

Zu 17.8 – Bemessung; Beschränkung der Stahlspannungen unter Gebrauchslast bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

Rolf Eligehausen

17.8 Beschränkung der Stahlspannungen unter Gebrauchslast bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

(1) Bei Betonstabstahl III S und IV S darf unter der Gebrauchslast die Schwingbreite der Stahlspannungen folgende Werte nicht überschreiten,

- in geraden oder schwach gekrümmten Stababschnitten (Biegerollendurchmesser $d_{br} \geq 25 d_s$): 180 N/mm^2 ,
- in gekrümmten Stababschnitten mit einem Biegerollendurchmesser $25 d_s > d_{br} \geq 10 d_s$: 140 N/mm^2 ,
- in gekrümmten Stababschnitten mit einem Biegerollendurchmesser $d_{br} < 10 d_s$: 100 N/mm^2 .

Druckfehlerberichtigung zu DIN 1045

Zu Abschnitt 17.8

Absatz (1), 2. Spiegelstrich: Die Eingrenzung des Biegerollendurchmessers muß lauten:

$$25 d_s > d_{br} > 10 d_s$$

Absatz (1), 3. Spiegelstrich: Die Begrenzung des Biegerollendurchmessers muß lauten:

$$d_{br} \leq 10 d_s$$

(2) Beim Nachweis der Schwingbreite in der Schubbewehrung sind die Spannungen nach der Fachwerkanalogie zu ermitteln, wobei die Neigung der Druckstreben mit 45° anzusetzen ist. Der Anteil aus der nicht vorwiegend ruhenden Beanspruchung darf mit dem Faktor 0,60 abgemindert werden.

Durch die in diesem Abschnitt angegebenen Regeln soll ein Ermüdungsbruch des einbetonierten Stahls bei nicht vorwiegend ruhender Belastung (siehe DIN 1055 Teil 3) der Bauteile verhindert werden. Die auftretenden Schwingbreiten $\Delta\sigma_s = \sigma_{s,o} - \sigma_{s,u}$ ($\sigma_{s,o}$ = Stahlspannung unter Oberlast, $\sigma_{s,u}$ = Stahlspannung unter Unterlast) dürfen die in Absatz (1) und (3) angegebenen Werte für die zulässige Schwingbreite der Stahlspannung nicht überschreiten.

Die Ermüdungsfestigkeiten der Betonstabstahlsorten III S und IV S unterscheiden sich nicht wesentlich. Daher werden für diese Stähle gleiche Werte für die zulässige Schwingbreite der Stahlspannung angegeben. Die Ermüdungsfestigkeit von Betonstählen nimmt mit abnehmendem Biegerollendurchmesser ab. Daher wurde die zulässige Schwingbreite der Stahlspannung in gekrümmten Stababschnitten mit einem Biegerollendurchmesser $d_{br} \leq 10 d_s$ auf 100 N/mm^2 reduziert.

Der bisherige Text, wonach bei nicht vorwiegend ruhender Belastung nur solche Betonstahlsorten verwendet werden dürfen, deren Eignung hierfür nachgewiesen ist, entfiel, da dies als selbstverständlich angesehen wird. Bei Betonstabstählen III S und IV S sowie Betonstahlmatten (IV M) nach DIN 488 Teil 4/06.86 wird die Dauerschwingfestigkeit nachgewiesen. (Ausnahme nach Absatz (4): Betonstahlmatten mit tragenden Stäben $d_s \leq 4,5 \text{ mm}$, (siehe unten).)

Ein Nachweis der Dauerschwingfestigkeit von Bewehrungsdraht nach DIN 1045, Abschnitt 6.6.3, (das ist glatter oder profilierter Betonstahl, als Ring hergestellt und vom Ring werkmäßig zu Bewehrungen weiterverarbeitet) wird nicht gefordert, so daß diese Bewehrungen nur bei vorwiegend ruhender Belastung verwendet werden dürfen.

Für allgemein bauaufsichtlich zugelassene Betonstähle (Betonstabstähle, Betonstahlmatten BSt 500 für erhöhte dynamische Beanspruchungen in Bereichen ohne Schweißstellen, feuerverzinkter Betonstahl, Betonstahl in Ringen (IV WR und IV KR), beschichtete geschweißte Betonstahlmatten) gelten hinsichtlich der Verwendung bei nicht vorwiegend ruhender Belastung die jeweiligen Zulassungsbescheide.

Wegen der bei hin- und zurückgebogenen Stäben einzuhaltenden Bedingungen siehe DIN 1045, Abschnitt 18.3.3.

Die angegebene Regelung wurde im Hinblick auf die bei Bügeln aus Betonstabstählen III S oder IV S vorliegenden Verhältnisse abgeleitet. Bei diesen Bügeln ist die Dauerschwingfestigkeit der Krümmung maßgebend (zul $\Delta\sigma_s = 100 \text{ N/mm}^2$). Die in der Schubbewehrung etwa in Höhe der Mittellinie des Querschnitts auftretende Schwingbreite der Stahlspannung kann nach der Fachwerkanalogie berechnet werden, wobei aus Gründen der Einfachheit eine Druckstrebenneigung von 45° angesetzt wird. Zur Berücksichtigung der Tatsache, daß die Druckstreben in Wirklichkeit etwas flacher sind, darf der durch häufige Lastwechsel verursachte Querkraftanteil mit dem Faktor 0,85 abgemindert werden (siehe Erläuterung zu Abschnitt 17.5.4 (2)). Am Beginn der Krümmung ist die Schwingbreite der Stahlspannung wegen der Verbundwirkung der Stäbe geringer. Aufgrund der Wirkung beider Einflüsse darf der Anteil aus der durch häufige Lastwechsel verursachten Beanspruchung mit dem Faktor 0,6 abgemindert werden.

Bei Bügeln aus geschweißten Betonstahlmatten IV M liegen jedoch andere Verhältnisse vor. Bei diesen Bügeln wirkt die volle rechnerische Schwingbreite der Stahlspannung auf einer relativ großen Länge der Bügel, auf der in der Regel auch angeschweißte Stäbe vorhanden sind. Da die Dauerschwingfestigkeit der Betonstahlmatten durch die Schweißung bestimmt wird (siehe unten), ist bei Bügeln aus Betonstahlmatten die Abminderung des Anteils aus der durch häufige Lastwechsel verursachten Beanspruchung mit dem Faktor 0,6 nicht berechtigt, vielmehr sollte nach Auffassung des Verfassers dieser Anteil nur mit dem Faktor 0,85 abgemindert werden. Dies gilt auch für eine Verbundbewehrung nach DIN 1045, Abschnitt 19.4, wenn diese in relativ geringem Abstand von der Fuge durch Haken, Winkelhaken oder angeschweißte Stäbe verankert wird.

Bei Betonstahlmatten und bei geschweißten Verbindungen ist der Einfluß der Stabkrümmung auf die Ermüdungsfestigkeit des Stahles gering, da der Einfluß der Schweißung überwiegt. Daher gilt der Wert 80 N/mm^2 für gerade und gebogene Stäbe. Selbstverständlich sind die in Abschnitt 18.3.2 angegebenen Regeln für Biegungen an geschweißten Bewehrungen zu beachten.

Die zulässige Schwingbreite bei geschweißten Verbindungen von 80 N/mm^2 gilt selbstverständlich nur für geschweißte Stöße von Bewehrungsstäben gemäß Tabelle 24, Zeilen 5 bis 7. Sie gilt nicht für Heftverbindungen nach Abschnitt 13.1 (2), die nur vorwiegend ruhend beansprucht werden dürfen.

Betonstahlmatten mit tragenden Stäben $d_s \leq 4,5 \text{ mm}$ dürfen nur in Bauteilen mit vorwiegend ruhender Beanspruchung verwendet werden, weil deren Dauerschwingfestigkeit nach DIN 488 Teil 1 nicht nachgewiesen wird.

Der bisherige Abschnitt 5 entspricht dem Text von DIN 1045/12.78. Er wird durch die folgenden Erläuterungen ersetzt.

Druckfehlerberichtigung zu DIN 1045

Absatz (3): Hinter dem Wort „Verbindungen“ ist einzufügen „nach Tabelle 24, Zeilen 5 bis 7“.

Absätze (5), (6) und (7): Die Absätze (5), (6) und (7) sind zu streichen und durch den folgenden neuen Absatz (5) zu ersetzen: „Ein vereinfachtes Verfahren für den Nachweis der Beschränkung der Stahlspannung unter Gebrauchslast bei nicht vorwiegend ruhender Belastung kann DAfStb-Heft 400 entnommen werden.“

Die Absätze (6) und (7) entfallen und der alte Absatz (6) wird neuer Absatz (6).

(3) Bei Betonstahlmatten IV M und bei geschweißten Verbindungen darf die Schwingbreite der Stahlspannungen allgemein bis zu 80 N/mm^2 betragen.

(4) Betonstahlmatten mit tragenden Stäben $d_s \leq 4,5 \text{ mm}$ dürfen nur in Bauteilen mit vorwiegend ruhender Beanspruchung verwendet werden.

(5) Zur Vereinfachung darf bei Betonstahl III S und IV S für Biegung ohne Längskraft der Nachweis geführt werden, daß der durch häufige Lastwechsel verursachte Momentenanteil ΔM bei geraden oder nur schwach gekrümmten Stäben 75% und an Abbiegestellen 60% des maximalen Momentes nicht überschreitet; entsprechend genügt der Nachweis bei Bügeln, wenn der durch häufige Lastwechsel verursachte Querkraftanteil ΔQ nicht mehr als 60% der größten Querkraft beträgt.

(6) Bei Betonstahlmatten IV M gilt sinngemäß für den Momentenanteil ΔM 30% des maximalen Momentes und bei Bügelmatte für den Querkraftanteil ΔQ 30% der größten Querkraft.

(8) Erfährt die Bewehrung Wechselbeanspruchungen, so darf die Stahldruckspannung zur Vereinfachung gleich der 10fachen, im Schwerpunkt der Bewehrung auftretenden Betondruckspannung gesetzt werden. Diese darf hierfür unter der Annahme einer geradlinigen Spannungsverteilung nach Zustand I ermittelt werden.

Zur Vereinfachung darf bei Betonstabstahl III S und IV S und bei Betonstahlmatten IV M für Biegung ohne Längskraft der Nachweis geführt werden, daß der durch häufige Lastwechsel verursachte Momentenanteil ΔM die Werte nach Tabelle 17.8-1 nicht überschreitet. Sie entsprechen den Verhältniswerten zu $\Delta\sigma_s$ /zul σ_s , wobei für zul σ_s die Werte nach den Absätzen (1) bzw. (3) und für zul $\sigma_s = \beta_s/1,75$ gesetzt wurde.

	1	2	3
1	Stahl	zul $\Delta\sigma_s$	$\Delta M/\max M$
2	III S	180 ¹⁾	0,75
3		140 ²⁾	≈ 0,60
4		100 ³⁾	≈ 0,45
5		80 ⁴⁾	≈ 0,35
6	IV S	180 ¹⁾	≈ 0,65
7		140 ²⁾	≈ 0,50
8		100 ³⁾	0,35
9		80 ⁴⁾	≈ 0,30
10	IV M	80	≈ 0,30

- 1) gerade und schwach gebogene Stäbe ($d_{br} \geq 25 d_s$)
- 2) gebogene Stäbe mit $10 d_s < d_{br} < 25 d_s$
- 3) gebogene Stäbe mit $d_{br} \leq 10 d_s$
- 4) geschweißte Stöße nach Tabelle 24, Zeilen 5 bis 7

Tabelle 17.8-1: Zulässiger Anteil ΔM der durch häufige Lastwechsel verursachten Momente an den Größtmomenten $\max M$

Ist die vorhandene Bewehrung größer als der erforderliche Wert, dürfen die Werte $\Delta M/\max M$ in Tabelle 17.8-1 mit dem Faktor

$$\alpha_A = \frac{\text{vorh } A_s}{\text{erf } A_s}$$

mit

vorh A_s = vorhandene Längsbewehrung

erf A_s = erforderliche Längsbewehrung (berechnet mit zul $\sigma_s = \beta_s/1,75$)

erhöht werden

Bei Biegung mit Längskraft genügt für die zugbeanspruchten Bewehrungsstäbe zur Vereinfachung der gleiche Nachweis wie bei Biegung ohne Längskraft (vgl. Tabelle 17.8-1), wenn der Momentenanteil ΔM um den Schwerpunkt der Betondruckzone gebildet wird (gegebenenfalls unter Berücksichtigung einer Druckbewehrung).

Diese Regelungen entsprechen der bisherigen Norm, sie wurden aus redaktionellen Gründen in die Erläuterungen übernommen.

Nach Abschnitt 17.5.4 ist bei nicht vorwiegend ruhender Belastung und Schubspannungen $\tau_0 \leq \tau_{02}$ eine verminderte Schubdeckung zulässig, d. h. es wird eine Neigung der Druckstreben $< 45^\circ$ vorausgesetzt. Beim Nachweis der Schwingbreite in der Schubbewehrung sind jedoch die Spannungen unter Annahme einer

Druckstrebenneigung von 45° zu berechnen; allerdings darf der durch häufige Lastwechsel verursachte Querkraftanteil mit dem Faktor 0,6 abgemindert werden (Abschnitt 17.8, (2)). Bei Bügeln aus Betonstahlmatten sollte nach Auffassung des Verfassers jedoch nur ein Abminderungsfaktor 0,85 gewählt werden (siehe oben). Der zulässige Anteil der durch häufige Lastwechsel verursachten Querkraft ist von der Höhe der Schubbeanspruchung abhängig. Er kann wie folgt berechnet werden:

Aus den Beziehungen

$$\mu_\tau = \tau / \sigma_s \tag{1}$$

$$\tau = k \cdot \max \tau_0 \tag{2}$$

$$k = \max \tau_0 / \tau_{02}, \text{ wobei } 0,4 \leq k \leq 1,0 \tag{3}$$

$$\Delta \sigma_s = \frac{\alpha \cdot \Delta \tau_0}{\mu_\tau} \leq \text{zul } \Delta \sigma_0 \tag{4}$$

erhält man durch Auflösen von Gleichung (4) nach $\Delta \tau_0$ und Einsatz von μ_τ nach Gleichung (1):

$$\frac{\Delta \tau_0}{\max \tau_0} = \frac{\Delta Q}{\max Q} = \frac{\text{zul } \Delta \sigma_s \cdot k}{\sigma_{s,\tau} \cdot \alpha} \tag{5}$$

mit

ΔQ = Schwingbreite der Querkraft, die durch häufige Lastwechsel verursacht wird
 = $Q_o - Q_u$

Q_o, Q_u = maximale bzw. minimale Querkraft, die durch häufige Lastwechsel verursacht wird

$\max Q$ = maximale Querkraft

α = 0,6 Bügel aus Stabstählen III S und IV S

= 0,85 Bügel aus Betonstahlmatten IV M.

Eine Auswertung von Gleichung (5) enthält Tabelle 17.8-2. Dabei wurde angenommen, daß die Schubbewehrung voll ausgenutzt ist ($\sigma_{s,\tau} = \text{zul } \sigma_{s,\tau} = \beta_s / 1,75$).

	1	2	3	4	5	6
1	Stahl	zul $\Delta \sigma_s$ N/mm ²	$\Delta Q / \max Q$ für $k = \max \tau_0 / \tau_{02}$ $\leq 0,4^1)$ 0,6 0,8 1,0 ²⁾			
2	III S ³⁾	100	0,28	0,42	0,56	≈0,7
3	IV S ³⁾	100	0,23	0,35	0,47	≈0,6
4	IV S ³⁾	80	0,19	0,28	0,37	≈0,45
5	IV M ⁴⁾	80	0,13	0,20	0,26	0,33

1) $\tau_0 \leq \tau_{012}$

2) $\tau_{02} \leq \max \tau_0 \leq \tau_{03}$

3) Werte $\Delta Q / \max Q$ berechnet mit $\alpha = 0,6$

4) Werte $\Delta Q / \max Q$ berechnet mit $\alpha = 0,85$

Tabelle 17.8-2: Zulässiger Anteil ΔQ der durch häufige Lastwechsel verursachten Querkraft an der größten Querkraft $\max Q$

Ist die vorhandene Schubbewehrung größer als der erforderliche Wert, d.h. wird die zulässige Stahlspannung nicht ausgenutzt, dürfen die Werte $\Delta Q/\max Q$ in Tabelle 17.8-2 mit dem Faktor

$$\alpha_{A_s, \tau} = \frac{\text{vorh } A_{s, \tau}}{\text{erf } A_{s, \tau}}$$

mit

vorh $A_{s, \tau}$ = vorhandene Schubbewehrung

erf $A_{s, \tau}$ = erforderliche Schubbewehrung (berechnet mit $\sigma_{s, \tau} = \text{zul } \sigma_{s, \tau}$)
erhöht werden

Aus Tabelle 17.8-2 ist zu ersehen, daß der Querkraftanteil, der durch häufige Lastwechsel hervorgerufen werden darf, bei Betonstabstählen III S und IV S je nach Höhe der Schubspannung $\Delta Q/\max Q \approx 0,2$ bis $0,7$ beträgt. Die in Zeile 4 für geschweißte Betonstahlmatten angegebenen Werte $\Delta Q/\max Q$ gelten bei wortgetreuer Auslegung der Norm. Da jedoch nach Ansicht des Verfassers die Abminderung des Anteils aus der nicht vorwiegend ruhenden Beanspruchung mit dem Faktor $0,6$ bei Betonstahlmatten nicht berechtigt ist (siehe Erläuterung zu Abschnitt 17.8 (2)), sind in Zeile 5 die für $\alpha = 0,85$ geltenden Werte aufgeführt. Danach beträgt das Verhältnis $\Delta Q/\max Q$ je nach Schubdeckungsgrad $0,13$ bis $0,33$.

Wird die Schubbewehrung bei nicht vorwiegend ruhender Belastung für volle Schubdeckung bemessen ($k = 1,0$), darf der Anteil $\Delta Q/\max Q$ unabhängig von der Höhe der Schubbeanspruchung immer den Werten nach Tabelle 17.8-2, Spalte 6, entsprechen. Sind bei Bügeln aus Betonstahlmatten IV M angeschweißte Stäbe nur im Bereich der Bügelverankerungen vorhanden, darf $\Delta Q/\max Q$ nach Tabelle 17.8-2, Zeile 4, gewählt werden.

Nach DIN 1045/12.78 mußte die Schubbewehrung bei nicht vorwiegend ruhender Belastung immer für volle Schubdeckung bemessen werden. Der zulässige Anteil der Querkraft, der durch häufige Lastwechsel verursacht wurde, betrug 60% (Betonstabstahl III S) bzw. 30% (Betonstabstahlmatten IV M) der maximalen Querkraft. Wird die Schubbewehrung für volle Schubdeckung bemessen ($k = 1$), ergeben sich nach der Neufassung der Norm sogar etwas höhere Werte $\Delta Q/\max Q$ (vgl. Tabelle 17.8-2, Spalte 6, Zeilen 2 und 5).

Zu 18 – Bewehrungsrichtlinien

Rolf Elgehausen

Die in Abschnitt 18 zusammengefaßten Bewehrungsrichtlinien wurden gegenüber DIN 1045/12.78 [18-1] redaktionell und in einigen Punkten sachlich geändert. Dabei wurde der bisherige Text soweit als möglich unverändert übernommen.

Eine redaktionelle Überarbeitung war erforderlich, weil die Norm keine Regeln für glatten Betonstabstahl und Betonstahlmatten aus glatten oder profilierten Drähten enthalten sollte. Daher wurden die entsprechenden Textpassagen von DIN 1045/12.78 gestrichen.

Folgende wesentliche sachliche Änderungen wurden vorgenommen:

- a) Aufnahme von geripptem Betonstabstahl mit einer Streckgrenze $\beta_s = 500 \text{ N/mm}^2$. Er darf prinzipiell unter den gleichen Bedingungen wie gerippter Betonstahl mit einer Streckgrenze $\beta_s = 420 \text{ N/mm}^2$ angewandt werden.
- b) Aufnahme von Regeln für das Hin- und Zurückbiegen von Bewehrungsstähen (Abschnitt 18.3.3).
- c) Anpassung der Regeln für die zulässigen Schweißverfahren (Tabelle 24) an DIN 488 Teil 1 [18-2] und DIN 4099 [18-3].

Im folgenden werden die sachlichen Änderungen erläutert.

Soweit nachfolgend nichts anderes ausgesagt wird, gilt der Aufsatz „Erläuterung der Bewehrungsrichtlinien“ DAfStb-Heft 300 [18-4] auch weiterhin; er wird als bekannt vorausgesetzt.

Weitere Hinweise und Beispiele für eine zweckmäßige Bewehrungsführung s. a. DAfStb-Hefte 354 [18.9-3], 373 [18.9-4] und 399 [18.9-5] sowie [18.9-2].

Zu 18.3.1 – Bewehrungsrichtlinien; Biegungen; Zulässige Biegerollendurchmesser

Zu Tabelle 18 – Mindestwerte der Biegerollendurchmesser d_{br}

Nach Tabelle 18, Fußnote 28, darf der Biegerollendurchmesser von Aufbiegungen und anderen Krümmungen auf $d_{br} = 10 d_s$ vermindert werden, wenn das Mindestmaß der Betondeckung rechtwinklig zur Krümmungsebene und der Achsabstand der Stäbe mindestens 10 cm und mindestens $7 d_s$ betragen. Diese Verminderung ist bei vorwiegend ruhender und vorwiegend nicht ruhender Beanspruchung zulässig; allerdings darf die Schwingbreite der Stahlspannung am Beginn der Krümmung den für enge Krümmungen geltenden Wert $\Delta\sigma_s = 100 \text{ N/mm}^2$ bzw. bei Betonstahlmatten IV M den Wert $\Delta\sigma_s = 80 \text{ N/mm}^2$ nicht überschreiten.

Tabelle 18. Mindestwerte der Biegerollendurchmesser d_{br}

	1	2
1	Stabdurchmesser d_s mm	Haken, Winkelhaken Schlaufen, Bügel
2	< 20	$4 d_s$
3	20 bis 28	$7 d_s$
4	Betondeckung (Mindestmaß) rechtwinklig zur Krümmungsebene	Aufbiegungen und andere Krümmungen von Stäben (z. B. in Rahmenecken) ²⁷⁾
5	> 5 cm und > $3 d_s$	$15 d_s$ ²⁸⁾
6	$\leq 5 \text{ cm}$ oder $\leq 3 d_s$	$20 d_s$

²⁷⁾ Werden die Stäbe mehrerer Bewehrungslagen an einer Stelle abgebogen, sind für die Stäbe der inneren Lagen die Werte der Zeilen 5 und 6 mit dem Faktor 1,5 zu vergrößern.

²⁸⁾ Der Biegerollendurchmesser darf bei vorwiegend ruhender Beanspruchung auf $d_{br} = 10 d_s$ vermindert werden, wenn das Mindestmaß der Betondeckung rechtwinklig zur Krümmungsebene und der Achsabstand der Stäbe mindestens 10 cm und mindestens $7 d_s$ betragen.

Druckfehlerberichtigung zu DIN 1045

Zu Tabelle 18

In Fußnote ²⁸⁾, Zeilen 1 und 2, muß „bei vorwiegend ruhender Beanspruchung“ entfallen.

Zu 18.5.1 – Bewehrungsrichtlinien; Verankerungen; Grundsätze

Rolf Eligehausen

18.4 Zulässige Grundwerte der Verbundspannungen

(4) Verbundbereich II gilt für

- alle Stäbe, die nicht dem Verbundbereich I zuzuordnen sind,
- alle Stäbe in Bauteilen, die im Gleitbauverfahren hergestellt werden. Für innerhalb der horizontalen Bewehrung angeordnete lotrechte Stäbe darf die Verbundspannung nach Tabelle 19, Zeile 2, um 30% erhöht werden

Nach [18-1] dürfen in Bauteilen, die im Gleitbauverfahren hergestellt werden, lotrechte Stäbe dem guten Verbundbereich I zugeordnet werden. Alle horizontalen Stäbe sind als im ungünstigen Verbundbereich II liegend anzusehen. Nunmehr gilt der Verbundbereich II auch für die lotrechten Stäbe, da auch bei diesen Stäben eine Störung des Verbundes während des Erhärtens des Betons selbst bei sorgfältiger Bauausführung nicht ausgeschlossen werden kann [18.4-1], [18.4-2]. Diese Störung ist jedoch bei lotrechten Stäben, die innerhalb der horizontalen Bewehrung angeordnet sind, nicht so ausgeprägt; daher dürfen in diesem Fall die für den Verbundbereich II geltenden zulässigen Verbundspannungen um 30 % erhöht werden.

Nach dieser Neuregelung muß in Bauteilen, die im Gleitbauverfahren hergestellt werden, die Verankerungslänge von lotrechten Stäben, die innerhalb oder außerhalb der horizontalen Bewehrung angeordnet sind, um 54 % bzw. 100 % gegenüber bisher erhöht werden

Zu 18.5.1 - Bewehrungsrichtlinien; Verankerungen; Grundsätze**18.5 Verankerungen****18.5.1 Grundsätze**

(3) Ein der Verankerung dienender Querstab muß nach DIN 488 Teil 4 oder DIN 4099 angeschweißt werden. Die Scherfestigkeit der Schweißknoten muß mindestens 30% der Nennstreckgrenze des dickeren Stabes betragen. Weiterhin muß die zur Verankerung vorgesehene Fläche des Querstabes je zu verankernden Stab mindestens $5 d_s^2$ betragen (d_s , Durchmesser des zu verankernden Stabes)

Absatz (3) wurde zur Berücksichtigung der Neufassungen von DIN 488 [18-2] und DIN 4099 [18-3] redaktionell, nicht jedoch sachlich geändert.

Die Scherfestigkeit der Schweißknoten muß mindestens 30 % der Nennstreckgrenze multipliziert mit der Querschnittsfläche des dickeren Stabes betragen. Weiterhin muß die zur Verankerung vorgesehene Fläche des Querstabes je zu verankernden Stab betragen:

$$A_{s,q} \geq 5 d_s^2 \quad (18.1)$$

Es bedeuten:

$$A_{s,q} = \text{Fläche des Querstabes bei Projektion senkrecht zur Längsachse des zu verankernden Stabes} \\ = d_{s,q} \cdot s \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$d_{s,q} = \text{Durchmesser des Querstabes [mm]}$$

$$s = \text{Abstand der zu verankernden Stäbe [mm]} \\ \leq 10 d_{s,q}$$

$$d_s = \text{Durchmesser des zu verankernden Stabes [mm]}$$

Zu 18.5.2.1 – Bewehrungsrichtlinien; Verankerungen; Gerade Stabenden, Haken, Winkelhaken, Schlaufen oder angeschweißte Querstäbe; Grundmaß l_0 der Verankerungslänge

Das Grundmaß l_0 der Verankerungslänge ist gegenüber bisher unverändert, lediglich Gleichung (21) zur Berechnung von l_0 wurde vereinfacht. Es gilt:

$$l_0 = \frac{d_s}{4 \cdot \text{zul } \tau_1} \cdot \frac{\beta_s}{\gamma} = \alpha_0 \cdot d_s \quad (21)$$

mit

$$\alpha_0 = \frac{\beta_s}{7 \cdot \text{zul } \tau_1}$$

18.5.2 Gerade Stabenden, Haken, Winkelhaken, Schlaufen oder angeschweißte Querstäbe

18.5.2.1 Grundmaß l_0 der Verankerungslänge

- (1) Das Grundmaß l_0 ist die Verankerungslänge für voll ausgenutzte Bewehrungsstäbe mit geraden Stabenden
- (2) Für Betonstabstahl sowie für Betonstahlmatten errechnet sich l_0 nach Gleichung (21)

$$l_0 = \frac{F_s}{\gamma \cdot u \cdot \text{zul } \tau_1} = \frac{d_s \cdot \beta_s}{4 \cdot \text{zul } \tau_1 \cdot \gamma} = \alpha_0 \cdot d_s \quad (21)$$

Hierin sind

- F_s Zug- oder Druckkraft im Bewehrungsstab unter $\sigma_s = \beta_s$.
- β_s Streckgrenze des Betonstahles nach Tabelle 6.
- γ rechnerischer Sicherheitsbeiwert $\gamma = 1,75$.
- d_s Nenndurchmesser des Bewehrungsstabes. Für Doppelstäbe von Betonstahlmatten ist der Durchmesser $d_{s,1}$ des querschnittsgleichen Einzelstabes einzusetzen ($d_{s,1} = d_s \cdot \sqrt{2}$).
- u Umfang des Bewehrungsstabes.
- $\text{zul } \tau_1$ Grundwert der Verbundspannung nach Abschnitt 18.4, wobei $\text{zul } \tau_1$ über die Länge l_0 als konstant angenommen wird.
- $\alpha_0 = \frac{\beta_s}{7 \cdot \text{zul } \tau_1}$ Beiwert, abhängig von Betonstahlsorte, Betonfestigkeitsklasse und Lage der Bewehrung beim Betonieren

Der Beiwert α_0 ist abhängig von der Betonstahlsorte, Betonfestigkeitsklasse und von der Lage der Bewehrung beim Betonieren. Er ist in Tabelle 18-1 angegeben.

Verbundbereich	Betonstahlsorte	Beiwerte α_0 für Festigkeitsklassen des Betons				
		B 15	B 25	B 35	B 45	B 55
I	III S	42,9	33,3	27,3	23,1	20,0
	IV S, IV M	51,0	39,7	32,5	27,5	23,8
II	III, IV	2fache Werte des Verbundbereichs I				

Tabelle 18.1: Beiwerte α_0

Zu 18.5.2.2 – Bewehrungsrichtlinien; Verankerungen; Gerade Stabenden, Haken, Winkelhaken, Schlaufen oder angeschweißte Querstäbe; Verankerungslänge l_1

Die Verankerungslänge l_1 für Betonstabstahl sowie für Betonstahlmatten wurde gegenüber bisher nicht verändert. Die in Tabelle 20 angegebenen Beiwerte α_1 für Haken, Winkelhaken oder Schlaufen gelten für Biegerollendurchmesser entsprechend den Mindestwerten nach Tabelle 18. Diese betragen $\min d_{br} = 4 d_s$ ($d_s < 20$ mm) bzw. $d_{br} = 7 d_s$ ($20 \text{ mm} < d_s < 28$ mm).

Das Verhalten (Schlupf, Bruchlast) von Verankerungen mit gekrümmten Stabenden (Haken, Winkelhaken, Schlaufen) wird durch eine Vergrößerung des Biegerollendurchmessers verbessert. Dieser günstige Einfluß kann durch einen Beiwert $\alpha_1 < 0,7$ erfaßt werden. Aus den in [18.5-1], [18.5-2] mitgeteilten Ergebnissen kann für einen Biegerollendurchmesser $d_{br} = 15 d_s$ ein Beiwert $\alpha_1 = 0,5$ abgeschätzt werden. Für Biegerollendurchmesser $\min d_{br} < d_{br} < 15 d_s$ darf der Beiwert α_1 linear zwischen $\alpha_1 = 0,7$ und $\alpha_1 = 0,5$ interpoliert werden. Selbstverständlich sind diese Beiwerte α_1 nur anwendbar, wenn ein Abplatzen des Betons durch eine der in Tabelle 20 angegebenen Maßnahmen (Betondeckung rechtwinklig zur Krümmungsebene $\geq 3 d_s$ oder Querdruck oder enge Verbügelung) verhindert wird.

Das Tragverhalten von geraden und gekrümmten Verankerungen mit und ohne angeschweißte Querstäbe wird durch Querdruck oder eine Querdehnungsbehinderung günstig beeinflusst. Die Wirkung eines allseitigen Querdrucks oder einer allseitigen Querdehnungsbehinderung auf das Verbundverhalten wird nach Abschnitt 18.4 (2) durch eine Erhöhung der zulässigen Verbundspannungen um 50 % berücksichtigt. Dies entspricht einer Verkürzung der Verankerungslänge um ein Drittel.

Der Einfluß einer einachsigen Querpressung rechtwinklig zur Spaltfläche auf das Tragverhalten von Verankerungen von Rippenstäben mit geraden Stabenden oder mit Schlaufen ($d_{br} = 4 d_s$) wurde in [18.5-3], [18.5-4] eingehend studiert. Die dort genannten Verfasser schlagen vor, den Einfluß von Querpressungen auf die Verankerungslänge l_1 durch einen Beiwert α_2 zu berücksichtigen. Dieser ist in Bild 18-1 in Abhängigkeit von der Höhe der Querpressungen bei zulässiger Gebrauchslast aufgetragen. Dabei darf die Querpressung an End- und Zwischenauflagern näherungsweise als gleichmäßig verteilt angenommen werden. Zum Vergleich ist der Vorschlag für die Neufassung der Mustervorschrift des CEB (Model Code 1990, kurz MC 90) [18.5-5], der auch die Ergebnisse in [18.5-6] berücksichtigt, mit eingezeichnet. Dabei wurde berücksichtigt, daß im MC 90 der Beiwert α_2 in Abhängigkeit von den Pressungen im Bruchzustand angegeben ist, während Bild 18-1 für die Pressungen unter Gebrauchslast gilt. Der MC 90 begrenzt den Beiwert α_2 mit Rücksicht auf den Auszieh Widerstand von geraden Stabenden (Abscheren der Betonkonsolen zwischen den Rippen) auf $\alpha_2 = 0,7$ [18.5-7], [18.5-8]. Bei Schlaufen ist ein Ausziehen der Stäbe nicht möglich, weshalb bei Verankerungen mit Schlaufen und hohen Querpressungen $\alpha_2 = 0,5$ gerechtfertigt ist. Bei Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte stimmen die Vorschläge nach [18.5-3] und [18.5-5] gut überein.

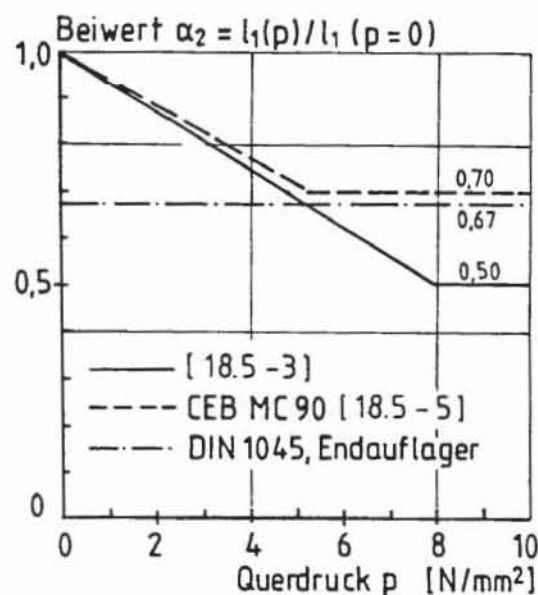


Bild 18-1: Einfluß von einachsigen Querpressungen auf die Verankerungslänge

Nach DIN 1045, Abschnitt 18.7.4 (2) beträgt die Verankerungslänge an Endauflagern bei direkter Auflagerung $l_2 = 2/3 l_1$, d. h. der günstige Einfluß der bei direkter Auflagerung wirkenden einachsigen Querpressung wird pauschal durch den Beiwert $\alpha_2 = 2/3$ erfaßt. Dieser ist in Bild 18-1 mit eingetragen. Man erkennt, daß eine Abminderung der Verankerungslänge um $1/3$ bei einer Querpressung $p \approx 5 \text{ N/mm}^2$ berechtigt ist. Eine Querpressung in dieser Höhe dürfte bei Balken i. a. vorliegen, insbesondere in den Fällen, in denen es auf eine kurze Verankerungslänge ankommt. Bei Platten ist die Querpressung oft geringer, jedoch wird sich ein Riß wegen der geringen Querkraft in der Regel nicht – wie in der Rechnung angenommen – an der Auflagervorderkante sondern im Abstand davon bilden, wodurch die vorhandene Verankerungslänge vergrößert und die Kraft am Auflager gegenüber dem Rechenwert vermindert wird. Die Richtigkeit der in DIN 1045 aufgenommenen einfachen Regelung wurde außerdem durch zahlreiche Großversuche an Balken und Platten bestätigt und hat sich in der Praxis bewährt. Daher wurde sie unverändert beibehalten.

An kurzen Auflagern sowie an der Lastseite von Konsolen wird die Bewehrung oft durch liegende Schlaufen (Schlaufenebene rechtwinklig zur Querpressung) (Bild 18-2a) verankert, die bügel förmig ($d_{br} = \min d_{br} = 4 d_s$ für $d_s < 20 \text{ mm}$) (Bild 18-2b) oder mit vergrößertem Biegerollendurchmesser ($d_{br} \geq 15 d_s$) (Bild 18-2 c) ausgeführt sein können. Gelegentlich werden auch liegende Haken oder Winkelhaken mit vergrößertem Biegerollendurchmesser verwandt. In diesen Fällen liegt meist ein sehr hoher Querdruck vor. Diese günstigen Einflüsse auf das Verbundverhalten von gezogenen Stäben können durch eine Erweiterung von Gleichung (22) der DIN 1045 berücksichtigt werden (siehe Gleichung (18.2)) Es sei darauf hingewiesen, daß für Verankerungen mit geraden Stabenden aus den o.g. Gründen Gleichung (22) der Norm unverändert gilt.

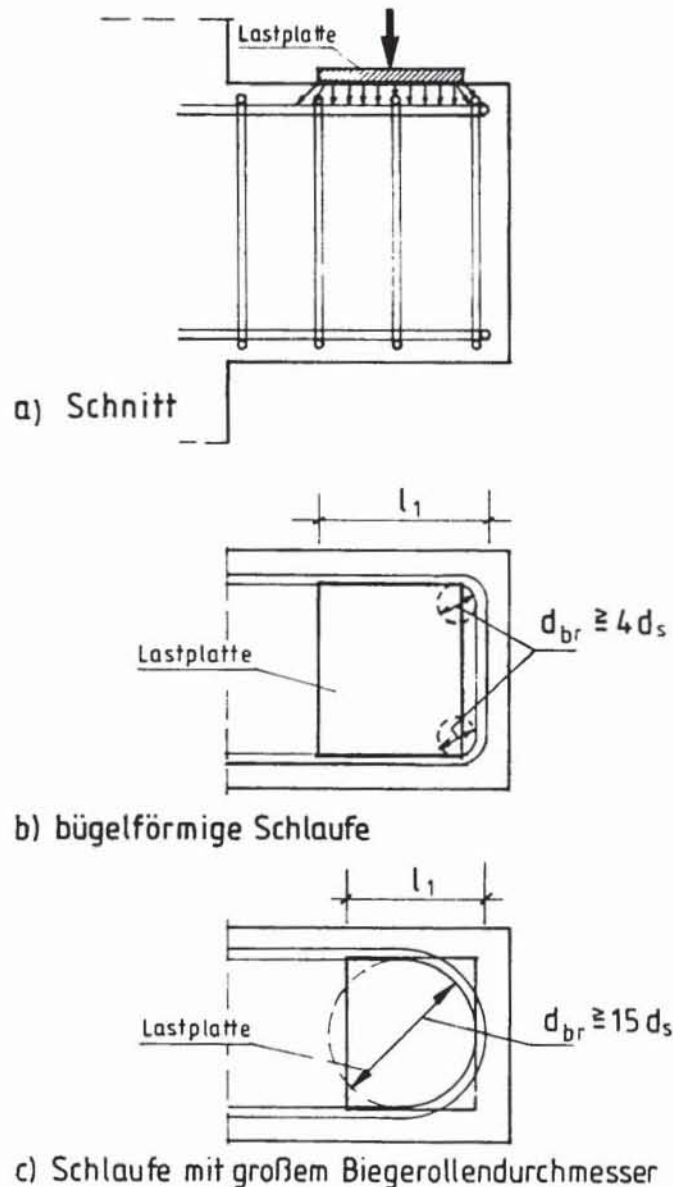


Bild 18-2: Verankerung der Bewehrung an Konsolen

$$l_1 = \alpha_0 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_A \cdot d_s \geq \frac{d_{br}}{2} + d_s \quad (18.2)$$

Es bedeuten:

l_1 = Verankerungslänge von Stäben mit gekrümmten Stabenden, sie beginnt an der Kante des Auflagers bzw. der Lastplatte

α_0 = $\frac{\beta_s}{7 \cdot \text{zul } \tau_1}$, siehe Tabelle 18-1;

α_1 = 0,7 bei Haken, Winkelhaken oder bügelförmigen Schlaufen (siehe Bild 18-2b)

= 0,5 bei Haken, Winkelhaken oder bügelförmigen Schlaufen mit mindestens einem angeschweißten Stab innerhalb l_1 vor dem Krümmungsbeginn;

= 0,5 bei Haken, Winkelhaken und Schlaufen mit $d_{br} \geq 15 d_s$ (siehe Bild 18-2c);

\approx 0,4 bei Haken, Winkelhaken und Schlaufen mit $d_{br} \geq 15 d_s$ mit mindestens einem angeschweißten Stab innerhalb l_1 vor dem Krümmungsbeginn;

α_2 = 1,0 keine Querpressung, indirekte Lagerung

= 2/3 normale Querpressung

= 0,5 bei hohen Querpressungen $p \geq 8 \text{ N/mm}^2$ unter Gebrauchslast. Die Querpressungen dürfen vereinfacht als gleichmäßig verteilt angenommen werden.

α_A = $\frac{\text{erf } A_s}{\text{vorh } A_s}$

erf A_s = rechnerisch erforderlicher Bewehrungsquerschnitt,

vorh A_s = vorhandener Bewehrungsquerschnitt,

d_s = Stabdurchmesser,

d_{br} = vorhandener Biegerollendurchmesser.

Bei Anwendung von Gleichung (18.2) muß die gesamte Verankerungslänge l_1 im Bereich von Querdruck liegen.

Die nach Gleichung (18.2) für Betonstähle IV ($\sigma_s = 286 \text{ N/mm}^2$) berechneten Verankerungslängen sind in Bild 18-3 in Abhängigkeit von der Betonfestigkeitsklasse aufgetragen.

Bild 18-3a gilt für Verankerungen im guten Verbundbereich I und Bild 18-3b für Verankerungen im ungünstigen Verbundbereich II. Die Verankerungslängen sind relativ kurz und können in der Regel im Bereich der Lastplatte oder des Endauflagers untergebracht werden.

Ein hier nicht dargestellter Vergleich der Verankerungslängen nach Gleichung (18.2) mit den Werten nach DIN 1045/01.72, Abschnitt 18.3.3.3, für die Verankerung von Schlaufen zeigt, daß Gleichung (18.2) für Verankerungen im Verbundbereich I und Betonfestigkeitsklassen \geq B 25 gleiche oder kürzere Verankerungslängen als DIN 1045/01.72 liefert. Dies gilt auch für Verankerungen im ungünstigen Verbundbereich II, wenn hohe Querpressungen einwirken ($p \geq 8 \text{ N/mm}^2$) und/oder mindestens ein Querstab innerhalb l_1 vor der Krümmung vorhanden ist. Beide Maßnahmen bewirken eine Verbesserung des Schlupfverhaltens der Schlaufe.

Bei der Beurteilung dieses Vergleichs ist zu berücksichtigen, daß für die Ableitung der Regeln in DIN 1045/01.72 für die Verankerung von Schlaufen die Verhinderung von Betonabplatzungen maßgebend war. Demgegenüber berücksichtigen die Beiwerte α_1 und α_2 zusätzlich die Einhaltung von definierten Verschiebungen am Verankerungsbeginn.

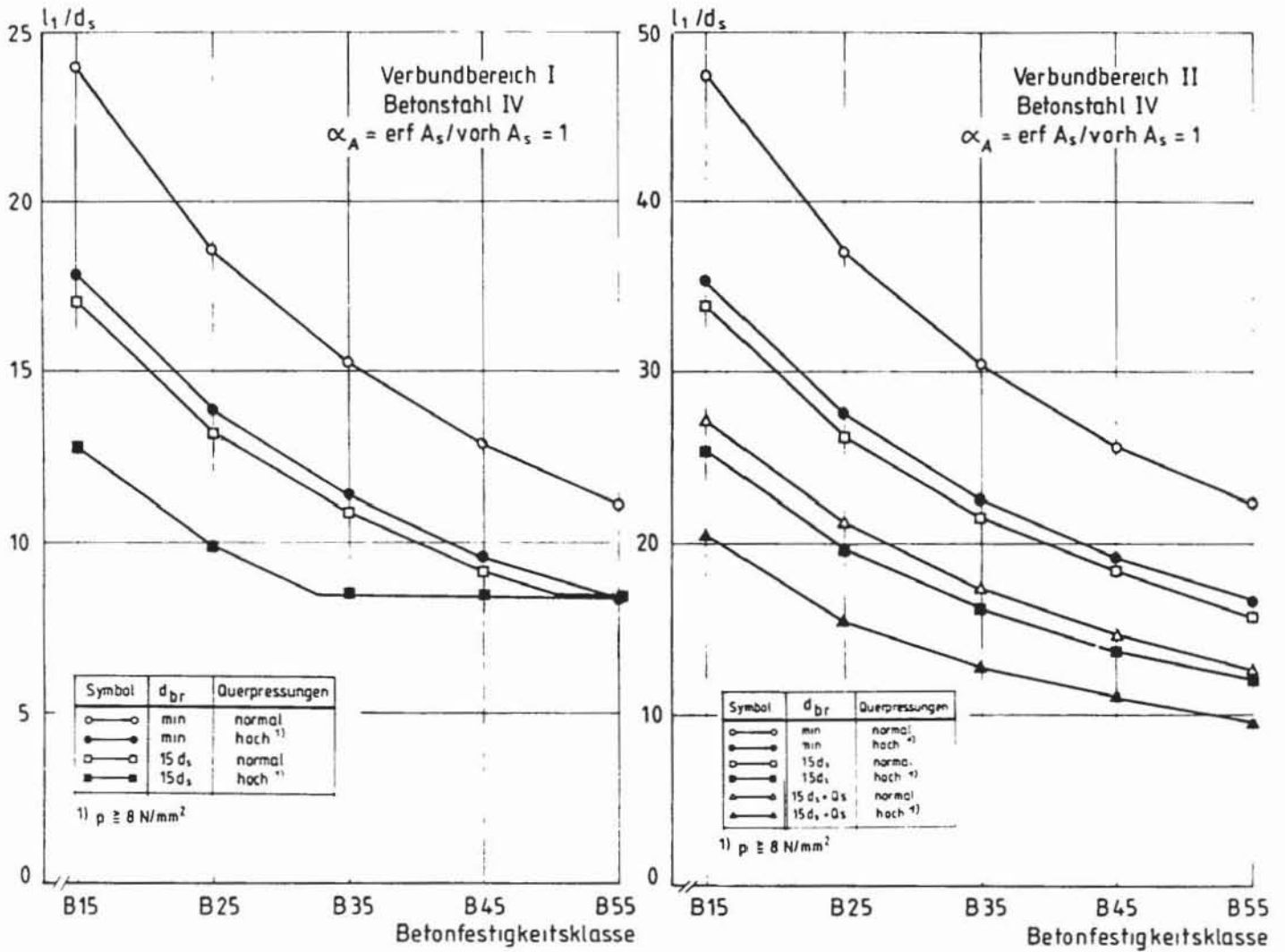


Bild 18-3. Verankerungslänge von Schlaufen an Endauflagern oder an der Lastseite von Konsolen in Abhängigkeit von der Betonfestigkeitsklasse

Zu 18.6.3 – Bewehrungsrichtlinien; Stöße; Übergreifungsstöße mit geraden Stabenden, Winkelhaken oder Schlaufen

Rolf Eligehausen

Die Vorschriften wurden nicht geändert, jedoch sei auf die Ergebnisse von neueren Untersuchungen über das Brandverhalten von Bauteilen mit einem Übergreifungsstoß der Bewehrung [18.6-1], [18.6-2] hingewiesen.

Bei Übergreifungsstößen von Rippenstäben wird die Betondeckung im Stoßbereich auf Zug beansprucht. Das Versagen erfolgt daher i.a. durch Abplatzen der Betondeckung. Bei Brandeinwirkung wird die Betondeckung zusätzlich beansprucht, so daß die Gefahr von Abplatzungen steigt. Nach [18.6-1], [18.6-2] gewährleisten die Bewehrungsrichtlinien der DIN 1045 in Verbindung mit den Anforderungen nach DIN 4102 [18.6-3] nicht immer die vorausgesetzte Feuerwiderstandsdauer. Dies gilt insbesondere für Vollstöße einer hoch ausgenutzten Bewehrung ($\sigma_s \approx$ zul σ_{s0}). Kritisch ist die frühe Beflammungsphase (bis ca. 30 Minuten), weil in dieser Zeitspanne die Beanspruchungen insbesondere in den Stoßbereichen besonders hoch sind und der Beton einen relativ hohen Festigkeitsverlust aufweist. Das Tragverhalten der Stöße wird wesentlich durch die Art der Querbewehrung (gerade Stäbe, Bügel), Betondeckung, Stoßabstand, Stoßanordnung in Längsrichtung (Stöße gegeneinander versetzt bzw. nicht versetzt), Anteil der in einem Schnitt gestoßenen Bewehrung an der gesamten Bewehrung und die Art der Beflammung (dreiseitig, wie in stabförmigen Bauteilen, bzw. einseitig, wie in flächenartigen Bauteilen) beeinflusst.

Bei biegebeanspruchten Bauteilen, die einer Feuerwiderstandsklasse gemäß DIN 4102 Teil 2 angehören sollen, sollten Übergreifungsstöße nur ausgeführt werden, wenn die Zugbeanspruchung der Stäbe im Stoßbereich gering ist ($\sigma_s < 0,5$ zul σ_{s0}) oder höchstens 50 % des Querschnitts einer Bewehrungslage in einem Schnitt gestoßen werden. In diesen Fällen richtet sich die Ausbildung der Stöße nach DIN 1045 und die Höhe der Betondeckung nach DIN 4102 Teil 4.

Sind Übergreifungsstöße hoch ausgenutzter Stäbe ($\sigma_s > 0,5$ zul σ_{s0}) nicht zu vermeiden und werden mehr als 50 % des Querschnitts einer Bewehrungslage in einem Schnitt gestoßen, werden folgende Regelungen empfohlen [18.6-1], [18.6-2]:

In stabförmigen Bauteilen sind möglichst alle Stöße in Bügelecken anzuordnen. In flächenartigen Bauteilen sollten die Stöße bei einem Achsabstand (siehe DIN 1045, Bild 17) $\leq 7 d_s$ entweder ebenfalls in Bügelecken angeordnet oder die Übergreifungslänge sollte um 30 % gegenüber dem Wert nach DIN 1045 erhöht werden. Auf diese zusätzlichen Maßnahmen darf bei Stößen in stabförmigen und flächenartigen Bauteilen verzichtet werden, wenn bei Ansatz der Übergreifungslänge für Vollstöße nach DIN 1045, Tabelle 21, Spalte 5, die Stöße in Längsrichtung um etwa $0,5 l_u$ gegeneinander versetzt werden.

Weiterhin sollten bei Übergreifungsstößen mit hoch ausgenutzten Stäben ($\sigma_s > 0,5$ zul σ_{s0}) die Achsmaße u der Betondeckung bei einer geforderten Feuerwiderstandsdauer von F 30 und F 60 entweder den Werten für F 90 nach DIN 4102 Teil 4 entsprechen oder mindestens $u \geq 2 d_s$ betragen. Diese Erhöhung der Betondeckung, bezogen auf die Achsmaße der Bewehrung, ist erforderlich, weil bei Bauteilen mit Übergreifungsstößen unabhängig von der geforderten Feuerwiderstandsdauer eine hohe Beanspruchung der Betondeckung in den Stoßbereichen während der frühen Beflammungsphase auftritt, während die in DIN 4102 Teil 4 geforderte Betondeckung nur sicherstellt, daß die kritische Stahltemperatur nicht erreicht wird.

Diese Empfehlungen gelten bis zum Erscheinen einer überarbeiteten Fassung von DIN 4102 Teil 4.

Nach DIN 1045 gelten Stöße als gegeneinander längsversetzt, wenn der Längsabstand der Stoßmitten mindestens der 1,3fachen Übergreifungslänge l_u entspricht. Stöße mit einem Längsversatz von $0,5 \cdot l_u$ gelten hinsichtlich der Übergreifungslänge als nicht längsversetzt. Allerdings werden an die Querbewehrung geringere Anforderungen als an Vollstöße gestellt, wenn benachbarte Stöße mit geraden Stabenden um $0,5 l_u$ gegeneinander längsversetzt sind (siehe DIN 1045, Abschnitt 18.6.3.4 (1a)). Diese Regelung wurde in [18-4] ausführlich begründet.

Es sei darauf hingewiesen, daß unter sonst gleichen Bedingungen Stöße mit geraden Stabenden bei einem Längsversatz benachbarter Stöße um etwa $0,5 l_u$ i.a. ein günstigeres Rißverhalten aufweisen als Vollstöße [18.6-4]. Weiterhin wirkt sich das Versetzen der Stoßenden um $0,5 l_u$ günstig auf das Stoßtragverhalten bei Brandeinwirkung aus [18.6-1, 18.6-2]. Daher ist es konstruktiv sinnvoll, benachbarte Stöße soweit als möglich um $0,5 l_u$ gegeneinander zu versetzen, auch wenn dies nicht mit einer Verkürzung der Übergreifungslänge honoriert wird.

18.6.3.3 Übergreifungslänge l_u bei Druckstößen

Die Übergreifungslänge muß mindestens l_0 nach Abschnitt 18.5.2.1 betragen. Abminderungen für Haken, Winkelhaken oder Schlaufen sind nicht zulässig.

Druckfehlerberichtigung

Zu Abschnitt 18.6.4.3 (1)

Die Klammer „(siehe Abschnitt 17.6.1)“ entfällt.

Zu 18.7.3 – Bewehrungsrichtlinien; Biegezugbewehrung; Verankerung außerhalb von Auflagern

Rolf Elgehausen

Die Regeln für die Verankerung von Bewehrungsstäben außerhalb von Auflagern wurden beibehalten. Bei gestaffelten Stäben beträgt die Verankerungslänge i.a. $\alpha_1 \cdot l_0$ und ist vom rechnerischen Endpunkt E der Zugkraftlinie zu messen (siehe Bild 21). Nur bei Platten mit Stabdurchmessern $d_s < 16$ mm darf die Verankerungslänge $l_1 = \alpha_1 \cdot \alpha_A \cdot l_0$ gewählt, also die tatsächliche Stahlspannung berücksichtigt werden. Allerdings muß sichergestellt sein, daß die Länge $\alpha_1 \cdot l_0$ vom Anfangspunkt A der Zugkraftlinie ebenfalls eingehalten ist. (Bild 22).

Die Gründe für diese einfache Regelung sind in [18-4] aufgeführt. Sie gelten nach wie vor.

In beiden Fällen wird angenommen, daß die wirksame Zugkraft an den Punkten E der Zugkraftdeckungslinie sprunghaft um die zulässige Stabkraft anwächst. In Wirklichkeit nimmt die Kraft im verankerten Stab kontinuierlich zu, wobei man in erster Näherung von einer linearen Zunahme (dies entspricht einer konstanten Verbundspannung) ausgehen kann (Bild 18-4). Will man diesen wirklichkeitsnäheren Verlauf der Zugkraft bei der Deckung der Zugkraftlinie berücksichtigen, muß man nachweisen, daß in jedem Querschnitt die unter Berücksichtigung der entlang der Verankerungslänge veränderlichen Stahlspannung ermittelte aufnehmbare Zugkraft der Bewehrung den Wert der Zugkraftlinie nicht unterschreitet (siehe Bild 18-4).

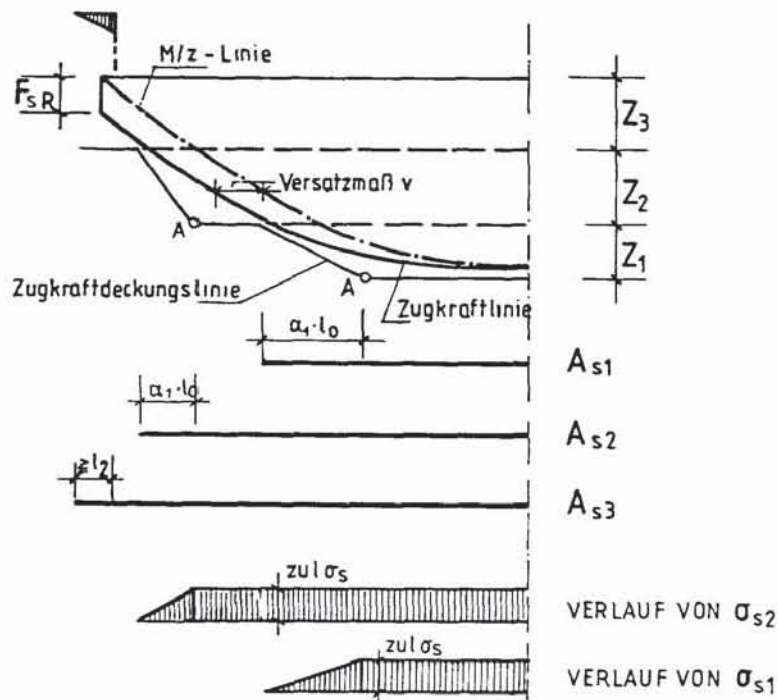


Bild 18-4: Verankerung einer gestaffelten Bewehrung bei Annahme einer linearen Zunahme der Zugkraft im Bereich der Verankerungslänge

Der „genaue“ Nachweis nach Bild 18-4 ist nach DIN 1045 nicht zulässig. Er sollte aus den in [18-4] genannten Gründen auch nur in Sonderfällen (z.B. bei dicken Wänden im U-Bahnbau oder bei dicken Wänden von Widerlagern) geführt werden. Bei der Ermittlung der Zugkraftlinie sollten mögliche ungünstige Einflüsse auf den Verlauf der Momenten- bzw. Zugkraftlinie (z.B. infolge Änderung der angenommenen Stellung der Lasten oder bei statisch unbestimmten Systemen infolge Abweichung der örtlichen Steifigkeiten beispielsweise infolge Ribbildung von den angenommenen Werten) berücksichtigt werden. In Abweichung von Abschnitt 18.7.2 (7) ist dann die Deckung der Zugkraftlinie rechnerisch nachzuweisen. Zur Verhinderung eines schrägen, von den Stäben ausgehenden Bruchrisses sollte man nach [18.7-1] die Stäbe mindestens um den Bügelabstand über den theoretischen Endpunkt hinaus verlängern. Weiterhin wird empfohlen, im Bereich der Verankerungen eine verstärkte Querbewehrung anzuordnen, um das Aufgehen von eventuellen Spaltrissen zu verhindern. Außerdem ist natürlich eine hohe Verlegegenauigkeit zu gewährleisten.

In Bild 18-5 ist für die Zugkraftlinie nach Bild 18-4 die Zugkraftdeckungslinie bei Einhaltung der Bedingungen nach DIN 1045, Bild 21, eingetragen. Ein Vergleich der Bilder zeigt, daß nach DIN 1045 die Zugkraftdeckungslinie um das Maß $\alpha_1 \cdot l_0$ weiter nach außen verschoben ist, gestaffelte Stäbe also um dieses Maß länger sein müssen als bei Annahme einer linearen Zunahme der Verbundspannungen. Bei Verankerung der gestaffelten Stäbe nach DIN 1045, Bild 22 ist die Zugkraftdeckungslinie nur um das Maß l_1 gegenüber Bild 18-4 nach außen verschoben

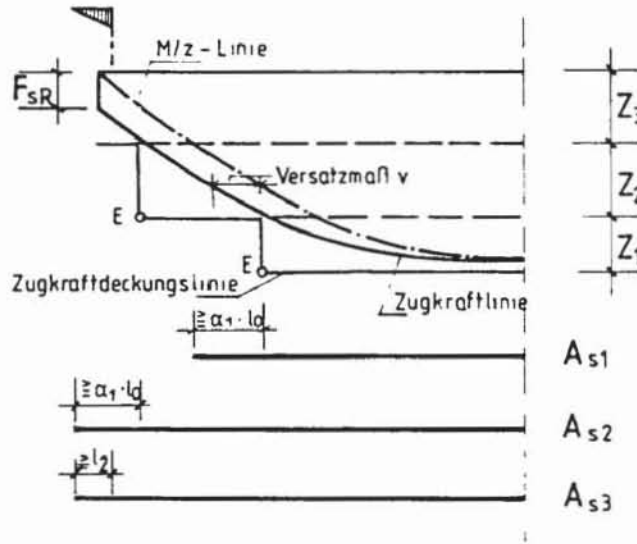


Bild 18-5: Verankerung einer gestaffelten Bewehrung bei Einhaltung der Bedingungen nach DIN 1045, Bild 21

Zu 18.7.4 – Bewehrungsrichtlinien; Biegezugbewehrung; Verankerung an Endauflagern

Die Regelungen wurden gegenüber [18-1] nicht verändert.

Bei Stabbündeln dürfen einzelne Stäbe des Bündels vor dem Auflager verankert werden, so daß nur ein Stab des Bündels über das Auflager geführt wird. Beispielsweise beträgt bei einem aus zwei Stäben bestehenden Bündel die Verankerungslänge des vor dem Auflager endenden Stabes bei Beachtung der Abschnitte 18.7.3 und 18.11.4 $1,3 \cdot l_0$ (Regelfall) bzw. $1,3 \cdot l_1$ (Platten mit $d_s < 16 \text{ mm}$), der über das Auflager geführte Stab ist mit l_2 (direkte Lagerung) bzw. l_3 (indirekte Lagerung) zu verankern.

18.7.4 Verankerung an Endauflagern

(1) An frei drehbaren oder nur schwach eingespannten Endauflagern ist eine Bewehrung zur Aufnahme der Zugkraft F_{sR} nach Gleichung (26) erforderlich, es muß jedoch mindestens ein Drittel der größten Feldbewehrung vorhanden sein. Für Platten ohne Schubbewehrung ist zusätzlich Abschnitt 20.1.6.2 zu beachten

$$F_{sR} = Q_{Rk} \frac{l'}{h} + N \tag{26}$$

(2) Diese Bewehrung ist hinter der Aufschlagvorderkante bei direkter Auflagerung mit der Verankerungslänge l_2 nach Gleichung (27)

$$l_2 = \frac{2}{3} l_1 \geq 6 d_s \tag{27}$$

bei indirekter Lagerung mit der Verankerungslänge l_3 nach Gleichung (28) zu verankern, in allen Fällen jedoch mindestens über die rechnerische Auflagerlinie zu führen

$$l_3 = l_1 \geq 10 d_s \tag{28}$$

(3) Dabei ist l_1 die Verankerungslänge nach Abschnitt 18.5.2.2, d_s ist bei Betonstahlmatten aus Doppelstäben auf den Durchmesser des Einzelstabes zu beziehen

(4) Ergibt sich bei Betonstahlmatten erf. $A_s / \text{vorh. } A_s \leq 1/3$, so genügt zur Verankerung mindestens ein Querstab hinter der rechnerischen Auflagerlinie

Die Ermittlung der Verankerungslänge von Stäben mit gekrümmten Stabenden kann nach Gleichung (27) erfolgen. Alternativ dazu kann die Verankerungslänge nach Gleichung (18.3) bestimmt werden:

$$l_2 = l_1 \geq 6 d_s \tag{18.3}$$

mit l_1 nach Gleichung (18.2).

Nach Gleichung (27) beträgt das Mindestmaß der Verankerungslänge bei direkter Auflagerung $\min l_2 = 6 d_s$. Die Mindestlänge soll unvermeidliche Herstellungsungenauigkeiten abdecken und gewährleisten, daß ein bestimmter Teil der zulässigen Zugkraft der über die Auflager geführten Stäbe verankert wird. Ungenauigkeiten können beim Ablängen oder Verlegen der Bewehrungsstäbe sowie bei der Stützweite auftreten. Dabei wurde bei den Beratungen davon ausgegangen, daß die Herstellungsungenauigkeiten proportional zum vorhandenen Stabdurchmesser sind, weil mit zunehmendem Stabdurchmesser meist auch die Stützweite der Bauteile und damit die Länge der Bewehrungsstäbe ansteigt.

In vielen Anwendungsfällen (z.B. wenn ein großer Teil der Feldbewehrung über die Auflager geführt wird) ergibt sich die minimale Verankerungslänge $\min l_2 = 6 d_s$. Kann bei Verwendung von dicken Stäben diese Verankerungslänge nicht im Auflagerbereich untergebracht werden, wird oft die Feldbewehrung kurz vor dem Auflager mit dünnen Stäben gestoßen und diese dann nach Gleichung (27) am Endauflager verankert. In diesem Fall hält man zwar die Norm formal ein, jedoch wird die Konstruktion durch Anordnung von zusätzlichen Stößen kaum verbessert.

Sinnvoller erscheint es, die Feldbewehrung nicht zu stoßen, sondern über das Auflager zu führen und gegebenenfalls dünne Stäbe zuzulegen. In diesem Fall ist nachzuweisen, daß die an der Auflagervorderkante angreifende Zugkraft F_{sR} nach Gleichung (26) verankert werden kann. Besteht die Bewehrung aus Stäben gleichen Durchmessers mit geraden Stabdenden, ergibt sich die aufnehmbare Zugkraft F_s zu

$$F_s = n \pi d_s (\text{vorh } l - \Delta l) \text{ zul } \tau_1 \quad (18.4)$$

Es bedeuten:

- n = Anzahl der über das Auflager geführten Stäbe
- vorh l = planmäßig vorhandene Verankerungslänge
- Δl = Toleranzlänge
- zul τ_1 = zulässige Verbundspannung nach Tabelle 19. Bei direkter Lagerung dürfen die Werte der Tabelle 19 um 50 % erhöht werden.

Bei ungleichen Stabdurchmessern ist in Gleichung 18.2 anstatt des Ausdrucks $n\pi d_s$ der Umfang aller Stäbe einzusetzen.

Bei der Ermittlung der wirklich vorhandenen Verankerungslänge sind Toleranzen zu berücksichtigen. Es ist nicht dokumentiert, welche Minustoleranz für die Verankerungslänge bei der Ableitung der Mindestlänge $\min l_2$ berücksichtigt wurde. Sie hängt wesentlich von der Sorgfalt bei der Bauausführung und der Bewehrungsführung ab (z.B. sind Paßstäbe ungünstig) und kann nach [18.7-2] bei üblicher Sorgfalt je nach Stablänge und Durchmesser bis zu maximal ca. 50 mm betragen. Falls kein genauere Nachweis geführt wird, wird vorgeschlagen, als Toleranz $\Delta l \approx 1,5 d_s$ anzusetzen. Dies entspricht bei einer Bewehrung mit Stabdurchmessern 6 mm bzw. 28 mm einer Toleranz von 9 mm bzw. 42 mm, die nur bei relativ hoher Ausführungsqualität eingehalten werden kann. Noch geringere Toleranzen sollten nur in Ausnahmefällen dann angesetzt werden, wenn die Einhaltung der vorgesehenen Verankerungslängen durch eine besonders sorgfältige Bauausführung und Überwachung sichergestellt wird.

Zu 18.8.2.1 – Bewehrungsrichtlinien; Schubbewehrung; Bügel; Ausbildung der Bügel

Die Regeln für die Ausbildung der Bügel wurden nicht verändert.

Bei Plattenbalken dürfen die Bügel durch die Querbewehrung der anschließenden Platte geschlossen werden (Bild 26 e). Oft sollen offene Bügel mit nach außen gebogenen Haken oder Winkelhaken eingesetzt werden, um das Einbringen des Betons zu erleichtern. Wählt man eine solche Ausführung, dann ist für die Aufnahme der an den Krümmungen eingeleiteten Umlenkkräfte (Bild 18-6) zu sorgen. Allerdings enthalten weder DIN 1045 noch [18-4] eindeutige Konstruktionsregeln.

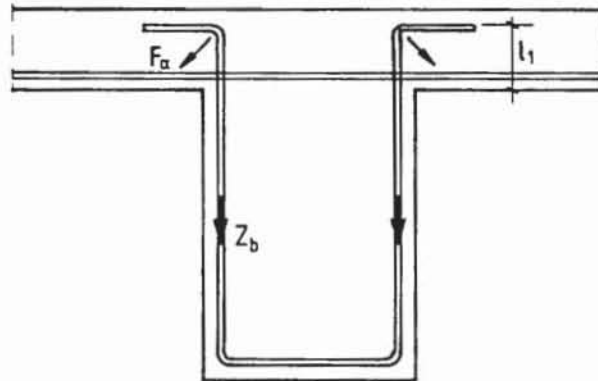


Bild 18-6: Umlenkkräfte bei nach außen gebogenen offenen Bügeln

Zwischenzeitlich wurde die Krafteinleitung in die Platte bei einer Schubsicherung durch oben offene Bügel mit nach außen abgeboenen Haken theoretisch untersucht [18.8-1]. Um ein Herausreißen der Haken oder Winkelhaken oder das Spalten der Platte zu verhindern, werden die in Tabelle 18.2 angegebenen Einbindetiefen in die Platte (Verankerungslänge l_1) (siehe Bild 18-6) empfohlen. Bei Verwendung von Betonstahlmatten mit Doppelstäben als Bügel ist die Verankerungslänge auf den Vergleichsdurchmesser $d_{sv} = \sqrt{2} \cdot d_s$ zu beziehen. Bei Platten in der Zugzone ist eine größere Einbindetiefe der Bügel als bei Platten in der Druckzone erforderlich, weil wegen der möglichen Ribbildung der vor der Krümmung über Verbund in den Beton eingeleitete Anteil der Bügelkraft und der Widerstand der Platte gegen Aufspalten geringer sind. Die Tabelle gilt für eine Betonfestigkeitsklasse B 25; bei anderen Klassen als B 25 können die Verhältniswerte mit dem Faktor $\sqrt{25/B_{WN}}$ umgerechnet werden. Bei einem Bügelabstand $a < 100$ mm sind die angegebenen Werte l_1/d_s zu vergrößern (siehe [18.8-1]).

Die erforderliche Plattendicke ergibt sich aus der vorgeschlagenen Verankerungslänge l_1 zuzüglich der erforderlichen Betondeckung.

Die Zahlenwerte in Tabelle 18.2 wurden gegenüber denen in [18.8-1] geringfügig erhöht, weil hier die Verankerungslänge l_1 angegeben wird, während in [18.8-1] die „statischen Nutzhöhe h “ verwendet wird.

Zur Aufnahme der waagerechten Komponente der Umlenkkraft ist eine ausreichend dimensionierte, vorzugsweise durchgehende oder zumindest ausreichend im Steg verankerte Querbewehrung unten in der Platte vorzusehen (Bild 18-6). Bei Rippendecken erscheint es wegen der relativ geringen Beanspruchungen ausreichend, in der Platte nur eine obere Querbewehrung anzuordnen. Dies ermöglicht eine rationelle Bewehrungsarbeit.

BSt	Rippendecke $\tau_0 \leq \tau_{02}; d_s \leq 8 \text{ mm}$		Plattenbalken $\tau_0 \leq \tau_{03}; d_s \leq 12 \text{ mm}$	
	Zugzone	Druckzone	Zugzone	Druckzone
420 S	8,5	7,0	13,0	10,5
500 S, 500 M	10,0	8,0	15,0	12,5

Tabelle 18-2: Empfohlene Verhältniswerte Einbindetiefe zu Bügeldurchmesser l_1/d_s (l_1/d_{sv} bei Betonstahlmatten mit Doppelstäben) für B 25, Bügelabstand $a \geq 100 \text{ mm}$ (nach [18.8-1])

Die empfohlenen Einbindetiefen setzen eine genaue Lage der Bügel voraus. Sind Lageungenauigkeiten nicht auszuschließen, sind diese bei der Festlegung der Mindesteinbindetiefe der Bügel in die Platte und damit bei der Plattendicke zu berücksichtigen. Es sei darauf hingewiesen, daß nach [18.7-2] die Toleranz in den Abmessungen von Bügelkörben bei Verwendung üblicher Biegemaschinen und normaler Sorgfalt je nach Höhe der Körbe bis zu etwa $\pm 10 \text{ mm}$ ($h \leq 50 \text{ cm}$) bzw. $\pm 15 \text{ mm}$ ($h > 50 \text{ cm}$) betragen kann.

Zu 18.10.3 – Bewehrungsrichtlinien; Besondere Bestimmungen für einzelne Bauteile; Angehängte Lasten

Rolf Eligehausen

Die Regeln für die Verankerung der Aufhängevorrichtungen von angehängten Lasten wurden unverändert von [18-1] übernommen.

Die Regeln gewährleisten die Einleitung der Lasten in den Beton über Verbundspannungen und/oder Betonpressungen (bei Anordnung von Haken, Winkelhaken, Schlaufen oder Ankerplatten an den Stabenden). Weiterhin soll ein trichterförmiger Betonausbruch ausgeschlossen werden. Dieses Ziel wird auch erreicht, wenn die Aufhängevorrichtungen in einem ausreichend großen Abstand von Bauteilrändern angeordnet werden. Liegen sie nahe an Bauteilrändern (Randabstand $< 1,5 l_1$), oder sind sie im geringen gegenseitigen Abstand (Achsabstand $< 3 l_1$) angeordnet, ist ein vorzeitiger trichterförmiger Betonausbruch nicht immer auszuschließen. In diesen Fällen wird empfohlen, die im Hinblick auf die Versagensart „Betonausbruch“ aufnehmbare Last nach [18.10-1] nachzuweisen. Dabei können die in [18.10-1] angegebenen Gleichungen näherungsweise auch bei gekrümmten Stabenden (Haken, Winkelhaken, Schlaufen) angewandt werden, da sich die Ausbruchlast von einbetonierten Haken und Kopfbolzen bei gleicher Einbettungstiefe nicht wesentlich unterscheidet [18.10-2].

Die Aufhängevorrichtungen sollten – insbesondere bei hohen angehängten Lasten – möglichst bis zum abgewandten Rand geführt oder durch einen Übergreifungsstoß oder geschweißten Stoß nach Abschnitt 18.6 an Bügel angeschlossen werden, um eine einwandfreie Krafteinleitung zu gewährleisten und eine ungünstige Beeinflussung des als Ankergrund dienenden Bauteils auszuschließen.

Zu 18.11.2 - Bewehrungsrichtlinien; Stabbündel; Anordnung, Abstände, Betondeckung

18.11.2 Anordnung, Abstände, Betondeckung

Die Anordnung der Stäbe im Bündel sowie die Mindestmaße für die Betondeckung c_{sb} und für den lichten Abstand der Stabbündel a_{sb} richten sich nach Bild 33. Das Nennmaß der Betondeckung richtet sich entweder nach Tabelle 10 oder ist dadurch zu ermitteln, daß das Mindestmaß $c_{sb} = d_{sv}$ um 1,0 cm erhöht wird. Für die Betondeckung der Hautbewehrung (siehe Abschnitt 18.11.3) gilt Abschnitt 13.2.

Bei geschweißten Betonstahlmatten aus Doppelstäben darf die Betondeckung nach Tabelle 10 unter Ansatz des Einzelstabdurchmessers d_s ermittelt werden, da die Konstruktionsregeln für die Verankerung und den Stoß solcher Matten (vgl. DIN 1045, Abschnitte 18.5 und 18.6.4) nur diese Betondeckung voraussetzen [18.11-1, 18.11-2].

Zu 18.11.3 - Bewehrungsrichtlinien; Stabbündel; Beschränkung der Rißbreite

18.11.3 Beschränkung der Rißbreite

(1) Der Nachweis der Beschränkung der Rißbreite ist bei Stabbündeln mit dem Vergleichsdurchmesser d_{sv} zu führen.

(3) Als Hautbewehrung sind nur Betonstahlmatten mit Längs- und Querstababständen von jeweils höchstens 10 cm zulässig. Der Querschnitt der Hautbewehrung muß in Richtung der Stabbündel Gleichung (30) entsprechen und quer dazu mindestens $2,0 \text{ cm}^2/\text{m}$ betragen.

$$a_{sh} \geq 2 c_{sb} \text{ in cm}^2/\text{m} \quad (30)$$

Hierin sind:

a_{sh} Querschnitt der Hautbewehrung in Richtung der Stabbündel in cm^2/m ,

c_{sb} Mindestmaß der Betondeckung der Stabbündel in cm.

Die Verbundwirkung von Stabbündeln ist schlechter als die der Einzelstäbe des Bündels. Bei der Ermittlung des Grenzdurchmessers nach DIN 1045, Tabelle 14, ist deshalb der Vergleichsstadurchmesser d_{sv} einzusetzen. Bei geschweißten Betonstahlmatten wird die ungünstigere Verbundwirkung von Doppelstäben durch die Verankerungswirkung der angeschweißten Querstäbe kompensiert. Deshalb darf bei geschweißten Betonstahlmatten auch bei Doppelstäben der Einzelstabdurchmesser als Grenzdurchmesser nach Tabelle 14 angesetzt werden.

Aufgrund der Untersuchungen in [18.11-3] muß die Hautbewehrung nicht unbedingt aus geschweißten Betonstahlmatten bestehen, vielmehr kann auch ein Bewehrungsnetz aus gerippten Stabstählen (Stababstand in beiden Richtungen $\leq 10 \text{ cm}$) verwendet werden. Die Stabstähle sind ausreichend zu verankern, z. B. durch Verschweißen der äußersten Längsstäbe mit den Querstäben oder durch Verlängerung der Stäbe um die Verankerungslänge l_1 über den Bereich hinaus, in dem nach Bild 34 eine Hautbewehrung vorzusehen ist.

Die Verwendung einer Hautbewehrung aus Stabstählen ist besonders bei nicht vorwiegend ruhender Belastung vorteilhaft, weil dann die zulässige Schwingbreite für Stabstähle (zul $\Delta\sigma_s = 180 \text{ N/mm}^2$ bei einer Biege- oder Zugbewehrung aus geraden Stäben) angesetzt werden kann. Besteht demgegenüber die Hautbewehrung aus geschweißten Betonstahlmatten, darf die aus der nicht vorwiegend ruhenden Belastung hervorgerufene Schwingbreite der Stahlspannung den zulässigen Wert für geschweißte Betonstahlmatten (zul $\Delta\sigma_s = 80 \text{ N/mm}^2$) nicht überschreiten, weil sonst Ermüdungsbrüche der Betonstahlmatten zu erwarten sind, wodurch die Hautbewehrung ihre Wirksamkeit verliert und die Rißbreiten die zulässigen Werte übersteigen können [18.11-3].