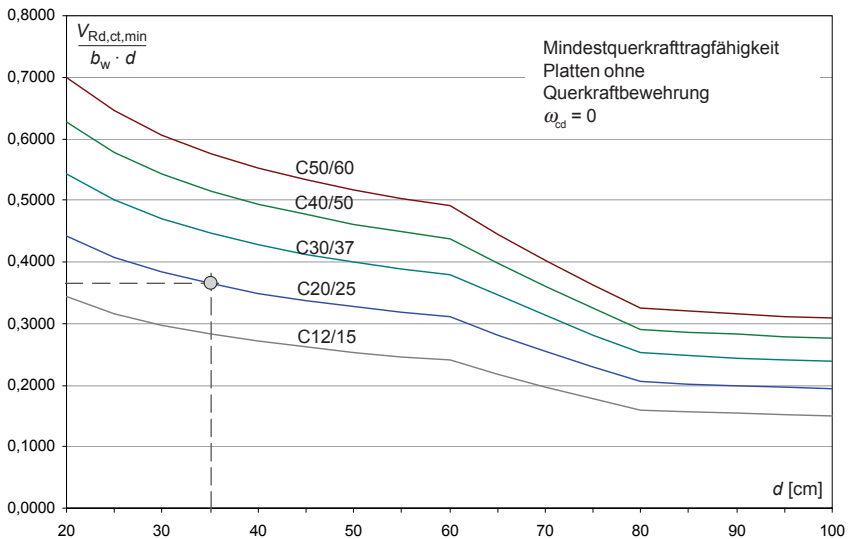
(weitere Formelzeichen s. vorher)

Eine Auswertung von Gl. (2) ist in Tafel 1 (aus [10]) dargestellt. Neben der bezogenen Mindestquerkrafttragfähigkeit $v_{Rd,ct,min} = V_{Rd,ct,min}/(b_w \cdot d)$ ist auch jeweils der Längsbewehrungsgrad anzugeben, mit dem nach Gl. (1) dasselbe Ergebnis erzielt wird. Tafel 1 ist zu entnehmen, dass die Mindestquerkrafttragfähigkeit nach Gl. (2) für übliche Plattentragwerke – bis etwa 30 cm Dicke, Längsbewehrungsgrade ψ_1 von max. 0,4 bis 0,6 %, $\alpha_{cd} = 0$ – günstigere Ergebnisse liefert als eine Berechnung nach Gl. (1) mit Ansatz der tatsächlichen Längsbewehrung.

Tafel 1 Mindestquerkrafttragfähigkeit für Platten bis $d = 100$ cm

d [cm]	Beton C	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60
20	$v_{Rd,ct,min}$	0,343	0,396	0,443	0,495	0,542	0,586	0,626	0,664	0,700
	$\psi_{I,zug}$ [%]	0,420	0,485	0,542	0,606	0,664	0,717	0,767	0,814	0,858
30	$v_{Rd,ct,min}$	0,297	0,343	0,383	0,428	0,469	0,507	0,542	0,575	0,606
	$\psi_{I,zug}$ [%]	0,364	0,420	0,469	0,525	0,575	0,621	0,664	0,704	0,742
40	$v_{Rd,ct,min}$	0,270	0,312	0,349	0,390	0,428	0,462	0,494	0,524	0,552
	$\psi_{I,zug}$ [%]	0,331	0,383	0,428	0,478	0,524	0,566	0,605	0,642	0,676
50	$v_{Rd,ct,min}$	0,253	0,292	0,327	0,365	0,400	0,432	0,462	0,490	0,516
	$\psi_{I,zug}$ [%]	0,310	0,358	0,400	0,447	0,490	0,529	0,566	0,600	0,632
60	$v_{Rd,ct,min}$	0,240	0,277	0,310	0,347	0,380	0,410	0,439	0,465	0,490
	$\psi_{I,zug}$ [%]	0,294	0,340	0,380	0,425	0,465	0,503	0,537	0,570	0,601
70	$v_{Rd,ct,min}$	0,198	0,228	0,255	0,285	0,312	0,337	0,361	0,383	0,403
	$\psi_{I,zug}$ [%]	0,178	0,205	0,230	0,257	0,281	0,304	0,325	0,344	0,363
80	$v_{Rd,ct,min}$	0,159	0,184	0,205	0,230	0,252	0,272	0,291	0,308	0,325
	$\psi_{I,zug}$ [%]	0,099	0,115	0,128	0,144	0,157	0,170	0,182	0,193	0,203
90	$v_{Rd,ct,min}$	0,155	0,179	0,200	0,223	0,244	0,264	0,282	0,299	0,316
	$\psi_{I,zug}$ [%]	0,097	0,112	0,125	0,139	0,153	0,165	0,176	0,187	0,197
100	$v_{Rd,ct,min}$	0,151	0,174	0,195	0,218	0,238	0,258	0,275	0,292	0,308
	$\psi_{I,zug}$ [%]	0,094	0,109	0,122	0,136	0,149	0,161	0,172	0,183	0,192

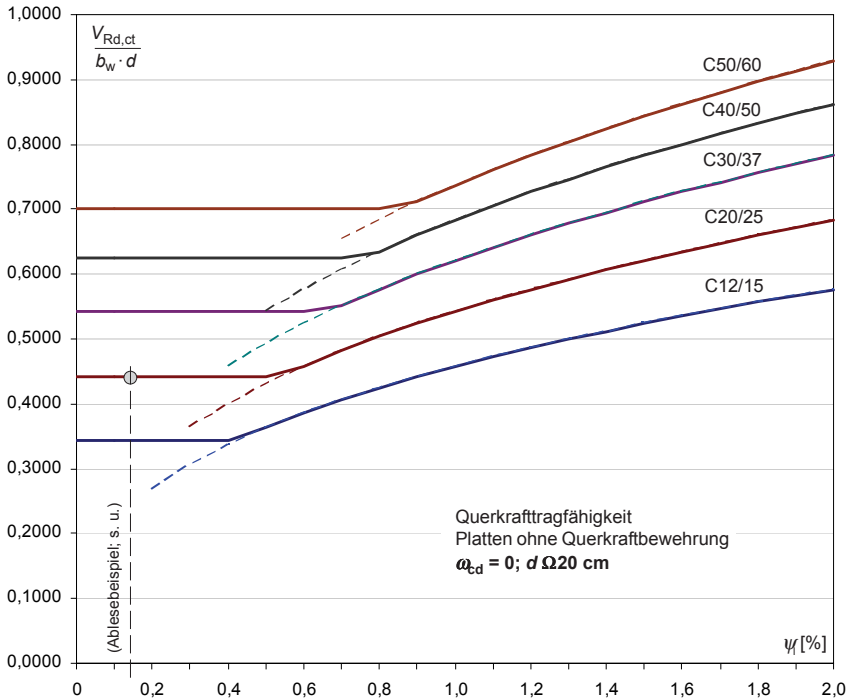
In Abb. 2a (aus [10]) ist der Verlauf der Mindestquerkrafttragfähigkeit nach Gl. (2) in Abhängigkeit von der Nutzhöhe d dargestellt, die Abminderung infolge des ρ -Wertes im Bereich $d \geq 20$ cm und die zusätzliche Reduzierung infolge ρ_1 im Bereich $d \geq 60$ cm ist deutlich zu erkennen.

**Ablesebeispiel**

Platte mit $d = 35$ cm, $V_{Ed} = 80,0$ kN/m, C20/25 (Voraussetzung für Abb. 2a mit $\alpha_{bd} = 0$ erfüllt)
 Mindestquerkrafttragfähigkeit $v_{Rd,ct,min} = 0,37$ MN/m²
 $V_{Rd,ct} = 0,37 \cdot 1,0 \cdot 0,35 = 0,130$ MN/m = 130 kN/m
 Nachweis: $V_{Ed} = 80,0$ kN/m $\{ V_{Rd,ct} = 130$ kN/m \downarrow keine Querkraftbewehrung erforderlich

Abb. 2a Mindestquerkrafttragfähigkeit von Platten ohne Querkraftbewehrung

Für Platten mit Nutzhöhen $d \geq 220$ cm und $\alpha_{ct,d} = 0$ kann als „durchgängige“ Bemessungshilfe – d. h. Querkrafttragfähigkeit unter Berücksichtigung des Längsbewehrungsgrades gemäß Gl. (1) und als Mindestwert nach Gl. (2) – Abb. 2b genutzt werden. Eingangswert ist der maßgebende Längsbewehrungsgrad, Ablesewert ist dann die bezogene Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}/(b_w \cdot d)$. Vielfach genügt es aber auch, ohne Berechnung von ψ direkt die Mindestquerkrafttragfähigkeit in Abhängigkeit von der jeweiligen Betonfestigkeitsklasse abzulesen und mit der einwirkenden Querkraft zu vergleichen.



Ablesebeispiel

Platte mit $d = 18$ cm, $V_{Ed} = 36,6$ kN/m, Beton C20/25
 (Voraussetzung für Abb. 2b mit $d \geq 220$ cm und $\alpha_{ct,d} = 0$ erfüllt)
 Längsbewehrungsgrad $\psi = 0,0016$ (Annahme)
 $V_{Rd,ct} = 0,44$ MN/m²
 $V_{Rd,ct} = 0,44 \cdot 1,0 \cdot 0,18 = 0,0792$ MN/m = 79,2 kN/m
 Nachweis: $V_{Ed} = 36,6$ kN/m $\{ V_{Rd,ct} = 79,2$ kN/m
 ↓ keine Querkraftbewehrung erforderlich

Abb. 2b Querkrafttragfähigkeit von Platten ohne Querkraftbewehrung ($d \geq 220$ cm, $\alpha_{ct,d} = 0$); aus [10]

2 Schubkraftübertragung in Fugen

Bei nachträglich ergänzten Betonquerschnitten ist die Schubkraftübertragung in Fugen nachzuweisen. Die Regelungen in der bisherigen DIN 1045-1:2001 sind für eine praktische Anwendung missverständlich formuliert und liefern insbesondere bei schmalen Verbundfugen wenig zufriedenstellende Ergebnisse. Die Neufassung von DIN 1045-1:2008 schafft für den Fugennachweis Klarheit.

2.1 Einführung

Fugen können senkrecht zur Beanspruchung oder in Richtung der Beanspruchung angeordnet sein (Abb. 3; vgl. [7]). Je nach Lage der Fuge zur Beanspruchungsrichtung tritt eine Biegeschubbeanspruchung auf (z. B. bei vertikalen Betonierfugen in biegebeanspruchten Bauteilen) oder eine Längsschubbeanspruchung (z. B. bei mit Ortbeton ergänzten Fertigplatten).

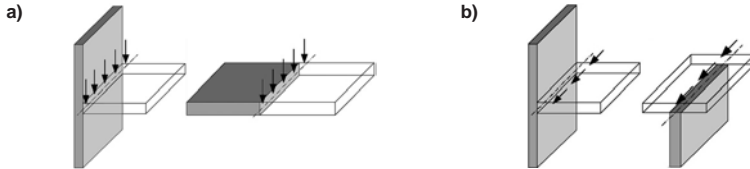


Abb. 3 Verbundfuge senkrecht (a) und parallel (b) zur Bauteilachse

2.2 Fugen papallel zur Bauteilachse

2.2.1 Grundlagen

Der Tragwiderstand $v_{Rd,j}$ von schubbeanspruchten Fugen setzt sich aus verschiedenen Mechanismen und Traganteilen zusammen (vgl. Abb. 4):

$$v_{Rd,j} = v_{Rd,c} + v_{Rd,r} + v_{Rd,s} \Omega v_{Rd,max} \quad (3)$$

$v_{Rd,c}$ Traganteil aus Adhäsion und mikromechanischer Verzahnung (Haftverbund)

$v_{Rd,r}$ Traganteil infolge Reibung in der Fuge

$v_{Rd,s}$ Traganteil der Bewehrung

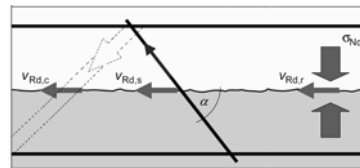


Abb. 4 Traganteile bei schubbeanspruchten Fugen; vgl. [7]

Grundlage des semi-empirischen Ansatzes in DIN 1045-1 [2] ist die Bemessungsgleichung in DIN EN 1991-1-1 [4], die Anteile sind dort wie folgt formuliert (Schreibweise der DIN 1045-1:2008 angepasst):

$$- \text{Adhäsionsanteil: } v_{Rd,c} = c_j \cdot f_{ctd} \cdot b \quad (4a)$$

$$- \text{Reibungsanteil: } v_{Rd,r} = -\sigma \cdot \omega_{Nd} \cdot b \quad (4b)$$

$$- \text{Bewehrungsanteil: } v_{Rd,s} = \sigma \cdot a_{sj} \cdot f_{yd} \cdot \sin \zeta + a_{sj} \cdot f_{yd} \cdot \cos \zeta \quad (4c)$$

mit ω_{Nd} als Normalspannung senkrecht zur Fuge ($\omega_{Nd} < 0$ als Betondruckspannung) und σ als Reibungsbeiwert sowie c_j als Rauigkeitsbeiwert in Abhängigkeit von der Fugenbeschaffenheit.

Der Einfluss einer Verbundbewehrung wird über den Traganteil $v_{Rd,s}$ erfasst. Dabei wird unterstellt, dass die Verbundbewehrung die Streckgrenze f_{yk} erreicht. Die vertikale Komponente des Bewehrungsanteils ($\sigma \cdot a_{sj} \cdot f_{yd} \cdot \sin \zeta$) wird mit der sog. Schub-Reibungstheorie begründet. Dieser liegt die Vorstellung zugrunde, dass es bei einer gegenseitigen horizontalen Verschiebung d_h der Fugenränder auch zu einer vertikalen Verschiebung d_v infolge der Rauigkeit der Fuge kommt, die zu einer (Vor-)Spannung der Verbundbewehrung und damit zu einer Druckspannung auf die Fuge führt. Letztere aktiviert dann die Reibungskraft (vgl. Abb. 5).

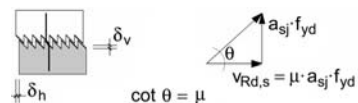


Abb. 5 Erläuterung zur Schub-Reibungstheorie bei lotrechter Verbundbewehrung; vgl. [8]

Dieser Ansatz wurde im Vorgriff auf die zukünftige europäische Regelung prinzipiell auch für DIN 1045:2008 übernommen. Lediglich der Traganteil der Verbundbewehrung aus der Schubneigung wurde um 20 % (Faktor 1,2 in Gl. (5c)) erhöht und damit der Druckstrebenneigung der Querkraftbemessung angepasst; es ergibt sich dann (Gl. (5a) und (5b) unverändert):

$$- \text{ Adhäsionsanteil: } v_{\text{Rd},c} = c_j \cdot f_{\text{ctd}} \cdot b \quad (5a)$$

$$- \text{ Reibungsanteil: } v_{\text{Rd},r} = -\sigma \cdot a_{\text{Nd}} \cdot b \quad (5b)$$

$$- \text{ Bewehrungsanteil: } v_{\text{Rd},s} = 1,2 \cdot \sigma \cdot a_{\text{sj}} \cdot f_{\text{yd}} \cdot \sin \zeta + a_{\text{sj}} \cdot f_{\text{yd}} \cdot \cos \zeta \quad (5c)$$

2.2.2 Nachweis nach DIN 1045-1:2008

Wie generell im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist auch hier nachzuweisen, dass die Einwirkung die Tragfähigkeit nicht überschreitet:

$$v_{\text{Ed}} \Omega v_{\text{Rd}}$$

mit v_{Ed} als Bemessungswert der einwirkenden Schubkraft je Längeneinheit und v_{Rd} als Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft.

2.2.2.1 Einwirkung v_{Ed}

Die aufzunehmende Bemessungsschubkraft v_{Ed} darf die aufnehmbare v_{Rd} nicht überschreiten. Der Bemessungswert der aufzunehmenden Schubkraft je Längeneinheit v_{Ed} ergibt sich zu

$$v_{\text{Ed}} = \eta_1 \cdot \frac{V_{\text{Ed}}}{z} \quad (6)$$

mit η_1 als Quotient aus der Längskraft im Aufbeton und der Gesamtlängskraft (Gesamtlängskraft infolge Biegung: M_{Ed}/z), V_{Ed} als Bemessungsquerkraft, z als Hebelarm der inneren Kräfte. Abb. 6 zeigt das zugrunde liegende Modell der Fugenbemessung eines Plattenbalkens. In Abb. 6a liegt die gesamte Betondruckkraft F_{cd} im Aufbeton, die Fuge ist demnach mit $\eta_1 = 1$ zu bemessen; in Abb. 6b liegt ein Anteil der Betondruckkraft im Fertigteil ($F_{\text{cd},w}$), die Fuge muss daher nur für den Anteil $F_{\text{cd},f}$ im Aufbeton, d. h. mit $\eta_1 < 1$, bemessen werden. (Zusätzlich ist die Querkraftbemessung des monolithischen Gesamtquerschnitts ohne Abminderungen durchzuführen.)

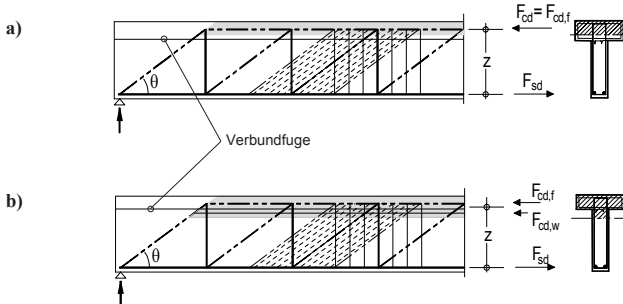


Abb. 6 Fachwerkmodell für die Fugenbemessung

a) Fuge unterhalb der Druckzone (gesamte Gurtlängskraft F_{cd} liegt im Aufbeton, d. h. $\eta_1 = 1,0$)

b) Fuge innerhalb der Druckzone (nur Gurtlängskraftanteil $F_{\text{cd},f}$ liegt im Aufbeton, d. h. $\eta_1 < 1,0$)

Wie auch bei der Querkraftbemessung des Balkensteges darf die günstige Wirkung einer direkten Krafteinleitung der Druckstrebe bei direkter Lagerung berücksichtigt werden. Der Bemessungswert der Schubkraft $v_{\text{Ed},j}$ wird dann im Abstand d_j vom Auflagerand bestimmt; d_j ergibt sich dabei aus der Nutzhöhe bis zur Verbundfuge (s. Abb. 7).

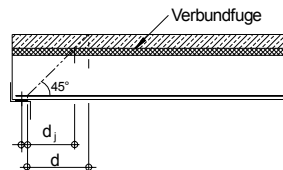


Abb. 7 Bemessungsschnitt bei direkter Lagerung

2.2.2.2 Tragfähigkeit nach DIN 1045-1:2008

Fugenausbildung

Die Tragfähigkeit wird entscheidend durch die Fugenrauigkeit beeinflusst. Es wird unterschieden:

- **sehr glatte Fuge**, wenn gegen Stahl, Kunststoff oder glatte Holzschalungen betoniert wird oder wenn der erste Betonierabschnitt mit einer Konsistenz ØF5 betoniert wird;
- **glatte Fuge**, die abgezogen oder im Gleit- bzw. Extruderverfahren hergestellt wird oder die nach dem Verdichten ohne weitere Behandlung bleibt;
- **raue Fuge**, bei der die Oberfläche mit mind. 3 mm Rauigkeit mit ca. 40 mm Abstand ausgeführt wird; alternativ kann nach DAfStb-H. 525 nachgewiesen werden (vgl. Abb. 8a):
 - mittlere Rautiefe $R_t \text{Ø} 1,5 \text{ mm}$ oder
 - maximale Profilkuppenhöhe $R_p \text{Ø} 1,1 \text{ mm}$;
- **verzahnte Fuge**, die eine Verzahnung nach Abb. 8b ausweist; eine Verzahnung liegt auch vor, wenn bei Gesteinskörnung $d_g \text{Ø} 16 \text{ mm}$ das Korngerüst mind. 6 mm tief freigelegt wird oder die mittlere Rautiefe $R_t \text{Ø} 3,0 \text{ mm}$ bzw. die max. Profilkuppenhöhe $R_p \text{Ø} 2,2 \text{ mm}$ ist.

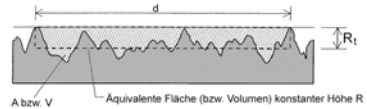


Abb. 8a Definition der Oberflächenrauigkeit nach DAfStb-H. 525

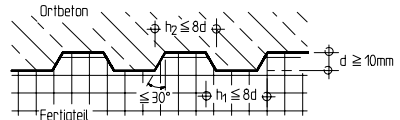
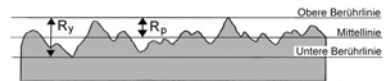


Abb. 8b Definition einer Fugenverzahnung

Tragfähigkeit ohne oder mit Verbundbewehrung

Die aufnehmbare Bemessungsschubkraft (ohne Anordnung oder mit Anordnung einer Verbundbewehrung) ergibt sich zu:

$$v_{Rdj} = [\xi_1 \cdot c_j \cdot f_{ctd} - \sigma \cdot \omega_{Nd}] \cdot b + v_{Rdj, sy} \cdot \Omega v_{Rdj, max} \quad (7)$$

b Breite der Kontaktfuge zwischen Ortbeton und Fertigteil

$$f_{ctd} = f_{ctk;0.05} / \gamma_c$$

Bemessungswert der Betonzugfestigkeit (in N/mm^2) des Ortbetons oder des Fertigteils; der kleinere Wert ist maßgebend; i. Allg. ist $\gamma_c = 1,8$ (γ_c für unbewehrten (!) Beton)

ω_{Nd} Normalspannung senkrecht zur Fuge mit $|\omega_{Nd}| \leq 0,6 \cdot f_{cd}$ (Druck negativ)

c_j Beiwert nach Tafel 2

(bei dynamischer Beanspruchung gilt generell $c_j = 0$)

$\xi_1 = 1,0$ für Normalbeton (für Leichtbeton muss ξ_1 modifiziert werden)

σ Beiwert der Schubreibung nach Tafel 2

$v_{Rdj, sy} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \cdot \sin \zeta + \cos \zeta)$; Traglastanteil der Verbundbewehrung

a_s Querschnitt der die Fuge kreuzenden Bewehrung je Längeneinheit

ζ Neigung der Bewehrung gegen die Kontaktfläche Ortbeton/Fertigteil mit $45^\circ \leq \zeta \leq 90^\circ$

Tafel 2 Beiwerte c_j und σ

Oberfläche	c_j	σ
verzahnt	0,50	0,9
rau	0,40 ^{a)}	0,7
glatt	0,20 ^{a)}	0,6
sehr glatt	0	0,5

^{a)} Bei Zug senkrecht zur Fuge und bei Fugen zwischen nebeneinander liegenden Fertigteilen ohne Verbindung durch Mörtel oder Kunstharz gilt $c_j = 0$.

Der Bemessungswert der max. aufnehmbaren Schubkraft beträgt:

$$v_{Rdj,max} = 0,5 \cdot \eta_1 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b \quad (8)$$

v Abminderungsfaktor; hierfür gilt

$v = 0,70$ für verzahnte Fugen

$v = 0,50$ für raue Fugen

$v = 0,20$ für glatte Fugen

$v = 0$ für sehr glatte Fugen; der Reibungsanteil $\mu \cdot \sigma_{Nd}$ in Gl. (7) darf ausgenutzt werden (maximal jedoch nur $v_{Rdj,max}$ für glatte Fugen)

Falls rechnerisch keine Verbundbewehrung erforderlich ist, sind konstruktive Maßnahmen zu beachten. Forderungen einer Zulassung, des Brandschutzes etc. sind zu berücksichtigen.

Die aufnehmbare Querkraft von *ausbetonierten Fugen in Scheiben* aus Platten- oder Wandbauteilen kann analog ermittelt werden. Die Bemessungsschubkraft ist jedoch für die mittlere Scheibenkraft v_{Rd} zwischen Platten zu begrenzen auf

– $b \cdot 0,15 \text{ N/mm}^2$ für raue und glatte Fugen

– $b \cdot 0,10 \text{ N/mm}^2$ für sehr glatte Fugen.

Die Verbundbewehrung ist kraftschlüssig nach beiden Seiten der Kontaktfläche zu verankern. Die Bewehrung darf gestuft verteilt werden (vgl. Abb. 9).

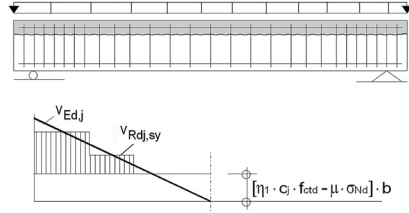


Abb. 9 Staffelung der Verbundbewehrung

2.2.3 Vergleich mit den bisherigen Regelungen

Die Auswirkungen von DIN 1045-1:2008 im Vergleich zur DIN 1045-1:2001 werden nachfolgend für Normalbeton gegenübergestellt. Dabei interessiert insbesondere

- die Tragfähigkeit von Fugen ohne Verbundbewehrung ($v_{Rd,ct}$)
- die Maximaltragfähigkeit der Fuge ($v_{Rdj,max}$) bei Anordnung von Verbundbewehrung.

Für Normalbeton mit $\sigma_{Nd} = 0$ (d. h., keine Normalspannung senkrecht zur Fuge) darf eine Verbundfuge ohne Bewehrung ausgeführt werden, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\text{DIN 1045-1:2001: } v_{Ed,j} \leq v_{Rd,ct} = 0,42 \cdot \beta_{ct} \cdot 0,10 f_{ck}^{1/3} \cdot b \quad (9a)$$

$$\text{DIN 1045-1:2008: } v_{Ed,j} \leq v_{Rdj} = c_j \cdot f_{ctd} \cdot b \quad (9b)$$

Ein Vergleich für glatte und raue Fugen zeigt Abb. 10.

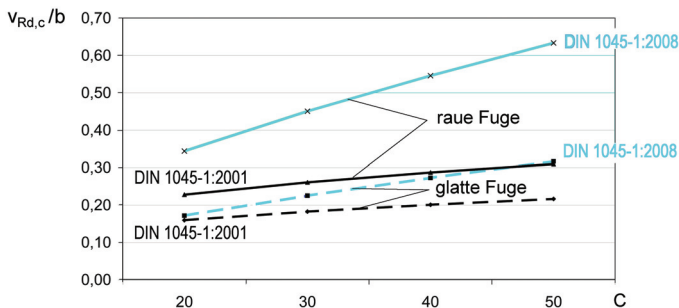


Abb. 10 Tragfähigkeit der unbewehrten Verbundfuge

Die rechnerisch größte Tragfähigkeit ($v_{Rdj,max}$) wird nach DIN 1045-1:2001 durch Einhaltung der Grenze $\cot \chi \geq 1$ erreicht. Man erhält für Normalbeton

$$\cot \chi \geq \frac{1,2 \sigma}{1 - v_{Rd,ct} / v_{Edj}} \geq 1,00$$

mit $v_{Rd,ct} = v_{Rd,c} = 0,42 \cdot \eta_{ct} \cdot 0,10 f_{ck}^{1/3} \cdot b$ lässt sich als Maximaltragfähigkeit daraus herleiten

$$v_{Rdj,max} = v_{Rd,c} / (1 - 1,2 \sigma) = 0,042 \cdot \eta_{ct} \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot b / (1 - 1,2 \sigma) \quad (10)$$

In DIN 1045-1:2008 wird die Druckstrebenragfähigkeit gemäß Gl. (8) bestimmt:

$$v_{Rdj,max} = 0,5 \cdot \tau \cdot f_{cd} \cdot b \quad (11)$$

Ein Vergleich der Maximaltragfähigkeiten zeigt Tafel 3. Von Bedeutung ist dabei insbesondere der zu erkennende erhebliche Unterschied der Grenztragfähigkeiten. Zum Vergleich ist daher zusätzlich auch der bisherige „Erfahrungsbereich“ mit DIN 1045, Ausg. '88 [5] dargestellt. Danach waren glatte Fugen nicht zulässig, für raue Fugen war die Grenze η_{02} und für den monolithischen Querschnitt η_{03} einzuhalten. (*Hinweis:* In Tafel 3 wurden zur Berücksichtigung des unterschiedlichen Sicherheits-“niveaus“ die Grenzwerte η_{02} nach DIN 1045 (88) mit einem mittleren Lastsicherheitsbeiwert $\psi_F = 1,4$ erhöht.)

Tafel 3 Maximaltragfähigkeit $v_{Rdj,max}/b$ nach DIN 1045-1:2001 und DIN 1045-1:2008

Beton			C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	
Fuge	monolithisch	DIN 1045-1	5,00	5,31	6,38	7,44	8,50	9,56	10,6	
		DIN 1045:1988	4,20	-	5,60	6,30	-	7,00	-	
	rau	DIN 1045-1:2001	1,43	1,54	1,63	1,72	1,80	1,87	1,93	
		DIN 1045-1:2008	2,83	3,54	4,25	4,96	5,67	6,38	7,08	
	glatt	DIN 1045-1:2001	2,50	-	3,36	3,78	-	4,20	-	
		DIN 1045-1:2008	0,57	0,61	0,65	0,69	0,72	0,75	0,77	
			DIN 1045-1:2008	1,13	1,42	1,70	1,98	2,27	2,55	2,83

Im Abb. 11 ist die erforderliche Verbundbewehrung in Abhängigkeit von der bezogenen einwirkenden Schubkraft dargestellt. Es wird ein Beton C20/25 und Betonstahlbewehrung BSt 500 unterstellt; die Bewehrung soll senkrecht zur Bauteilachse ($\zeta = 90^\circ$) angeordnet werden. Eine Normalspannung senkrecht zur Fuge sei nicht vorhanden, es wird von einer rauen Fugenausführung ausgegangen.

Man erhält als erforderliche Verbundbewehrung:

$$\text{DIN 1045-1:2001: } a_s \varnothing v_{Edj} / (f_{yd} \cdot \cot \chi) = v_{Edj} / (f_{yd} \cdot 1,2 \cdot \sigma / (1 - v_{Rd,c} / v_{Edj})) \quad (12)$$

$$\text{DIN 1045-1:2008: } a_s \varnothing \frac{v_{Edj} - v_{Rd,ct}}{f_{yd} \cdot 1,2 \cdot \sigma \cdot \sin \zeta} = \frac{v_{Edj} - c_j \cdot f_{ctd} \cdot b}{1,2 f_{yd} \cdot \sigma} \quad (13)$$

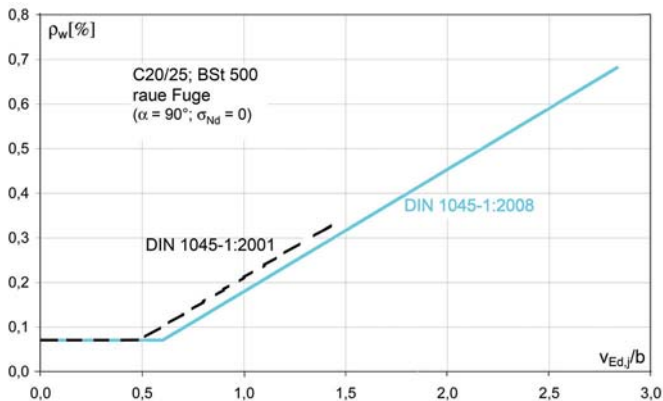
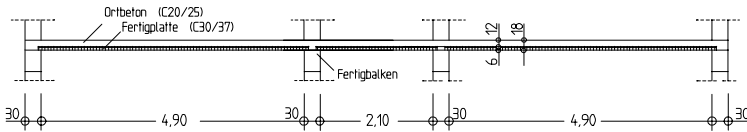


Abb. 11 Erforderliche Verbundbewehrung für Balkenragwerke mit einer **rauen** Fugenausbildung nach DIN 1045-1:2008 und DIN 1045-1:2001

2.2.4 Beispiele

Beispiel 1 (vgl. [12])

Stahlbetondecke über 3 Felder, üblicher Hochbau, Ausführung als Teilfertigdecke (s. Darstellung); im Rahmen des Beispiels soll nur die Verbundfuge an der Stütze A nachgewiesen werden.



System, Belastung

Statisches System: Dreifeldträger mit Stützweiten $l_1 = 5,20$ m, $l_2 = 2,40$ m und $l_3 = 5,20$ m
 Belastung: $g_k = 6,00$ kN/m²; $q_k = 5,00$ kN/m² \downarrow ($g_d + q_d$) = 15,60 kN/m²

Querkraft an Stütze A:

$$V_{Ed,A} = 34,25 \text{ kN/m}$$

Schubkraft an Stütze A

$$V_{Ed} = 34,25 - 15,60 \cdot (0,15 + 0,035) = 31,4 \text{ kN/m} \quad \text{Abstand } d_j = 0,035 \text{ m vom Auflagerend}$$

In der Kontaktfuge zu übertragende Gurtlängskraft

$$v_{Ed,j} = \eta_t \cdot V_{Ed} / z$$

$$\eta_t = F_{cd,j} / F_{cd} = 1$$

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot 0,155 = 0,14 \text{ m}$$

(Annahme: $d = 0,155$ m)

$$v_{Ed,j} = 1 \cdot 31,4 \cdot 10^{-3} / 0,14 = 0,224 \text{ MN/m}^2$$

Gesamte Gurtlängskraft muss durch die Verbundfuge übertragen werden; ohne Nachweis.

Ist die Verbundbewehrung gleichzeitig Querkraftbewehrung, ist zusätzlich einzuhalten $z = d - 2 \cdot c_{v,1} \cdot \varnothing d - c_{v,1} - 30$ mm
 (Definition nach DIN 1045-1:2008).

Nachweis nach DIN 1045-1:2001

Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft bei Verzicht auf Verbundbewehrung

$$v_{Rd,ct} = [0,042 \cdot \xi_1 \cdot \eta_{ct} \cdot f_{ck}^{1/3} - \sigma \cdot \omega_{Nd}] \cdot b_j$$

$$\xi_1 = 1$$

$$\eta_{ct} = 1,4 \quad (\text{Annahme: glatte Fuge})$$

$$f_{ck} = 20 \text{ MN/m}^2$$

$$\omega_{Nd} = 0$$

$$v_{Rd,ct} = 0,042 \cdot 1,4 \cdot 20^{1/3} = 0,160 \text{ MN/m}^2 > v_{Ed,j}$$

\downarrow Verbundbewehrung erforderlich

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft bei Anordnung von Verbundbewehrung

$$v_{Rd,sy} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (\cot \chi + \cot \zeta) \cdot \sin \zeta - \sigma \cdot \omega_{Nd} \cdot b_j$$

$$\cot \chi = \frac{1,2 \sigma}{(1 - v_{Rd,c} \cdot v_{Ed})} \cdot \frac{\varnothing 1,0}{\Omega 3,0}$$

$$\sigma = 0,6$$

$$v_{Rd,c} = 0,160 \text{ MN/m}^2$$

$$\cot \chi = 1,2 \cdot 0,6 / (1 - 0,160 / 0,224) = 2,52 < 3$$

$$\zeta = 45^\circ \quad (\text{Gitterträger mit } \zeta = 45^\circ)$$

$$a_s \cdot \varnothing v_{Ed,j} / [f_{yd} \cdot (\cot \chi + \cot \zeta) \cdot \sin \zeta]$$

$$f_{yk} = 420 \text{ MN/m}^2 \quad (\text{Diagonale BST 500 G})$$

$$a_s = 0,224 \cdot 10^4 / [365 \cdot (2,52 + 1,00) \cdot 0,707] = 2,47 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Zusätzlich sind konstruktive Regelungen zu beachten.

Nachweis nach DIN 1045-1:2008

Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft bei Verzicht auf Verbundbewehrung

$$v_{Rd,ct} = [\xi_1 \cdot c_j \cdot f_{ctd} - \sigma \cdot \omega_{Nd}] \cdot b$$

$$\xi_1 = 1$$

$$c_j = 0,20$$

(Annahme: glatte Fuge)

$$f_{ctd} = 1,5 / 1,8 = 0,83 \text{ MN/m}^2$$

$$\omega_{Nd} = 0$$

$$v_{Rd,ct} = 0,20 \cdot 0,83 = 0,167 \text{ MN/m}^2 > v_{Ed,j}$$

\downarrow Verbundbewehrung erforderlich

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft der Verbundbewehrung

$$v_{Rd,sy} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (1,2 \sigma \cdot \sin \zeta + \cos \zeta)$$

$$\sigma = 0,6$$

$$\zeta = 45^\circ$$

Gesamtragfähigkeit

$$v_{Rd,j} = v_{Rd,ct} + v_{Rd,sy} \downarrow$$

$$a_s \cdot \varnothing \frac{v_{Ed,j} - v_{Rd,ct}}{f_{yd} \cdot (1,2 \sigma \cdot \sin \zeta + \cos \zeta)}$$

$$= \frac{0,224 - 0,167}{365 \cdot (1,2 \cdot 0,60 \cdot 0,707 + 0,707)} \cdot 10^4$$

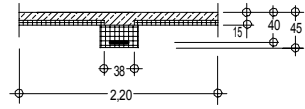
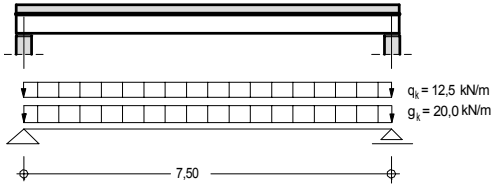
$$= 1,28 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Zusätzlich sind konstruktive Regelungen zu beachten.

Beispiel 2 (vgl. [10], [12])

Für den dargestellten Plattenbalken soll die Querkraft an der maßgebenden Stelle am Auflagerrand nachgewiesen werden. Der Nachweis wird im Rahmen des Beispiels nur für den Endzustand geführt.

Baustoffe: Beton C20/25 (Ortbeton); C30/37 (Fertigteile)
Betonstahl: BSt 500 S



Querkraft V_{Ed} : $V_{Ed,0} = 172 \text{ kN}$ (theor. Auflagerlinie)
 $V_{Ed} = 150 \text{ kN}$ (Abstand d_j vom Rand)

Aufzunehmende Bemessungsschubkraft

$$\begin{aligned} v_{Ed} &= V_{Ed} / z \\ z &= 0,9d = 0,9 \cdot 0,40 = 0,36 \text{ m} \\ &> (d - 2c_{v,i}) = 0,40 - 2 \cdot 0,03 = 0,34 \text{ m} \\ v_{Ed} &= V_{Ed} / z = 0,150 / 0,34 = 0,441 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

Annahme: $c_{v,i} = 0,03 \text{ m}$ (Verbundbewehrung ist gleichzeitig Querkraftbewehrung, es ist zusätzlich DIN 1045-1, 10.3.4(2) einzuhalten.)

Nachweis nach DIN 1045-1:2001

Nachweis der Verbundbewehrung

Es ist Verbundbewehrung erforderlich (ohne Nachweis)

$$\begin{aligned} v_{Rd,sy} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (\cot q + \cot a) \cdot \sin a - m \cdot s_{Nd} \cdot b \\ \cot q &= 1,2 \cdot m / (1 - v_{Rd,c} / v_{Ed}) \\ m &= 0,7 \quad (\text{raue Fuge}) \\ v_{Rd,c} &= 0,42 \cdot b_{ct} \cdot 0,10 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot b \\ b_{ct} &= 2,0 \quad (\text{raue Fuge}) \\ v_{Rd,c} &= 0,42 \cdot 2,0 \cdot 0,10 \cdot 20^{1/3} \cdot 0,38 \\ &= 0,087 \text{ MN/m} \\ \cot q &= 1,2 \cdot 0,7 / (1 - 0,087 / 0,441) \\ &= 1,05 > 1,0 \end{aligned}$$

Ausführung gerade noch zulässig

$a = 90^\circ$ (lotr. Verbundbewehrung)

$$\begin{aligned} a_s &= v_{Ed} / (f_{yd} \cdot \cot q) = 0,441 / (435 \cdot 1,05) \\ &= 9,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} = 9,66 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Nachweis der Druckstrebe

Ohne Nachweis.

Nachweis nach DIN 1045-1:2008

Nachweis der Verbundbewehrung

Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft bei Verzicht auf Verbundbewehrung

$$\begin{aligned} v_{Rd,ct} &= [\xi_1 \cdot c_j \cdot f_{ctd} - \sigma \cdot a_{Nd}] \cdot b \\ c_j &= 0,40; f_{ctd} = 1,5 / 1,8 = 0,83 \text{ MN/m}^2 \\ v_{Rd,ct} &= 0,40 \cdot 0,83 \cdot 0,38 = 0,126 \text{ MN/m}^2 \\ &< v_{Ed,j} \downarrow \text{Verbundbewehrung} \\ &\quad \text{erforderlich.} \end{aligned}$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft einer Verbundbewehrung

$$\begin{aligned} v_{Rd,sy} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (1,2\sigma \cdot \sin \zeta + \cos \zeta) \\ \sigma &= 0,7; \zeta = 90^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_s &\geq \frac{v_{Ed,j} - v_{Rd,ct}}{f_{yd} \cdot (1,2\sigma \cdot \sin \zeta + \cos \zeta)} \\ &= \frac{0,441 - 0,126}{435 \cdot 1,2 \cdot 0,70 \cdot 1,0} \cdot 10^4 = 8,62 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Nachweis der Druckstrebe

$$\begin{aligned} v_{Rd,j,max} &= 0,5 \cdot \tau \cdot f_{cd} \cdot b \\ \tau &= 0,5 \quad (\text{raue Fuge}) \\ v_{Rd,max} &= 0,5 \cdot 0,5 \cdot (0,85 \cdot 20 / 1,5) \cdot 0,38 \\ &= 1,08 \text{ MN/m} \\ &> v_{Ed,0} = 0,172 / 0,34 = 0,506 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

Fazit:

Ein Vergleich der Ergebnisse von DIN 1045-1:2001 mit DIN 1045-1:2008 zeigt insbesondere, dass die Druckstreben tragfähigkeit mit der Neufassung deutlich günstiger bewertet wird. Während der Nachweis nach DIN 1045-1:2001 mit $\cot \chi = 1,05 > 1,0$ gerade knapp erfüllt ist (s. o.), ist nach DIN 1045-1:2008 noch etwa eine Verdoppelung der Querkraft möglich (s. hierzu auch Tafel 3 und Abb. 9).

2.3 Fugen senkrecht zur Systemachse

Fugen *senkrecht zur Systemachse* sind von ihrer Wirkungsweise mit Biegerissen vergleichbar, so dass ein „normaler“ Querkraftnachweis nach DIN 1045-1, 10.3.4 geführt wird. Allerdings sind dabei $V_{Rd,ct}$ und $V_{Rd,c}$ in Abhängigkeit von der Rauigkeit abzumindern. Die Fugen sind mindestens rau auszuführen.

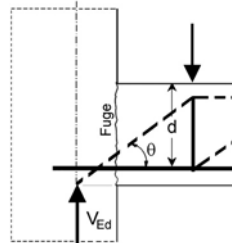


Abb. 12 Fuge senkrecht zur Bauteilachse

In DIN 1045-1 wird gefordert, dass die entsprechenden Nachweisgleichungen für die „normale“ Querkraftbemessung (DIN 1045-1, Gl. (70), (74) und (76) bzw. (78)) im Verhältnis $(c_j/0,50)$ – Beiwert c_j nach Tafel 2 – abgemindert werden.

Bei verzahnten Fugen liegt quasi-monolithisches Verhalten vor, so dass die Querkraftbemessung ohne Einschränkung wie für monolithische Bauteile durchgeführt werden kann (ergibt sich automatisch mit $c_j = 0,5$ für die verzahnte Fuge). Bei rauen Fugen mit $c_j = 0,4$ erfolgt eine Abminderung um 20 %, glatte und sehr glatte Fugen sind nicht zulässig.

Die o. g. Bemessungsgleichungen lauten dann für *Normalbeton*:

- Platten ohne Querkraftbewehrung: $V_{Rd,ct} = \frac{c_j}{0,50} \cdot \left(\frac{0,15}{\rho} \cdot \rho \cdot (100 \psi_1 f_{ck})^{1/3} - 0,12 \cdot \alpha_{cd} \right) \cdot b_w \cdot d$ (14)

- Bauteile mit Querkraftbewehrung

Druckstrebenragfähigkeit $V_{Rd,max}$

– lotrechte Querkraftbewehrung $V_{Rd,max} = \frac{c_j}{0,50} \cdot \frac{\zeta_c \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z}{(\tan \chi + \cot \chi)}$ (15a)

– geneigte Querkraftbewehrung $V_{Rd,max} = \frac{c_j}{0,50} \cdot \zeta_c \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{(\cot \chi + \cot \zeta)}{(1 + \cot^2 \chi)}$ (15b)

Druckstrebenneigung χ $\cot \chi = \frac{(1,2 - 1,4 \cdot \alpha_{cd} / f_{cd})}{(1 - V_{Rd,c} / V_{Ed})}$ $\left[\begin{array}{l} \#20,58 \\ \#23,00 \end{array} \right]$ (16)

mit $V_{Rd,c} = \frac{c_j}{0,50} \cdot \rho \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot (1 + 1,2 \cdot \frac{\alpha_{cd}}{f_{cd}}) \cdot b_w \cdot z$

Bemessungswert $V_{Rd,sy}$ $V_{Rd,sy} = a_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \sin \zeta \cdot (\cot \chi + \cot \zeta)$ (17)

Die Abminderung mit $(c_j/0,50)$ gilt – entsprechend der Ausdehnung des Druckstrebenfeldes – mindestens bis zu einem Abstand $(0,5 \cdot \cot \chi \cdot d)$.

Für sog. Verwahrkästen, d. h. vorgefertigte Bewehrungsanschlüsse, wird auf das DBV-Merkblatt „Rückbiegen von Betonstahl und Anforderungen an Verwahrkästen“ (2008) verwiesen.

Literatur

- [1] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion.2001
w. v.: Berichtigung 1: 2002-07
w. v.: Berichtigung 2: 2005-06
- [2] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion, 2008-08.
- [3] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein: Merkblatt „Rückbiegen von Betonstahl und Anforderungen an Verwahrkästen“; 2008
- [4] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2, Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. 2005-10
- [5] DIN 1045: Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung, 1988-07
- [6] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 525: Erläuterungen zu DIN 1045-1. 2003-09. Beuth Verlag, Berlin.
w. v.: Berichtigung 1: 2005-05
- [7] Fingerloos / Litzner: Erläuterungen zur praktischen Anwendung der neuen DIN 1045-1, Beton-Kalender 2005, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [8] Jähring, A.: Auslegung DIN 1045-1: Nachweis in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit. Münchener Massivbau-Seminar 2006
- [9] Zilch, K. / Müller, A.: Die Neuausgabe der DIN 1045-1: Erläuterung zur Bemessung der Verbundfuge. In: DBV, Weiterbildung Tragwerksplaner Massivbau; Brennpunkt: Aktuelle Normung. Heftreihe 14, 2007, Deutscher Beton- und Bautechnikverein.
- [10] Goris, A.: Stahlbetonbau-Praxis nach DIN 1045 neu.
Band 1: Grundlagen, Bemessung, Beispiele; 3. Auflage 2008, Bauwerk Verlag, Berlin
Band 2: Bewehrung, Konstruktion, Beispiele; 3. Auflage 2008, Bauwerk Verlag, Berlin
- [11] Schneider, Bautabellen für Ingenieure (Hrsg.: Goris, A.). 18. Aufl., 2008, Werner Verlag, Köln
- [12] Schmitz, P. U. / Goris, A.: DIN 1045-1 digital. 3. Auflage, 2009, Werner Verlag, Köln (in Vorb.)