

Tech-News Nr. 2009/2 DIN 1045-1

Dr.-Ing. Petra Höß
Hauptstr. 161
79211 Denzlingen

Verbundfuge in abschnittsweise hergestellten Unterzügen

Die Schubkraftübertragung in Fugen wird im Abschnitt 10.3.6 der DIN 1045-1: 2001-07 geregelt. Die dort beschriebenen Nachweise werden dann erforderlich, wenn zum Beispiel Unterzüge / Überzüge abschnittsweise hergestellt werden. In der täglichen Baupraxis ist es üblich, die Unterzüge bis Unterkante Decke vorzubetonieren.

Bei der Bemessung der Unterzüge wird jedoch im Vorfeld der Nachweis zur Verbundfuge selten geführt. Dies kann dann zu Problemen auf der Baustelle führen. Oftmals reicht vor Ort die Bügelbewehrung und/oder die Oberflächenbeschaffenheit der Fuge nicht aus oder kann nur mit erheblichem Aufwand hergestellt werden.

In den folgenden Abschnitten sind daher die wesentlichen Nachweise für bewehrte Verbundfugen unter Längsschubbeanspruchung nach DIN 1045-1: 2001-07 zusammengestellt.

1. Nachweis der aufnehmbaren Schubkraft nach DIN 1045-1: 2001-07

Die in bewehrten Fugen aufnehmbare Schubkraft kann gemäß Bedingung (85) ermittelt werden:

$$V_{Rd,sy} = a_s f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha - \mu \sigma_{Nd} b$$

a_s	Querschnitt der die Fuge kreuzende Bewehrung
f_{yd}	Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls
α	Winkel der die Fuge kreuzende Bewehrung
μ	Reibungsbeiwert
σ_{Nd}	Normalspannung senkrecht zur Fuge
b	Breite der Kontaktfläche (z. B. Breite der Horizontalfuge; bei Verwendung von Großflächenplatten müssen die Auflagerbreiten der Platten abgezogen werden)

Bei Verwendung von lotrechten Bügeln ($\alpha = 90^\circ$) und Vernachlässigung der Normalspannung senkrecht zur Fuge ($\sigma_{Nd} \approx 0$) ergibt sich:

$$V_{Rd,sy} = a_s f_{yd} \cot \theta$$

Eine Erhöhung der aufnehmbaren Schubkraft ist durch eine größere Bewehrungsmenge, eine Vergrößerung der Rauigkeit, Erhöhung der Betongüte sowie durch Verbreiterung der Kontaktfläche möglich.

2. Nachweis der Neigung der Druckstreben des Fachwerks nach DIN 1045-1: 2001-07

Die Neigung der Druckstreben ist gemäß Bedingung (86) zu begrenzen:

$$1,0 \leq \cot \theta \leq (1,2 \mu - 1,4 \sigma_{cd} / f_{cd}) / (1 - v_{Rd,ct} / v_{Ed})$$

mit $v_{Rd,ct} = (0,042 \eta_1 \beta_{ct} f_{ck}^{1/3} - \mu \sigma_{Nd}) b$ nach Bedingung (84)

σ_{cd}	Bemessungswert der Betonlängsspannung in Höhe des Schwerpunkts des Querschnitts
f_{cd}	Bemessungswert der einaxialen Betonfestigkeit
$v_{Rd,ct}$	aufnehmbare Schubkraft ohne Verbundbewehrung
v_{Ed}	zu übertragende Schubkraft
η_1	1,0 für Normalbeton
β_{ct}	Rauigkeitsbeiwert
f_{ck}	der kleinere Wert der charakteristischen Betondruckfestigkeit des Fertigteils und des Ortbetons

Der Term $\mu \sigma_{Nd}$ in Gl. (84) darf gemäß DAfStb-Heft 525 nicht in Gl. (86) angesetzt werden, da der Reibungsanteil bei der Ermittlung der aufnehmbaren Schubkraft in Gl. (85) bereits enthalten ist.

Weiterhin ist zu beachten, dass $\cot \theta < 1$ gemäß der Auslegung Nr. 4, 16 und 26 zur DIN 1045-1: 2001-07 nicht zulässig ist.

Ist diese Bedingung nicht eingehalten, hat man nur die Möglichkeiten, die Rauigkeit der Verbundfuge zu verbessern, die Betongüte zu erhöhen oder die Breite der Kontaktfläche zu vergrößern. Dies ist oft nur in sehr eingeschränktem Maß durchführbar.

Empfehlungen:

Zusammenfassend wird daher dringend empfohlen, im Vorfeld mit der ausführenden Firma abzuklären, ob geplant ist, Unterzüge abschnittsweise herzustellen, da die Möglichkeiten, auf der Baustelle bei vorbetonierten Unterzügen zu reagieren, sehr eingeschränkt sind.

Ein entsprechender Vermerk zur Ausbildung der Verbundfugen auf den Ausführungsplänen erspart nachträgliche Diskussionen und Probleme.

Generell ist weiterhin darauf zu achten, dass Arbeitsfugen gemäß DIN1045-3, 8.4 (5) so ausgebildet werden müssen, dass alle dort auftretenden Beanspruchungen aufgenommen werden können und ein ausreichender Verbund der Betonschichten sichergestellt ist. Insbesondere müssen vor dem Weiterbetonieren Verunreinigungen, Zementschlempe und loser Beton entfernt werden und die Arbeitsfugen ausreichend vorgehäst werden.

3. Neue Regelungen für Verbundfugen in DIN 1045-1: 2008

In der geplanten Neuauflage zur DIN 1045-1: 2008 wurden die Bemessungsregeln für Verbundfugen überarbeitet, da sie sich sowohl in formaler Hinsicht als auch bei den Bemessungsergebnissen deutlich von den Regelungen der DIN EN 1992-1-1 unterscheiden. In den folgenden Abschnitten sind daher ergänzend die wesentlichen Änderungen und Nachweise für bewehrte Verbundfugen unter Längsschubbeanspruchung nach DIN 1045-1: 2008 zusammengestellt.

4. Fugenausbildung nach DIN 1045-1: 2008

Die Fugenausbildung wird weitergehender differenziert und die Fugenbeschaffenheit folgendermaßen definiert:

sehr glatt:

- Oberfläche gegen Stahl, Kunststoff, oder glatte Holzschalung betoniert
- unbehandelte Fugenoberfläche bei Verwendung von Beton im ersten Betonierabschnitt mit fließfähiger bzw. sehr fließfähiger Konsistenz

glatt:

- Oberfläche abgezogen
- Oberfläche im Gleit- bzw. Extruderverfahren hergestellt
- Oberfläche blieb nach dem Verdichten ohne weitere Behandlung

rau:

- Oberfläche mit mindestens 3 mm durch Rechen erzeugte Rauigkeit mit ca. 40 mm Abstand bzw. entsprechendes Freilegen von Gesteinskörnung bzw. andere Methoden, die ein äquivalentes Tragverhalten herbeiführen
- Oberfläche mit definierter Rauigkeit (z. B. nach DAfStb-Heft 525)

verzahnt:

- Geometrie der Verzahnung nach Bild 35 a) nach DIN 1045-1: 2008
- Korngerüst mindestens 6 mm tief freigelegt bei einer Gesteinskörnung von $d_g \geq 16$ mm
- Oberfläche mit definierter Rauigkeit (z. B. nach DAfStb-Heft 525)

5. Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft in Fugen nach DIN 1045-1: 2008

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft in Fugen darf additiv aus mehreren Traganteilen (Adhäsion, Reibung, Verbundbewehrung) nach Gleichung (84) ermittelt werden:

$$V_{Rd,j} = V_{Rd,j,ad} + V_{Rd,j,r} + V_{Rd,j,sy} = (\eta_1 c_j f_{ctd} - \mu \sigma_{Nd}) b + V_{Rd,j,sy} \leq V_{Rd,j,max}$$

$$\text{mit } V_{Rd,sy} = a_s f_{yd} (1,2 \mu \sin \alpha + \cos \alpha) \quad \text{nach Bedingung (85)}$$

$$V_{Rd,j,max} = 0,5 \eta_1 v f_{cd} b \quad \text{nach Bedingung (86)}$$

Copyright Landesvereinigung der Prüferingenieure für Baustatik in Baden-Württemberg e.V.

Trotz sorgfältiger Zusammenstellung der Informationen und Texte kann für fehlerhafte Angaben und deren Folgen keine Haftung von der Landesvereinigung und deren Autoren übernommen werden.

η_1	1,0 für Normalbeton
c_j	Rauigkeitsbeiwert nach Tabelle 13
f_{ctd}	Bemessungswert der Betonzugfestigkeit des 1. oder 2. Betonierabschnittes (der kleinere Wert ist maßgebend) mit $f_{ctd} = f_{ctk;0,05} / \gamma_c$ mit $\gamma_c = 1,8$ für unbewehrten Beton nach 5.3.3 (8)
μ	Reibungsbeiwert nach Tabelle 13
σ_{Nd}	Normalspannung senkrecht zur Fuge (Betondruckspannung < 0) $\sigma_{Nd} = n_{Ed} / b \geq -0,6 f_{cd}$
n_{Ed}	unterer Bemessungswert der Normalkraft senkrecht zur Fuge je Längeneinheit
b	Breite der Kontaktfläche (z. B. Breite der Horizontalfuge; bei Verwendung von Großflächenplatten müssen die Auflagerbreiten der Platten abgezogen werden)
a_s	Querschnitt der die Fuge kreuzende Bewehrung
f_{yd}	Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls
α	Winkel der die Fuge kreuzende Bewehrung
$v_{Rdj,max}$	maximale aufnehmbare Schubkraft
v	Abminderungswert für die Betondruckfestigkeit in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit $v = 0,70$ für verzahnte Fugen $v = 0,50$ für raue Fugen $v = 0,20$ für glatte Fugen $v = 0$ für sehr glatte Fugen (Reibungsanteil in Gl. (84) darf ausgenutzt werden; maximal jedoch $v_{Rdj,max}$ für glatte Fugen)
f_{cd}	Bemessungswert der einaxialen Betonfestigkeit

Hinweise:

Bei Fertigteilplatten mit Ortbetoneingießung mit planmäßig dauerhaft angehängten Lasten sollte die Verbundsicherung im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich nachgewiesen werden.

Bei dynamischer oder Ermüdungsbeanspruchung darf der Adhäsionsanteil des Betonverbundes nicht berücksichtigt werden ($c_j = 0$ in Tabelle 13).

Bei Überzügen entfällt der Traganteil aus Adhäsion mit $c_j = 0$ für glatte oder raue Fuge aufgrund der Zugbeanspruchung in der Arbeitsfuge oberhalb des angehängten Bauteils. Eine Schubtragfähigkeit längs der Fuge ist kraftschlüssig nur durch eine Bewehrung zu erreichen. Weiterhin sind aber auch abhängig vom möglichen Tragverhalten andere statische Modelle (z.B. Fachwerkmodell oberhalb der Verbundfuge, Druckbogenmodell mit überdrückten Fugenendbereichen) denkbar.

6. Vergleich: Verbundfugennachweise nach DIN 1045-1: 2001-07 und DIN 1045-1: 2008

Der neue Ansatz liefert ähnliche oder wirtschaftlichere Verbundbewehrungsmengen für glatte und raue Fugen als die frühere Bemessung.

Der neue Ansatz liefert größere Maximaltragfähigkeiten $v_{Rdj,max}$ für glatte und raue Fugen als die frühere Bemessung, die die Maximaltragfähigkeit indirekt über die Begrenzung von $\cot \theta \geq 1$ regelte.

Die Anforderungen an raue Fugen haben sich erhöht.

Copyright Landesvereinigung der Prüfm Ingenieure für Baustatik in Baden-Württemberg e.V.

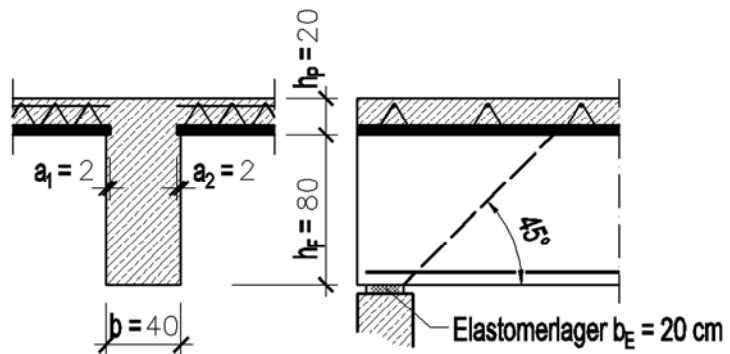
Trotz sorgfältiger Zusammenstellung der Informationen und Texte kann für fehlerhafte Angaben und deren Folgen keine Haftung von der Landesvereinigung und deren Autoren übernommen werden.

7. Beispiel

Ein Unterzug im Bereich einer Geschossdecke, die mit Großflächenplatten ausgeführt wird, soll vorbetoniert werden.

- Systemparameter

Unterzugsbreite 40 cm
 Unterzugshöhe 100 cm
 Deckendicke 20 cm
 Betongüte C 30/37
 Ausbildung einer rauen Fuge
 $\sigma_{Nd} \approx 0$



- Querkraft am Auflager

$$V_{Ed} = 420 \text{ kN}$$

- Bemessungswert der Querkraft

Bei direkter Auflagerung und gleichmäßig verteilter Last darf beim monolithischen Querschnitt der Bemessungswert der Querkraft nach DIN 1045-1: 2001-07, 10.3.2 (1) im Abstand d vom Auflagerrand ermittelt werden. Bei Verbundfugen sollte die Lage der Schubfuge berücksichtigt werden, d. h. statt des Abstandes d ist der Schnittpunkt einer 45° Geraden vom Auflagerrand mit der Verbundfuge maßgebend.

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - q_{Ed} (0,5 * b_{Lager} + h_F) = 420 - 36 (0,5 * 0,2 + 0,8) = 388 \text{ kN}$$

- Bemessungswert der Schubkraft je Längeneinheit

$$v_{Ed} = (F_{cdj} / F_{cd}) * (V_{Ed} / z) \quad \text{gemäß DIN 1045-1: 2001-07, Bedingung (83)}$$

Annahme: 100 % der Druckzone in der Deckenplatte

statische Nutzhöhe: $d = 95 \text{ cm}$

Hebelarm der inneren Kräfte: $z = 0,9 d = 0,9 * 95 = 85,5 \text{ cm}$

$$< d - 2 c_{nom} = 95 - 2 * 3,0 = 89,0 \text{ cm}$$

$$v_{Ed} = 1,0 * (388 / 0,855) = 453 \text{ kN/m} = 0,453 \text{ MN/m}$$

- Aufnehmbare Schubkraft ohne Verbundbewehrung nach DIN 1045-1: 2001-07

$$\begin{aligned} v_{Rd,ct} &= (0,042 \eta_1 \beta_{ct} f_{ck}^{1/3} - \mu \sigma_{Nd}) b && \text{(raue Fuge)} \\ &= (0,042 * 1,0 * 2,0 * 30^{1/3}) * 0,36 = 0,094 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

$$v_{Rd,ct} < v_{Ed} \quad - > \text{Verbundbewehrung erforderlich}$$

Copyright Landesvereinigung der Prüfmgenieure für Baustatik in Baden-Württemberg e.V.

Trotz sorgfältiger Zusammenstellung der Informationen und Texte kann für fehlerhafte Angaben und deren Folgen keine Haftung von der Landesvereinigung und deren Autoren übernommen werden.

- Aufnehmbare Schubkraft mit Verbundbewehrung nach DIN 1045-1: 2001-07

$$V_{Rd,sy} = a_s f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha - \mu \sigma_{Nd} b$$

Bügelbewehrung $\emptyset 10 / 15 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \cot \theta &\leq (1,2 \mu - 1,4 \sigma_{cd} / f_{cd}) / (1 - V_{Rd,ct} / V_{Ed}) && \text{(raue Fuge)} \\ &= 1,2 * 0,7 / (1 - 0,094/0,453) \\ &= 1,06 > 1,0 \end{aligned}$$

$$V_{Rd,sy} = 10,47 * 43,5 * 1,06 = 483 \text{ kN/m} > V_{Ed} = 453 \text{ kN/m}$$

Hinweis: bei Ausführung einer glatten Fuge ergibt sich $\cot \theta = 0,91 < 1,0$ -> nicht zulässig

- Aufnehmbare Schubkraft ohne Verbundbewehrung nach DIN 1045-1: 2008

$$V_{Rd,j} = V_{Rd,j,ad} + V_{Rd,j,r} = (\eta_1 C_j f_{ctd} - \mu \sigma_{Nd}) b \quad \text{mit } \sigma_{Nd} \approx 0$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,j} &= \eta_1 C_j f_{ctd} b && \text{(raue Fuge)} \\ &= 1,0 * 0,40 * (2,0 / 1,8) * 0,36 = 0,160 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

$$V_{Rdj} < V_{Ed} \quad - > \text{Verbundbewehrung erforderlich}$$

- Aufnehmbare Schubkraft mit Verbundbewehrung nach DIN 1045-1: 2008

$$V_{Rd,j} = V_{Rd,j,ad} + V_{Rd,j,sy} = V_{Rd,j,ad} + a_s f_{yd} (1,2 \mu \sin \alpha + \cos \alpha) \geq V_{Ed}$$

$$\begin{aligned} a_s &\geq (V_{Ed} - V_{Rd,j,ad}) / (f_{yd} (1,2 \mu \sin \alpha + \cos \alpha)) \quad \text{mit } \mu = 0,7 \text{ (raue Fuge) und } \alpha = 90^\circ \\ &= (0,453 - 0,162) / (435 (1,2 * 0,7 * 1,0 + 0)) * 10^4 = 7,96 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Bügelbewehrung $\emptyset 10 / 20 \text{ cm}$ mit vorh $a_s = 7,85 \text{ cm}^2/\text{m}$ ausreichend

$$V_{Rd,j,max} = 0,5 v f_{cd} b = 0,5 * 0,50 * 17,0 * 0,36 = 1,53 \text{ MN} > V_{Ed}$$

Hinweis: bei Ausführung einer glatten Fuge ergibt sich

$$V_{Rd,j} = \eta_1 C_j f_{ctd} b = 1,0 * 0,20 * (2,0 / 1,8) * 0,36 = 0,080 \text{ MN/m} < V_{Ed}$$

$$\begin{aligned} a_s &\geq (V_{Ed} - V_{Rd,j,ad}) / (f_{yd} (1,2 \mu \sin \alpha + \cos \alpha)) \quad \text{mit } \mu = 0,6 \text{ und } \alpha = 90^\circ \\ &= (0,453 - 0,080) / (435 (1,2 * 0,6 * 1,0 + 0)) * 10^4 = 11,9 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Bügelbewehrung $\emptyset 12 / 20 \text{ cm}$ mit vorh $a_s = 11,3 \text{ cm}^2/\text{m}$ ausreichend