

Konstruktion

Bewehren, d.h. Konstruieren ist mehr als das Einhalten von Detailregeln nach DIN-Normen in oft überzogener Regelungsdichte.

Dazu Leonhardt:

"Gutes Entwerfen und Konstruieren von Bauwerken ist eine Kunst, die ein vielseitiges Wissen um Baustoffe, Kraftverlauf, Bemessung, Ausführung und Verhalten, aber auch umfangreiche Beobachtung, Übung und natürliche Begabung voraussetzt. Der Ingenieur sollte dabei stets nicht nur eine gute Konstruktion, sondern auch eine schöne Form anstreben."

Grundsätzlich wird Bewehrung mit Beton zu folgendem Zweck kombiniert:

- **Aufnahme von Zugkräften, die der Beton allein nicht aufnehmen kann.**
- **Beschränkung der Rissbreiten im Beton (~0,1 mm bis ~0,3 mm)**
- **Erhöhung der Tragfähigkeit auf Druck z.B. bei Stützen.**

Logischerweise bräuchte man Bewehrung eigentlich nur in Richtung der Hauptzugspannungen einzulegen. Dies wäre aber sehr zeitaufwändig und damit sehr lohnintensiv bzw. teuer. Praktisch ist es also nicht durchführbar.

Deshalb wählt man fast immer ein orthogonales Bewehrungsnetz, was letztlich mehr Stahl kostet, aber viel einfacher herzustellen ist.

Flächentragwerke z.B. (Platten, Scheiben und Schalen) werden in der Regel mit einem orthogonalen Baustahlnetz aus vorgefertigten Betonstahlmatten bewehrt. Je mehr die Bewehrung von der Hauptspannungsrichtung abweicht, desto größer wird der Stahlverbrauch. Außerdem erhöht sich die Rissgefahr.

Um die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit zu gewährleisten ist auf eine ausreichende Betondeckung gemäß EC 2 zu achten.

Die hier vorgestellten Grundlagen für die Bewehrungskonstruktion sind als Einführung zu verstehen und, was die EC 2 Regeln angeht, nicht vollständig. Sonderkapitel wie z.B. Stabbündel sind nicht behandelt. Das bedeutet, dass jeder als Unterstützung und zur Vertiefung den EC 2 parallel lesen sollte.

1 Stababstände

Damit bei einem Stahlbetonbauteil die Verbindung zwischen Stahl und Beton gut funktioniert, müssen grundsätzlich die folgenden Punkte beachtet werden:

- Der Beton muss gut eingebracht werden können.
- Es muss eine gute Verdichtung möglich sein (Rüttelgassen!).
- Der Verbund zw. Stahl und Beton muss sichergestellt sein.

Eine wesentliche Voraussetzung hierfür wurde durch die Festlegung von Mindestabständen zwischen parallel laufenden Stäben geschaffen: Der Mindestabstand horizontal und vertikal muss den folgenden Bedingungen genügen:

$$\begin{aligned}
 a &\geq k_1 \cdot \max d_s & k_1 &= 1 \\
 a &\geq 20 \text{ mm} \\
 a &\geq d_g + k_2 \text{ mm} & k_2 &= 5, \text{ wenn der Größtkorndurchmesser } d_g > 16 \text{ mm ist.} \\
 & & k_2 &= 0, \text{ wenn der Größtkorndurchmesser } d_g \leq 16 \text{ mm ist.} \\
 & & \text{EC2: } &k_1 = 1 \quad k_2 = 5
 \end{aligned}$$

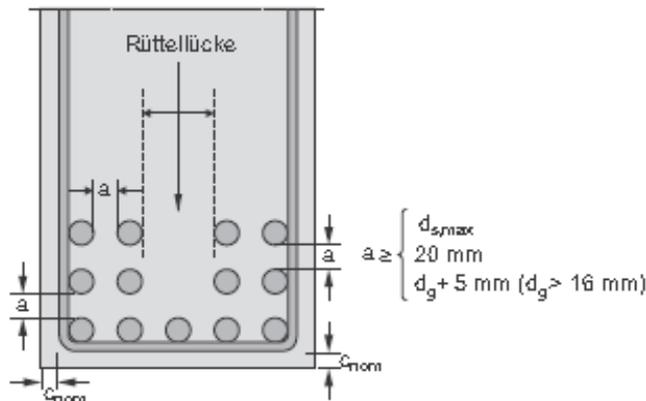
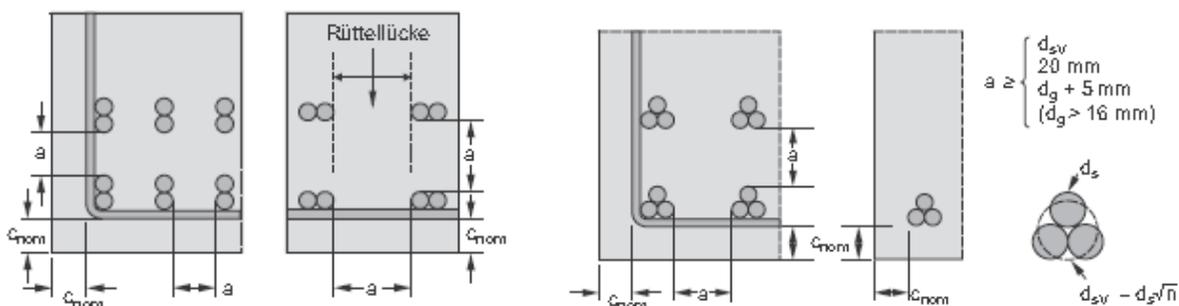


Bild: Beispiel für einen hoch bewehrten Querschnitt

Die gleichen Regeln gelten für Stabbündel, das sind 2 oder 3 zusammenliegende Einzelstäbe gleichen Durchmessers mit $d_s \leq 28 \text{ mm}$. Es muss dann mit einem Vergleichsdurchmesser d_{sV} gerechnet werden: $d_{sV} = d_s \cdot \sqrt{n}$



2 Biegen von Betonstabstahl

Die Konstruktion von Bauteilen erfordert häufig gebogene Bewehrungsstäbe. Um den Stahl und den Beton infolge zu geringer Krümmungen nicht zu schädigen, sind im EC 2 **Mindestbiegerollendurchmesser** festgelegt.

Das folgende Bild zeigt die entstehende Pressung im Beton infolge der Umlenkung der Stahlzugkraft F_s . Diese Pressung kann über das Gleichgewicht in vertikaler Richtung ermittelt werden.

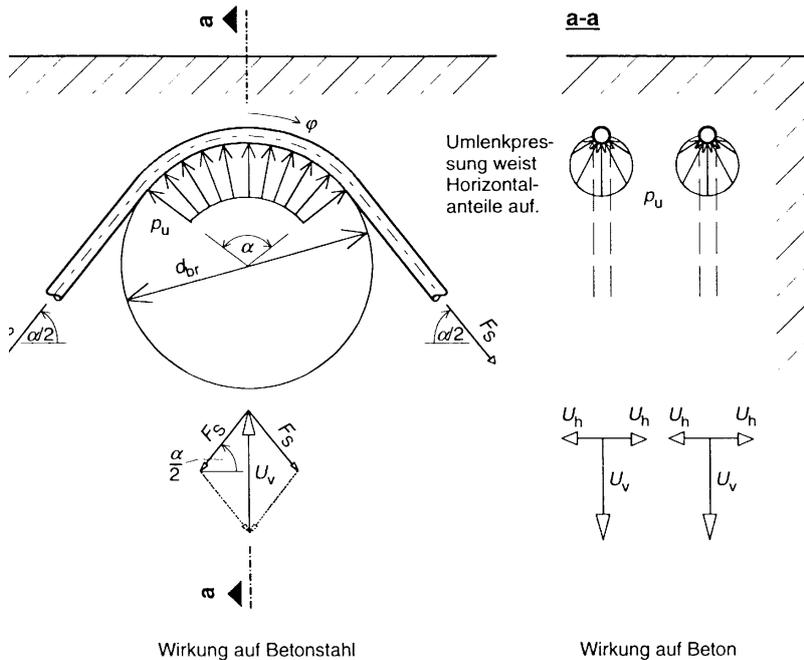


Bild: Kräfte infolge Umlenkung einer Stahlzugkraft

$$\sum V = 0: \quad -2 \cdot F_s \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + 2 \cdot \int_0^{\alpha/2} p_u \cdot d_s \cdot \frac{d_{br}}{2} \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi = 0$$

$$-2 \cdot \pi \cdot \frac{d_s^2}{4} \cdot f_{yk} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + f_{ck} \cdot d_s \cdot d_{br} \cdot \sin \varphi \Big|_0^{\alpha/2} = 0$$

damaus folgt:

$$d_{br} = \frac{\pi \cdot d_s \cdot f_{yk}}{2 \cdot f_{ck}}$$

Folgende Feststellungen können gemacht werden:

- Je größer der Stabdurchmesser, desto größer der Biegerollendurchmesser.
- Je kleiner der Biegerollendurchmesser, desto größer die Betonpressung.
- Umlenkung von Stabkräften erzeugt **Zug in Querrichtung** !

Durch die Begrenzung des Biegerollendurchmessers auf ein Minimum wird also sichergestellt, dass die Betondruckfestigkeit durch die Umlenkungsdruckverteilung nicht überschritten wird. Außerdem darf selbstverständlich der Stahl nicht zu sehr verformt werden.

Um den Zug in Querrichtung aufzunehmen, sollte so weit wie möglich immer ein Stab in der Ecke der Umlenkung senkrecht zum gebogenen Stab vorgesehen werden. In Ausnahmefällen ist der Beton allein in der Lage, den auftretenden Querzug aufzunehmen. Auf jeden Fall muss eine genügend große Betondeckung vorhanden sein, da sonst mit Abplatzungen zu rechnen ist.

Die Mindestbiegerollendurchmesser sind im EC 2 vereinfacht in Abhängigkeit der Biegeform festgelegt:

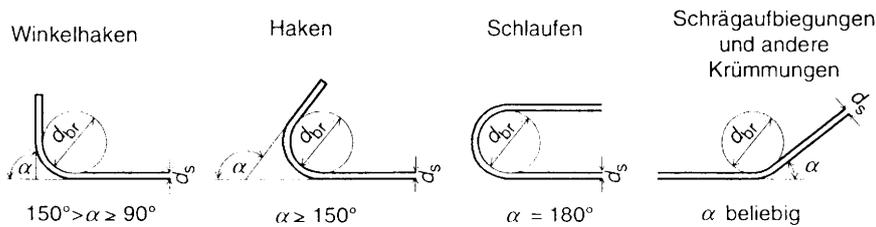


Bild: Biegeformen

Mindestwerte der Biegerollendurchmesser für Haken, Winkelhaken, Schlaufen, Bügel		Mindestwerte der Biegerollendurchmesser für Schrägstäbe oder andere gebogene Stäbe		
Stabdurchmesser mm		Mindestwerte der Betondeckung rechtwinklig zur Biegeebene		
$\phi < 20$	$\phi \geq 20$	> 100 mm und $> 7\phi$	> 50 mm und $> 3\phi$	≤ 50 mm oder $\leq 3\phi$
4ϕ	7ϕ	10ϕ	15ϕ	20ϕ

Tabelle 8.1DEa EC 2: Mindestwerte der Biegerollendurchmesser D_{min} für Stäbe

für	vorwiegend ruhende Einwirkungen		nicht vorwiegend ruhende Einwirkungen	
	Schweißung außerhalb des Biegebereiches	Schweißung innerhalb des Biegebereiches	Schweißung auf der Außenseite der Biegung	Schweißung auf der Innenseite der Biegung
$\alpha < 4\phi$	20ϕ	20ϕ	100ϕ	500ϕ
$\alpha \geq 4\phi$	Werte nach Tabelle NA.8.1a)			
Dabei ist α der Abstand zwischen Biegeanfang und Schweißstelle.				

Tabelle 8.1DEb EC 2: Mindestwerte der Biegerollendurchmesser D_{min} für nach dem Schweißen gebogene Bewehrung (Matten und Stäbe)

Für **Hin- und Zurückbiegen von Betonstäben** gelten gesonderte Bedingungen, die dem EC 2 und dem DBV-Merkblatt „Rückbiegen von Betonstahl und Anforderungen an Verwahrkästen“ entnommen werden können.

3 Verankerung von Betonstahl

Wenn ein Bewehrungsstab eine bestimmte Kraft in den Beton einleiten muss, weil der Stab enden soll, dann ist hierfür eine bestimmte Strecke erforderlich, die sog. **Verankerungslänge des Stabes**. In Ausnahmefällen kann man die Verankerungslänge durch eine Ankerplatte ersetzen, was aber dann separat nachgewiesen werden muss.

3.1 Verbundspannung und Grundwert der Verankerungslänge

Um eine rechnerische Grundlage zu haben, wird durch einen Ausziehversuch die über die Rippen des Stabes übertragbare Verbundspannung ermittelt.

Das folgende Bild zeigt die Verhältnisse bei einem Ausziehversuch eines Stabes: Die Einleitung der Stabkraft in den Beton (und damit die Verbundspannung) ist nicht gleichmäßig über die Verankerungslänge verteilt. Für die Rechnung ist das unerheblich, wenn man mit einer mittleren Verbundspannung rechnet, deren Integral über die zylinderförmige Verankerungsfläche (= Verankerungslänge x Umfang des Stabes) die gleiche Kraft ergibt.

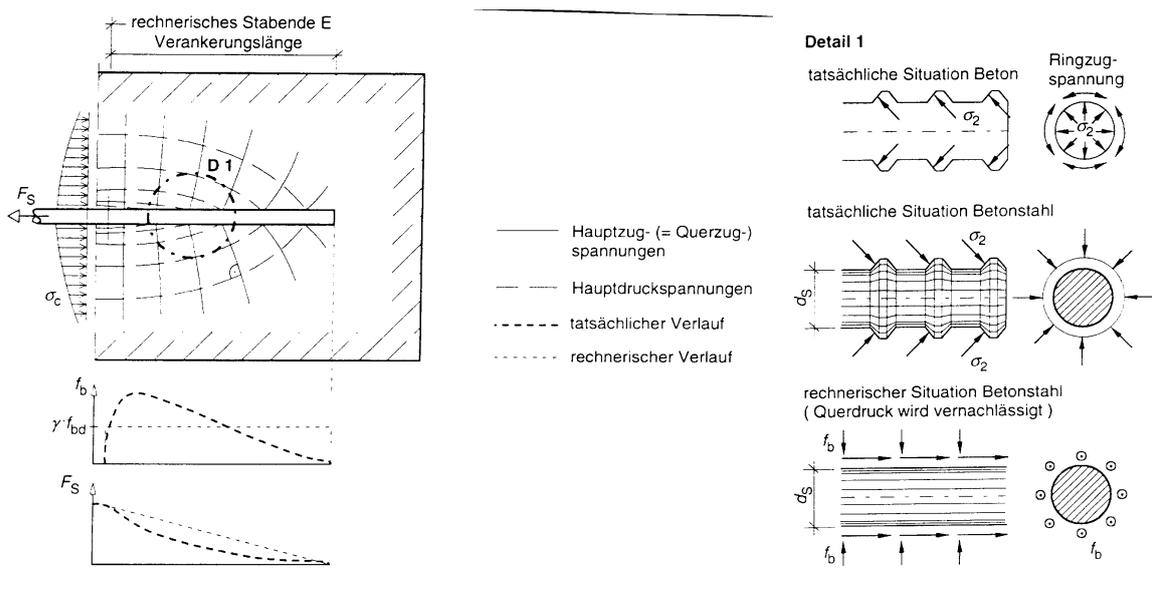


Bild: Ausziehversuch zur Bestimmung der rechnerischen Verbundspannung

Es muss noch darauf hingewiesen werden, dass die Betondeckung eine entscheidende Rolle spielt: Bei nicht ausreichender Betondeckung versagt die Verankerung durch Längsrisssbildung entlang des Stabes frühzeitig, ansonsten tritt Versagen durch Bruch der „Betonkonsolen“ zwischen den Stahlrippen auf.

In bestimmten Fällen, in denen die Verbundspannung maßgeblich beeinflusst wird, muss oder darf eine Korrektur des Bemessungswertes erfolgen (vgl. EC 2):

Die Berechnung des Bemessungswertes der Verbundspannung f_{bd} für Betonstahl ist im EC 2 wie folgt festgelegt:

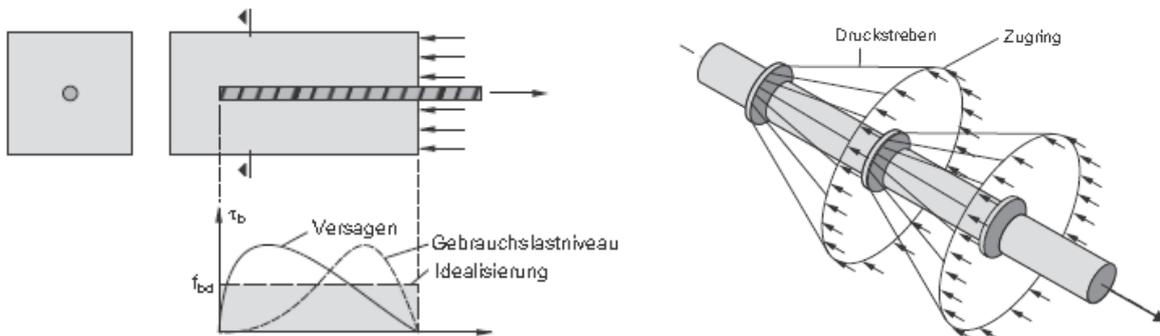
$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad \text{mit} \quad f_{ctd} = f_{ctk;0,05} / \gamma_c$$

f_{ctd} der Bemessungswert der Betonzugfestigkeit. Aufgrund der zunehmenden Sprödigkeit von höherfestem Beton ist in der Regel $f_{ctk;0,05}$ auf den Wert für C60/75 zu begrenzen, außer es können höhere Werte der mittleren Verbundfestigkeit nachgewiesen werden.

η_1 ein Beiwert, der die Qualität der Verbundbedingungen und die Lage der Stäbe während des Betonierens berücksichtigt (siehe folgendes Kapitel):
= 1,0 bei "guten" Verbundbedingungen.
= 0,7 für alle anderen Fälle sowie für Stäbe in Bauteilen, die im Gleitbauverfahren hergestellt wurden, außer es können "gute" Verbundbedingungen nachgewiesen werden.

η_2 ein Beiwert zur Berücksichtigung des Stabdurchmessers:
= 1,0 für $\varnothing \leq 32$ mm
= $(132 - \varnothing)/100$ für $\varnothing > 32$ mm

Der **Grundwert der Verankerungslänge** $l_{b,rqd}$ ergibt sich somit durch Bildung von Gleichgewicht in horizontaler Richtung: Das Integral der Verbundspannungen muss der Kraft im Stahl das Gleichgewicht halten:



Gleichgewicht in horizontaler Richtung:

$$\sum H = 0: \quad F_s = f_{bd} \cdot u_s \cdot l_{b,rqd}$$

Einsetzen folgender Werte ergibt $l_{b,rqd}$:

$$u_s = \pi \cdot d_s \quad F_s = \sigma_{sd} \cdot A_s \quad A_s = \pi \cdot \frac{d_s^2}{4}$$

Grundwert der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$:

$$l_{b,rqd} = \frac{\sigma_{sd} \cdot d_s}{f_{bd} \cdot 4}$$

Dabei ist σ_{sd} die vorhandene Stahlspannung im GZT des Stabes am Beginn der Verankerungslänge.

Der Grundwert der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$ sollte grundsätzlich mit $\sigma_{sd} = f_{yd}$ ermittelt werden.

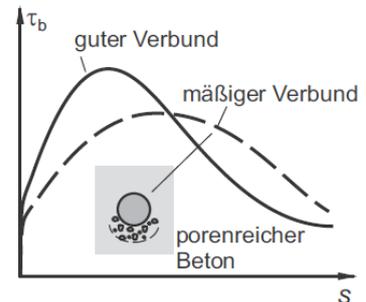
Die tatsächlich vorhandene Stahlspannung σ_{sd} sollte erst bei der Ermittlung der Bemessungswerte der Verankerungslänge l_{bd} bzw. der Übergreifungslänge l_0 durch

Multiplikation mit dem Ausnutzungsgrad berücksichtigt werden:
$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot \frac{A_{s,erf}}{A_{s,vorh}}$$

3.2 Verbundbedingungen

Die Größe der aufnehmbaren Verbundspannung hängt maßgeblich von der Lage des Stabes beim Betonieren ab. Da sich der Beton beim Verdichten setzt, kann es bei weiter oben oder schräg liegenden Stäben zu Fehlstellen im Verbund kommen, sodass sich nicht mehr die volle Verbundspannung aufbauen kann. Deshalb unterscheidet man grundsätzlich 2 Verbundbedingungen:

- **gute Verbundbedingungen**
- **mäßige Verbundbedingungen**



Die Festlegung der Verbundbedingungen im Bauteil wird gemäß dem folgenden Bild vorgenommen:

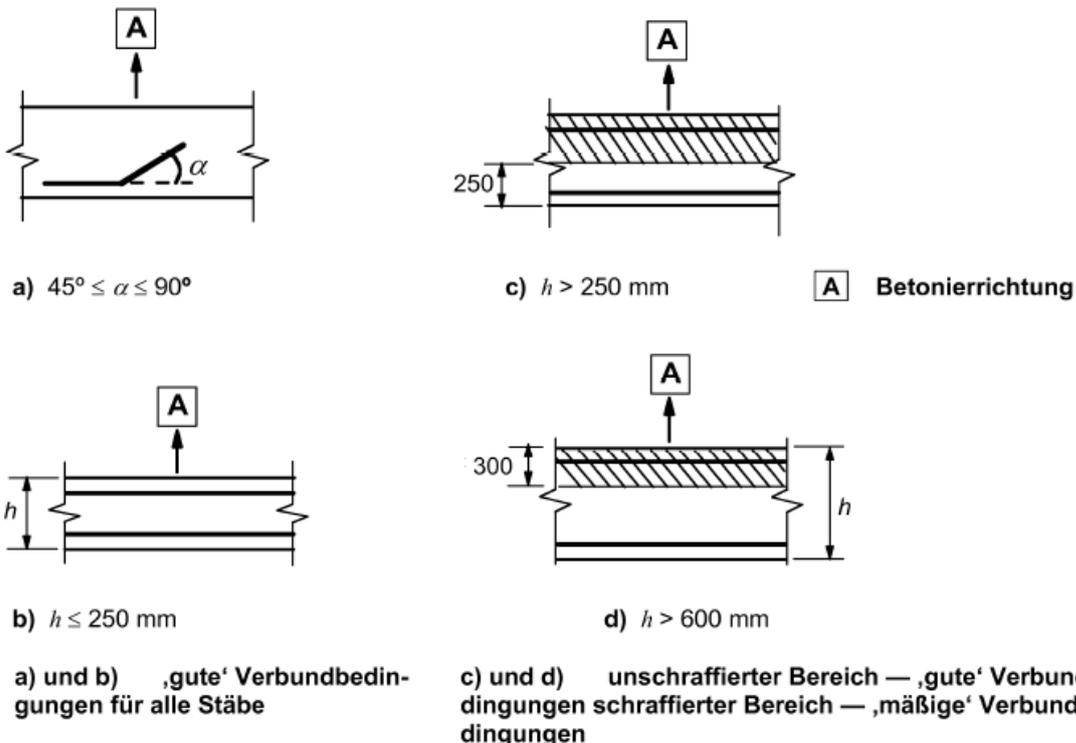


Bild: Verbundbedingungen für Stäbe (Bild 8.2 EC 2)

Guter Verbund:

- Alle Stäbe mit einer Neigung $> 45^\circ$ zur Waagrechten während des Betonierens.
- Alle Stäbe mit einer Neigung bis 45° zur Waagrechten während des Betonierens, wenn die Stäbe **max. 30 cm über der Unterkante** (abweichend zum EC 2 gemäß NA in Bildern b und c) oder mind. 30 cm unter der Oberkante des Frischbetons liegen.
- Liegend gefertigte stabförmige Bauteile (meist Stützen), die mit einem Außenrüttler verdichtet werden und deren äußere Querschnittsabmessungen 50 cm nicht überschreiten.

Mäßiger Verbund:

- Alle oben nicht genannten Fälle
- Alle Stäbe in Bauteilen, die im Gleitbauverfahren hergestellt werden.

3.3 Verankerungsarten

Bewehrungsstäbe, Drähte oder geschweißte Betonstahlmatten müssen so verankert sein, dass ihre Verbundkräfte sicher ohne Längsrisssbildung und Abplatzungen in den Beton eingeleitet werden. Falls erforderlich, muss eine Querbewehrung vorgesehen werden.

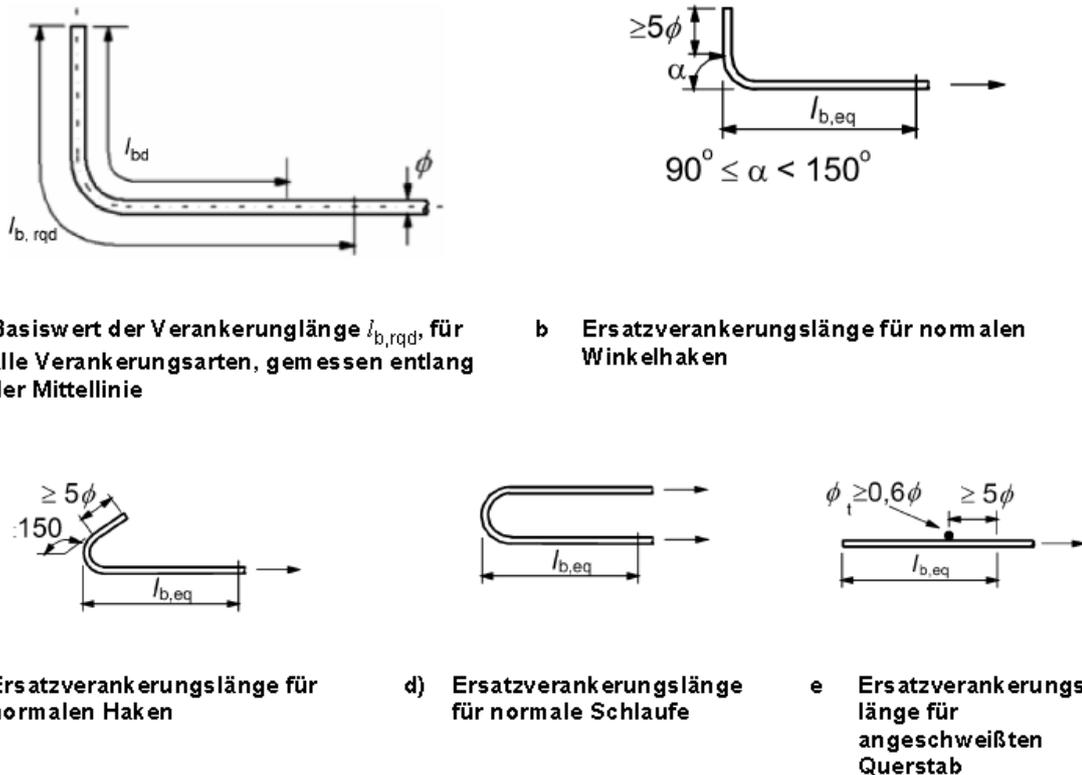


Bild 8.1 EC 2: Zusätzlich zu geraden Stäben mögliche Verankerungsarten von Betonstahl

Der Grundwert der Verankerungslänge darf bei gebogenen Bewehrungsstäben nur dann über die Krümmung nach Bild 8.1a) gemessen werden, wenn der größere Biegerollendurchmesser nach Tabelle 8.1DE für Schrägstäbe und gebogene Stäbe eingehalten ist. Für gebogene Stäbe mit einem kleineren Biegerollendurchmesser (Haken, Winkelhaken, Schlaufen) ist die Ersatzverankerungslänge $l_{b,eq}$ nach Bild 8.1b) bis 8.1d) zu verwenden.

Winkelhaken, Haken und Schlaufen dürfen nicht zur Verankerung von Druckbewehrung verwendet werden.

Bei gebogenen Stäben sind in der Regel der Grundwert der erforderlichen Verankerungslänge $l_{b,rqd}$ und der Bemessungswert der Verankerungslänge l_{bd} entlang der Mittellinie des Stabes zu messen (siehe Bild 8.1a)).

Die gerade Vorlänge (Abstand zwischen Beginn der Verankerungslänge und Beginn der Krümmung) sollte z. B. in Rahmenecken ausreichend lang sein (z. B. $0,5l_{bd}$, mit $\alpha_1 = 1,0$).

Bei Doppelstäben in geschweißten Betonstahlmatten ist in der Regel der Durchmesser durch den Vergleichsdurchmesser zu ersetzen.

3.4 Bemessungswert der Verankerungslänge

Grundsätzlich sind Bewehrungsstäbe oder geschweißte Betonstahlmatten so zu verankern, dass ihre Kräfte in den Beton eingeleitet werden und eine Längsrisssbildung und ein Abplatzen des Betons im Verankerungsbereich ausgeschlossen sind.

Der **Bemessungswert der Verankerungslänge** l_{bd} eines Stabes ergibt sich in Abhängigkeit seiner Verankerungsart und seiner Ausnutzung aus dem Grundwert der Verankerungslänge wie folgt:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min} \quad (3.4.1)$$

Dabei berücksichtigen die in Tabelle 8.2 EC2 angegebenen Beiwerte α_i

- α_1 die Verankerungsart der Stäbe unter Annahme ausreichender Betondeckung (siehe Bild 8.1 EC2).
- α_2 die Mindestbetondeckung (siehe Bild 8.3 EC2); nach EC2 deutsch = 1,0.
- α_3 eine Querbewehrung.
- α_4 einen oder mehrere angeschweißte Querstäbe ($\phi_t > 0,6\phi$) innerhalb der erforderlichen Verankerungslänge l_{bd} (siehe auch Kapitel 8.6 EC2).
- α_5 einen Druck quer zur Spaltzug-Riss-Ebene innerhalb der erforderlichen Verankerungslänge. Bei direkter Lagerung gilt: $\alpha_5 = 2/3$

Im Allgemeinen ist $\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \geq 0,7$.

$$l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot l_{b,rqd} \geq 10\phi \quad \text{Mindestverankerungslänge für **Zug allgemein**}$$

$$l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot l_{b,rqd} \cdot \frac{2}{3} \geq 10\phi \cdot \frac{2}{3} \quad \text{Mindestverankerungslänge für **Zug direkte Lagerung**}$$

$$l_{b,min} = 0,6 \cdot l_{b,rqd} \geq 10\phi \quad \text{Mindestverankerungslänge für **Druck**}$$

Für $l_{b,min}$ muss $l_{b,rqd}$ mit f_{yd} ermittelt werden.

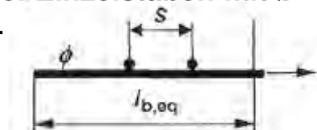
Als vereinfachte Alternative zu 3.4.1 darf die **Verankerung unter Zug** bei bestimmten, in Bild 8.1 gezeigten Verankerungsarten als **Ersatzverankerungslänge** $l_{b,eq}$ angegeben werden. Die Verankerungslänge $l_{b,eq}$ wird in diesem Bild definiert und darf folgendermaßen berechnet werden:

$$l_{b,eq} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \quad \text{für die Verankerungsarten **Haken, Winkelhaken, Schlaufen** gemäß den Bildern 8.1 b) bis 8.1 d) (siehe Tabelle 8.2 mit Werten für α_1);}$$

$$l_{b,eq} = \alpha_4 \cdot l_{b,rqd} \quad \text{für die Verankerungsarten mit **angeschweißtem Querstab** gemäß Bild 8.1e) (siehe Tabelle 8.2DE mit Werten für α_4);}$$

$$l_{b,eq} = \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot l_{b,rqd} \quad \text{für **Haken, Winkelhaken und Schlaufen mit mindestens einem angeschweißten Querstab** innerhalb von $l_{b,rqd}$ vor Krümmungsbeginn;}$$

$$l_{b,eq} = 0,5 \cdot l_{b,rqd} \quad \text{für **gerade Stabenden mit mindestens zwei angeschweißten Querstäben** innerhalb $l_{b,rqd}$ (Stababstand dieser Querstäbe: $s < 10$ cm und $\geq 5\phi$ und ≥ 5 cm), **jedoch nur zulässig bei Einzelstäben mit $\phi < 16$ mm und bei Doppelstäben mit $\phi < 12$ mm.}**$$



Grundsätzlich gilt $l_{b,eq} \geq l_{b,min}$.

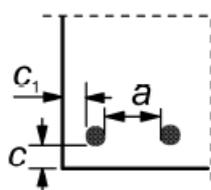
Wenn wegen Querspannungen der Beiwert $\alpha_5 > 1,0$ anzusetzen ist, muss dieser bei der Ermittlung der Ersatzverankerungslänge zusätzlich berücksichtigt werden.

Einflussfaktor	Verankerungsart	Bewehrungsstab	
		unter Zug	unter Druck
Form der Stäbe	gerade	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	gebogen (siehe Bild 8.1 (b), (c) und (d))	$\alpha_1 = 0,7$ für $c_d > 3\phi$ andernfalls $\alpha_1 = 1,0$ (siehe Bild 8.3 für c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Betondeckung	gerade	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	gebogen (siehe Bild 8.1 (b), (c) und (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - 3\phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (siehe Bild 8.3 für c_d)	$\alpha_2 = 1,0$
nicht an die Hauptbewehrung angeschweißte Querbewehrung	alle Arten	$\alpha_3 = 1 - K \cdot \lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
angeschweißte Querbewehrung ¹⁾	alle Arten, Positionen und Größen sind in Bild 8.1 (e) angegeben	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Querdruck	alle Arten	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	—

Dabei ist

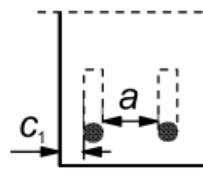
$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$;
 ΣA_{st} die Querschnittsfläche der Querbewehrung innerhalb der Verankerungslänge l_{bd} ;
 $\Sigma A_{st,min}$ die Querschnittsfläche der Mindestquerbewehrung:
 $\Sigma A_{st,min} = 0,25A_s$ für Balken und $\Sigma A_{st,min} = 0$ für Platten;
 A_s die Querschnittsfläche des größten einzelnen verankerten Stabs;
 K der Wert nach Bild 8.4;
 p der Querdruck [N/mm²] im Grenzzustand der Tragfähigkeit innerhalb l_{bd} .

Tabelle 8.2 EC2



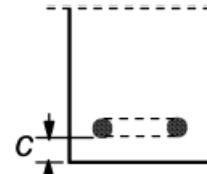
a) Gerade Stäbe

$$c_d = \min(a/2, c_1, c)$$



b) (Winkel) Haken

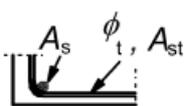
$$c_d = \min(a/2, c_1)$$



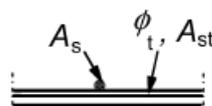
c) Schlaufen

$$c_d = c$$

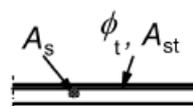
Bild 8.3 EC2:



$$K = 0,1$$



$$K = 0,05$$



$$K = 0$$

Bild 8.4 EC2: K-Werte für Balken und Platten

Hinweise zu Tabelle 8.2 EC 2:

Bei Schlaufenverankerungen mit $c_d > 3\phi$ mit Biegerollendurchmessern $D \geq 15\phi$ darf $\alpha_1 = 0,5$ angesetzt werden.

$\alpha_1 = 0,7$ für $c_d < 3\phi$ darf angesetzt werden, wenn Querdruck oder eine enge Verbügelung vorhanden ist.

Bei direkter Lagerung darf $\alpha_5 = 2/3$ gesetzt werden.

Falls eine allseitige, durch Bewehrung gesicherte Betondeckung von mindestens 10ϕ vorhanden ist, darf $\alpha_5 = 2/3$ angenommen werden. Dies gilt nicht für Übergreifungsstöße mit einem Achsabstand der Stöße von $s \leq 10\phi$.

Der Beiwert α_5 ist auf 1,5 zu erhöhen, wenn rechtwinklig zur Bewehrungsebene ein Querzug vorhanden ist, der eine Rissbildung parallel zur Bewehrungsstabachse im Verankerungsbereich erwarten lässt. Wird bei vorwiegend ruhenden Einwirkungen die Breite der Risse parallel zu den Stäben auf $w_k \leq 0,2$ mm im GZG begrenzt, darf auf diese Erhöhung verzichtet werden.

Die Verankerung abgebogener Druckstäbe ist unzulässig.

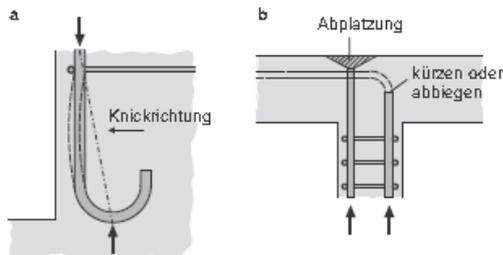


Bild: Verankerung von Druckstäben

Der Beiwert α_2 für die Mindestbetondeckung ist i. d. R. mit $\alpha_2 = 1,0$ anzusetzen, daher darf hier die entsprechende Zeile aus Tabelle 8.2 ignoriert werden.

Zeile für Querdruck: Für Druckstäbe darf die günstige Wirkung eines Querdrucks nicht berücksichtigt werden, d.h. $\alpha_5 = 1,0$.

3.5 Querbewehrung

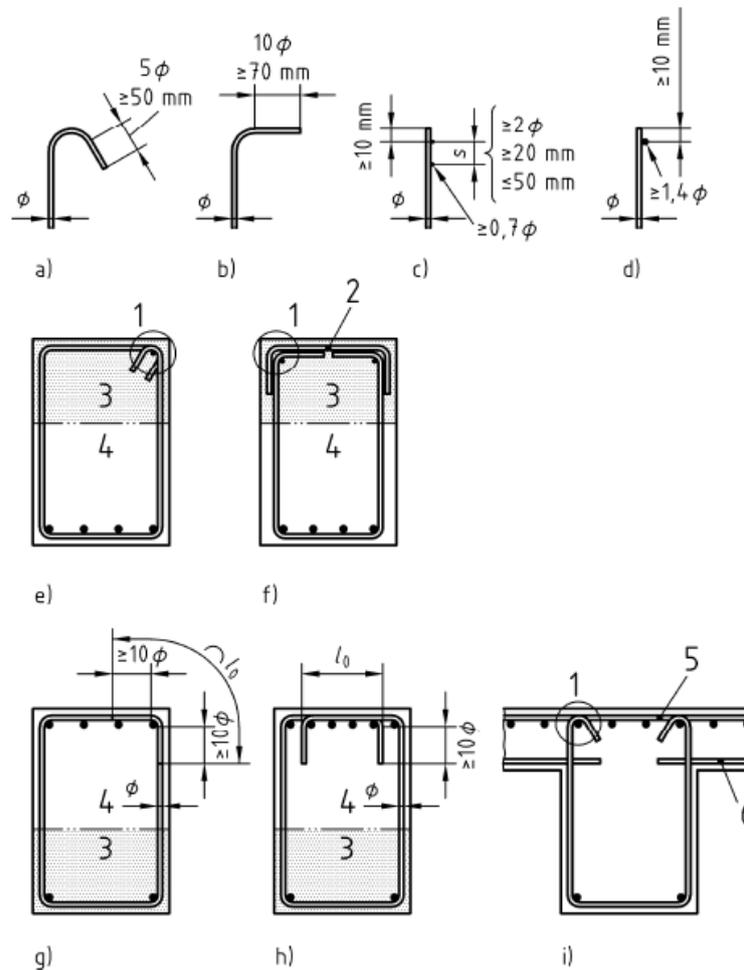
Die im Verankerungsbereich infolge einer Sprengwirkung auftretenden Querkzugspannungen im Beton müssen durch Querbewehrung aufgenommen werden. Dies gilt als erfüllt, wenn:

- konstruktive Maßnahmen oder andere günstige Einflüsse (z.B. Querdruck) ein Spalten des Betons verhindern.
- die nach EC 2 mindestens erforderlichen Bügel (Balken, Stützen) oder Querbewehrungen (Platten, Wände) angeordnet werden.

Für Stabdurchmesser mit $d_s > 32$ mm und für Stabbündel im Verankerungsbereich gibt es viele weitere Regelungen (siehe EC 2, 8.8 und 8.9), auf die hier nicht eingegangen wird.

3.6 Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung

Bügel und Querkraftbewehrungen müssen mit Hilfe von Haken oder Winkelhaken oder durch angeschweißte Querbewehrung verankert werden (siehe Bild). Innerhalb eines Hakens oder Winkelhakens ist in der Regel ein Querstab einzulegen.



Legende

- | | | | |
|---|--|-----------|---|
| 1 | Verankerungselemente nach a) bzw. b) | a) | Haken |
| 2 | Kappenbügel | b) | Winkelhaken |
| 3 | Betondruckzone | c) | gerade Stabenden mit zwei angeschweißten Querstäben |
| 4 | Betonzugzone | d) | gerade Stabenden mit einem angeschweißten Querstab |
| 5 | obere Querbewehrung | e) und f) | Schließen in der Druckzone |
| 6 | untere Bewehrung der anschließenden Platte | g) und h) | Schließen in der Zugzone (l_0 mit $\alpha_1 = 0,7$ nach Tabelle 8.2 mit Haken oder Winkelhaken am Bügelende) |
| | | i) | Schließen bei Plattenbalken im Bereich der Platte |

ANMERKUNG Für c) und d) darf in der Regel die Betondeckung nicht weniger als 3ϕ oder 50 mm betragen.

Bild 8.5NA EC 2: Verankerung und Schließen von Bügeln

Die Verankerung muss in der Druckzone zwischen dem Schwerpunkt der Druckzonenfläche und dem Druckrand erfolgen; dies gilt im Allgemeinen als erfüllt, wenn die Querkraftbewehrung über die ganze Querschnittshöhe reicht. In der Zugzone müssen die Verankerungselemente möglichst nahe am Zugrand angeordnet werden. Bügel müssen die Zugbewehrung umfassen.

Eine Verankerung in der Druck- oder Zugzone mit angeschweißten Querstäben ist nur zulässig, wenn durch eine ausreichende Betondeckung die Sicherheit gegenüber Abplatzen sichergestellt ist. Dies gilt als erfüllt, wenn die seitliche Betondeckung c_{\min} der Bügel im Verankerungsbereich mindestens $3d_s$ (d_s = Stabdurchmesser der Bügelbewehrung) und mindestens 50 mm beträgt, bei geringeren Betondeckungen ist die ausreichende Sicherheit durch Versuche nachzuweisen.

Bei Balken sind die Bügel in der Druck/Zugzone gemäß Bild zu schließen.

Bei Plattenbalken dürfen die für die Querkrafttragfähigkeit erforderlichen Bügel im Bereich der Platte mittels durchgehender Querstäbe gemäß Bild geschlossen werden, wenn der Bemessungswert der Querkraft V_{Ed} höchstens $2/3$ der maximalen Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,max}$ beträgt.

3.7 Verankerung mit angeschweißten Querstäben

Kapitel 8.6 des EC 2 beschäftigt sich nur mit dem Nachweis der angeschweißten Querstäbe und wird hier nicht behandelt. Die Verankerung mit angeschweißten Querstäben wird wie oben gezeigt über Beiwerte berücksichtigt.

3.8 Verankerung von Schrägaufbiegungen

Schrägaufbiegungen werden meist zur Aufnahme von Schubkräften bei Balken oder Fundamenten ausgebildet. Die Verankerung ist wie folgt zu berechnen:

Verankerung in der Zugzone: $l_{bd} = 1,3 \cdot l_{b,rqd}$

Verankerung in der Druckzone: $l_{bd} = 0,7 \cdot l_{b,rqd}$

3.9 Verankerung am Auflager

Bei Balken muss mindestens 25 % der größten Feldbewehrung bis zum Auflager durchgeführt und dort verankert werden, bei Platten sogar 50 %.

3.9.1 Endauflager

Da am Endauflager die letzte und somit größte Druckstrebenkraft des Fachwerkmodells eingeleitet wird, muss die am letzten Fachwerkknoten angreifende Zugkraft sorgfältig verankert werden. Die auszubildende Verankerung am Endauflager muss die folgende

Zugkraft aufnehmen können:
$$F_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{a_l}{z} + N_{Ed} \geq \frac{V_{Ed}}{2} \quad \text{mit } z \approx 0,9 \cdot d$$

Versatzmaß:
$$a_l = \frac{z}{2} \cdot (\cot \Theta - \cot \alpha) \geq 0 \quad \text{mit Querkraftbewehrung}$$

$$a_l = 1,0 \cdot d \geq 0 \quad \text{ohne Querkraftbewehrung}$$

Die **Verankerungslänge beginnt an der Auflagervorderkante**, sie muss jedoch **immer über die rechnerische Auflagerlinie** reichen!

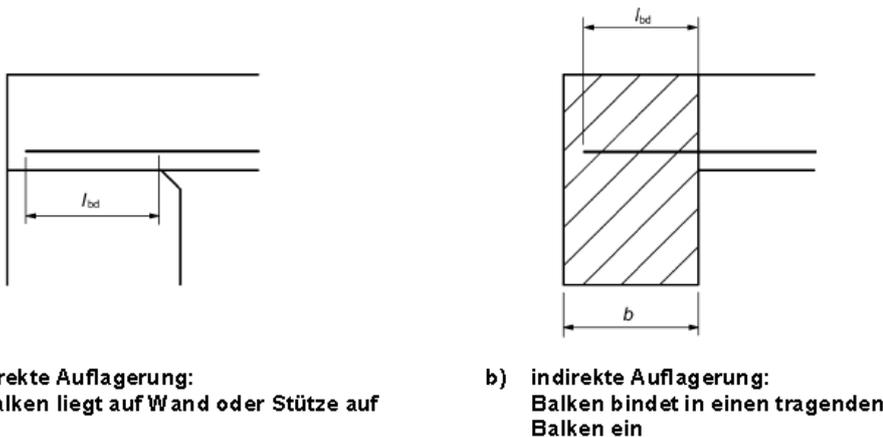


Bild 9.3 EC 2: Verankerung am Endauflager

3.9.2 Zwischenaufleger

Bei durchlaufenden Bauteilen ist die erforderliche Bewehrung mindestens um das Maß 6ϕ hinter den Auflagerrand zu führen (10ϕ nach EC2, vgl. Bild unten).

Zusätzlich kann die unten liegende Bewehrung so ausgeführt werden, dass sie positive Momente infolge außergewöhnlicher Beanspruchungen aufnehmen kann (Auflagersetzungen, Explosion, usw.). Dies kann vertraglich festgelegt werden.

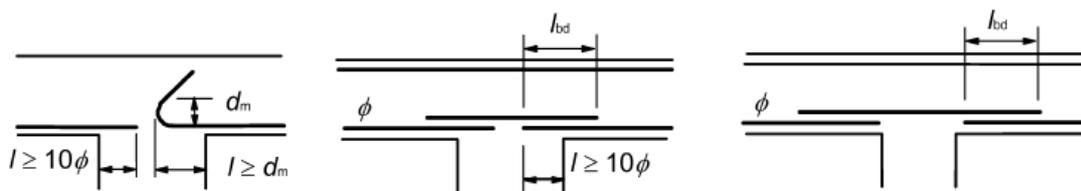
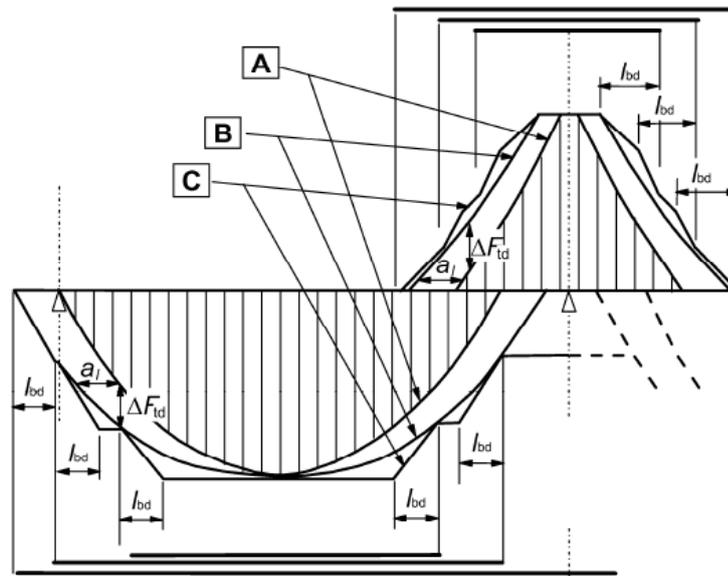


Bild 9.4 EC 2: Verankerung am Zwischenaufleger (nach NA 6\phi)

3.10 Zugkraftdeckung

Die Zugkraftdeckung ist immer für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nachzuweisen. Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist nur nachzuweisen, wenn die Schnittgrößen nicht linear elastisch (evtl. mit Umlagerung) ermittelt wurden.

Die durch Bewehrung abzudeckende Zugkraftlinie ergibt sich, indem die durch die Biegebemessung ermittelte Stahlzugkraft um das Versatzmaß a_l nach außen verschoben wird (siehe Bild).



A — Umhüllende für $M_{Ed}/z + N_{Ed}$ **B** — Einwirkende Zugkraft F_s **C** — Aufnehmbare Zugkraft F_{Rs}

Bild 9.2 EC2: Darstellung der Staffelung der Längsbewehrung unter Berücksichtigung geneigter Risse und der Tragfähigkeit der Bewehrung innerhalb der Verankerungslängen

Bewehrungsstäbe müssen ab der Stelle, ab der sie nicht mehr gebraucht werden, mit dem Bemessungswert der Verankerungslänge l_{bd} verankert werden.

Bei einer **Auslagerung von Zugbewehrung in eine Gurtplatte** ist das Versatzmaß um den Abstand der Stäbe vom Steganschnitt zu erhöhen.

Die vorhandene **Zugkraft an einer beliebigen Stelle im Bauteil** kann näherungsweise wie folgt berechnet werden:

$$\text{Stahlzugkraft: } F_{Ed} = \frac{M_{Eds}}{z} + N_{Ed} \quad \text{mit} \quad M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_s \quad z = 0,9 \cdot d$$

$$\text{Versatzmaß: } a_l = \frac{z}{2} \cdot (\cot \Theta - \cot \alpha) \geq 0 \quad \text{mit Querkraftbewehrung}$$

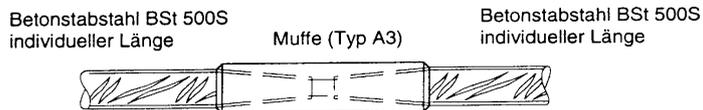
$$a_l = 1,0 \cdot d \geq 0 \quad \text{ohne Querkraftbewehrung}$$

Nach EC2 darf alternativ die aus der Querkraft resultierende Zugkraft ΔF_{td} auf die Stahlzugkraft aus der Biegebemessung aufaddiert werden: $\Delta F_{td} = \frac{V_{Ed}}{2} \cdot (\cot \Theta - \cot \alpha)$

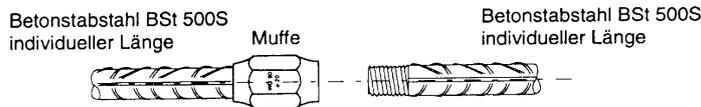
Direkte Stöße können durch Stumpfstoß der Stäbe mit anschließendem **Verschweißen** oder durch **Verschrauben** der Stabenden mit Muffen ausgeführt werden (bauaufsichtliche Zulassung erf.). Schweißverbindungen sind eher selten, da diese nur durch Schweißfachleute ausgeführt werden dürfen, was meist sehr teuer ist. Mechanische Verbindungen werden von verschiedenen Firmen industriell gefertigt.

Objektgefertigte Systeme

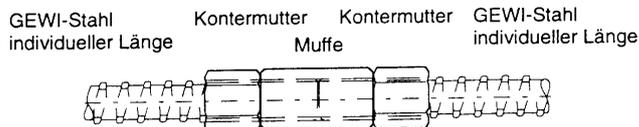
LENTON-Schraubanschluss



WD-Schraubanschluss

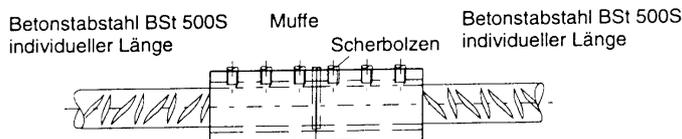


GEWI-Stoß



Objektunabhängige Systeme

MBT Bewehrungsanschluss



PFEIFER-Bewehrungsanschluss

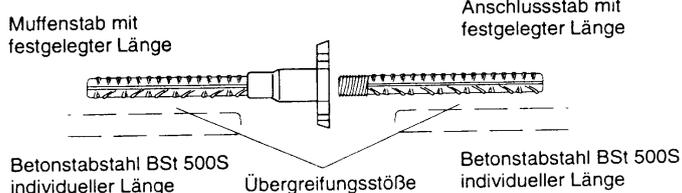


Bild: Beispiele für direkte Schraubstöße

Direkte Stöße werden meist nur dann ausgeführt, wenn besondere Situationen vorliegen, da Übergreifungsstöße billiger sind. Ein häufig vorkommendes Beispiel ist eine hoch belastete Stütze, die mit einem Übergreifungsstoß nicht mehr ausgeführt werden kann, weil der zulässige Bewehrungsgehalt (Verdoppelung im Stoßbereich) überschritten ist.

4.1 Indirekter Stoß (Übergreifungsstoß) von Einzelstäben

4.1.1 Allgemeine Betrachtungen

Als mechanisches Modell für die Erklärung der Tragwirkung bei einem Übergreifungsstoß bietet sich ein Fachwerkmodell an. Versuche haben gezeigt, dass die Druckstrebenneigung in etwa 40° beträgt, d.h. die Gesamtkraft in Querrichtung beträgt $\Delta F_t = F_s / \tan 40^\circ = 1,19 \cdot F_s$. Selbst bei mehreren nebeneinander liegenden Stößen bleibt ΔF_t gleich, da sich die Kräfte in Querrichtung zwischen den Stößen aufheben.

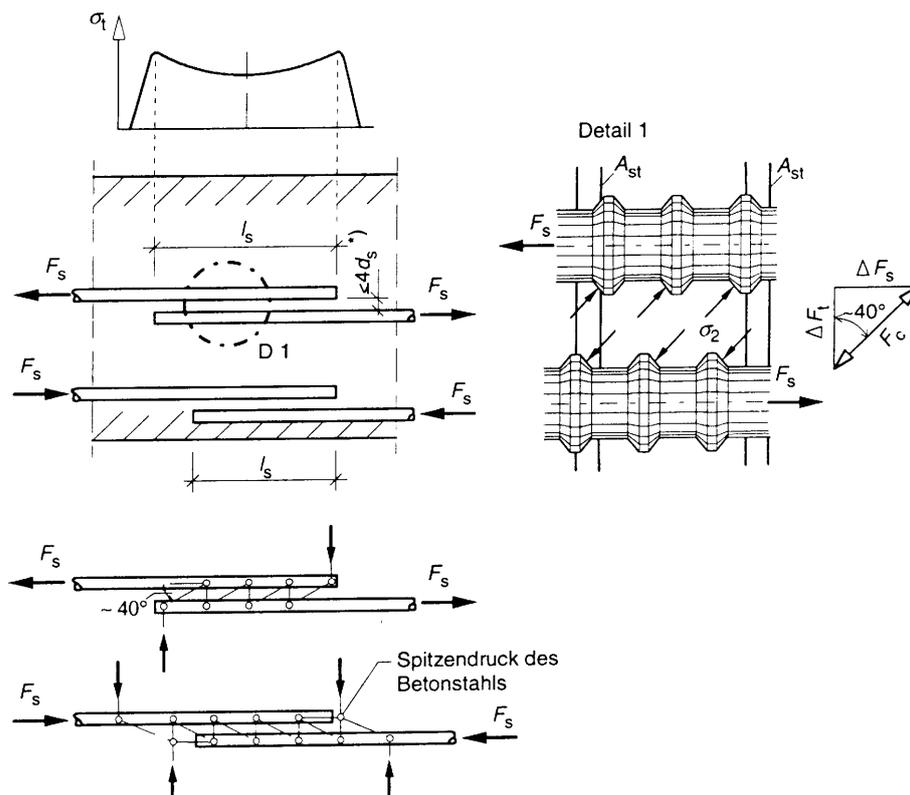


Bild: Fachwerkmodell für Zug- und Druckstoß, $l_s = l_0$

Wie das Fachwerkmodell sehr schön zeigt, muss man unterscheiden zwischen einem **Zug-** und einem **Druckstoß**. Beim **Druckstoß** verlängert sich das Fachwerkmodell durch den **Spitzendruck** hinter dem Stabende, d.h. hier muss sogar **außerhalb des Stoßbereiches Querbewehrung** angeordnet werden.

Weiterhin ist zu erkennen, dass die Querkzugspannungen an den Stabenden größer sind als im Mittelbereich. Deshalb ist die Querbewehrung an den Stabenden zu konzentrieren.

Außerdem ist es sinnvoll, nebeneinander liegende Stöße längs zu versetzen, damit sich die Größtwerte der Querkzugspannungen nicht aufaddieren (siehe folgendes Bild). Aus diesem Grund wurde im EC 2 ein Längsversatz von $1,3l_0$ aufgenommen. Erst ab dieser Größe gilt der Stoß als längs versetzt.

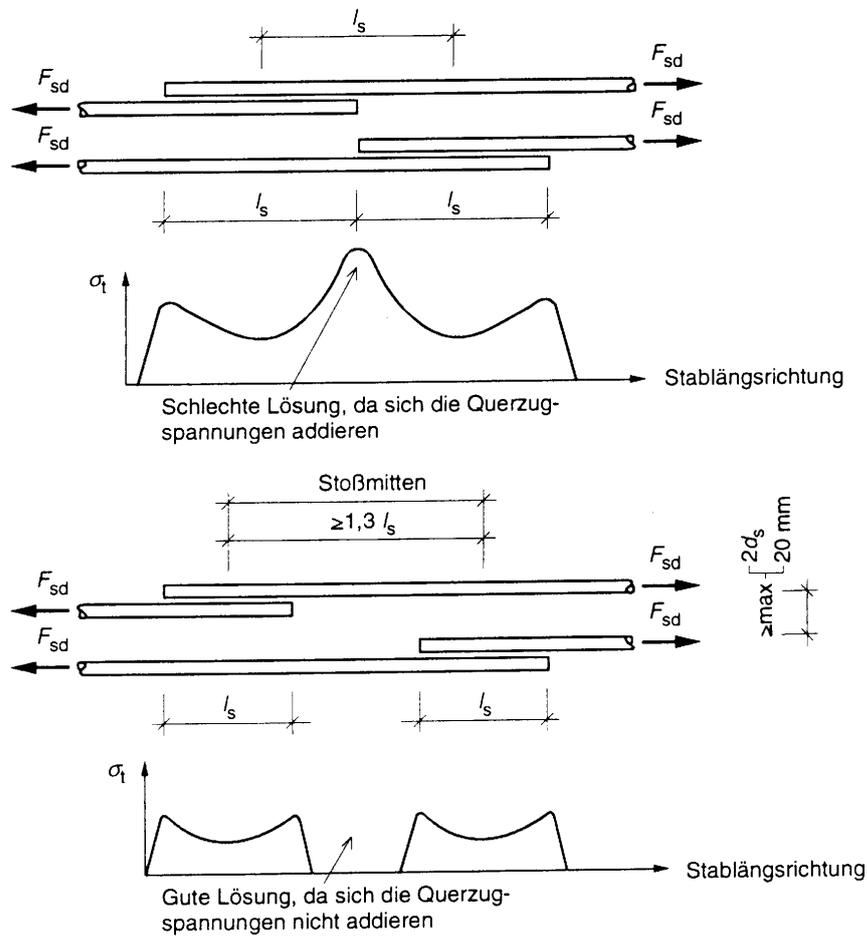


Bild: Stoß mehrerer Stränge, $l_s = l_0$

Die erforderliche Stoßlänge kann verkleinert werden, wenn effektivere Ausbildungsformen als gerade Stabenden benutzt werden:

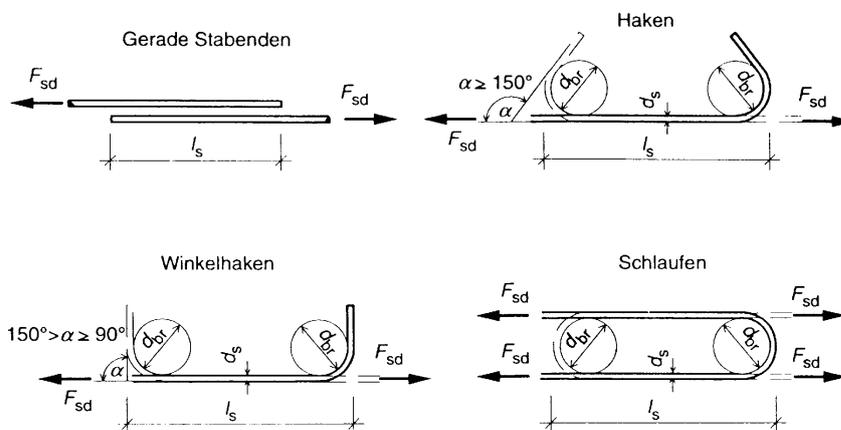


Bild: Ausbildung von Übergreifungsstößen

4.1.2 Berechnung der Übergreifungslänge l_0 nach EC2 für Einzelstäbe

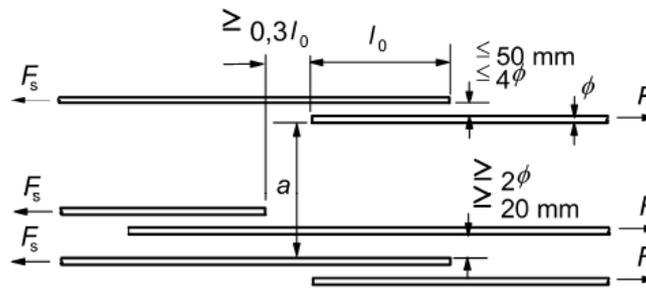


Bild 8.7 EC 2: Regeln für Übergreifungsstöße

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

Übergreifungslänge l_0 nach EC2

$$l_{0,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq 15\phi \geq 20cm$$

Mindestwert der Übergreifungslänge,
 $l_{b,rqd}$ muss für $l_{0,min}$ mit f_{yd} berechnet werden.

$\alpha_1, \alpha_3, \alpha_5$ Beiwerte aus Tabelle 8.2DE

Für die Berechnung von α_3 ist in der Regel $\sum A_{st,min}$ zu $1,0A_s \cdot (\sigma_{sd}/f_{yd})$ anzunehmen, mit A_s = Querschnittsfläche eines gestoßenen Stabes;

α_2 Beiwerte aus Tabelle 8.2DE, EC2 deutsch = 1,0

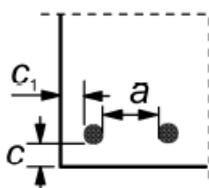
α_6 Beiwert aus Tabelle 8.3DE, EC2 für den Stoßanteil.

Zeile	Spalte		1	2	
			Anteil der ohne Längsversatz gestoßenen Stäbe am Querschnitt einer Bewehrungslage		
				$\leq 33\%$	$> 33\%$
1	Zugstoß	$d_s < 16\text{ mm}$	1,2 ^a	1,4 ^a	
2		$d_s \geq 16\text{ mm}$	1,4 ^a	2,0 ^b	
3	Druckstoß		1,0	1,0	

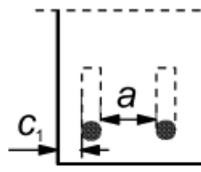
Wenn die lichten Stababstände $a \geq 8\phi$ (Bild 8.7) und der Randabstand in der Stoßebene $c_1 \geq 4\phi$ (Bild 8.3) eingehalten werden, darf der Beiwert α_6 reduziert werden auf:

^a $\alpha_6 = 1,0$
^b $\alpha_6 = 1,4$

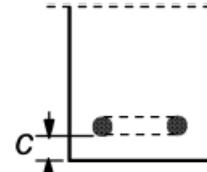
Tabelle 8.3DE EC2: Beiwerte α_6 für den Stoßanteil



a) Gerade Stäbe



b) (Winkel) Haken



c) Schlaufen

Bild 8.3 EC 2: $c_d = \min(a/2, c_1, c)$

$$c_d = \min(a/2, c_1)$$

$$c_d = c$$

Stöße von Stäben sind in der Regel versetzt anzuordnen und **dürfen in der Regel nicht in hoch beanspruchten Bereichen** liegen (z. B. plastische Gelenke, Stellen von max/minM).

Wenn die Anforderungen nach Bild 8.7 erfüllt sind, dürfen 100% der Zugstäbe in einer Lage gestoßen sein. Für Stäbe in mehreren Lagen ist in der Regel dieser Anteil auf 50 % zu reduzieren.

Alle Druckstäbe sowie die Querbewehrung dürfen in einem Querschnitt gestoßen sein.

Übergreifungsstöße mit Stäben $\varnothing > 32$ mm sind nur in Bauteilen zulässig, die überwiegend auf Biegung beansprucht werden.

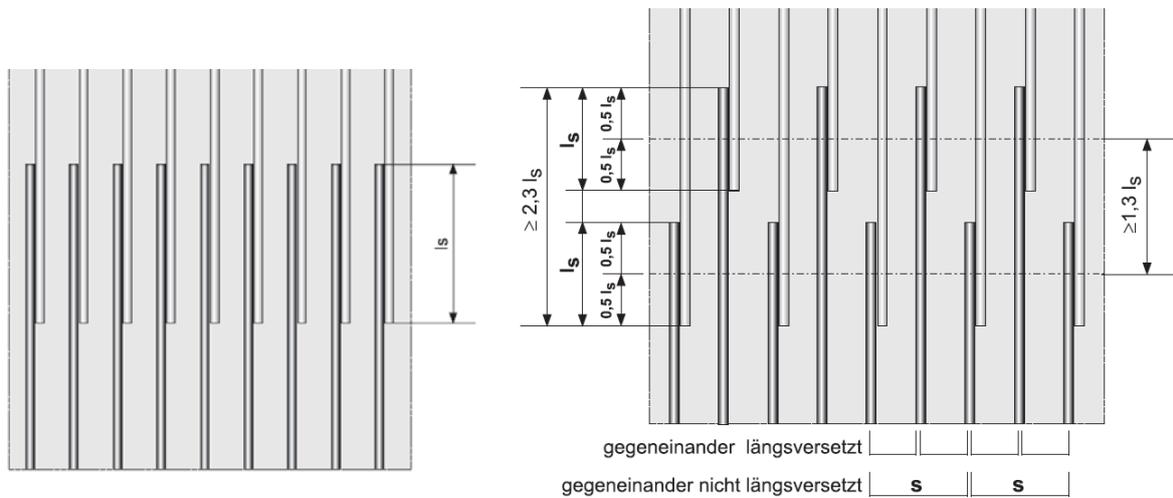


Bild: Definition des Stoßanteils (hier 100% und 50%) zur Ermittlung des Beiwertes α_6 , $l_s = l_0$

4.1.3 Querbewehrung

Für die Querbewehrung bei Übergreifungsstößen gelten Bild 8.9 unten und die folgenden Anforderungen:

Wenn der **Durchmesser der gestoßenen Stäbe $\phi < 20$ mm ist oder der Anteil gestoßener Stäbe in jedem Querschnitt höchstens 25%** beträgt, dann darf die aus anderen Gründen vorhandene Querbewehrung oder Bügel **ohne jeden weiteren Nachweis** als ausreichend zur Aufnahme der Querkraft angesehen werden.

Wenn der **Durchmesser der gestoßenen Stäbe $\phi \geq 20$ mm** ist, darf in der Regel die Gesamtquerschnittsfläche der Querbewehrung ΣA_{st} , (Summe aller Schenkel, die parallel zur Lage der gestoßenen Bewehrung verlaufen) nicht kleiner als die Querschnittsfläche A_s eines gestoßenen Stabes ($\Sigma A_{st} \geq 1,0 A_s$) sein. Die Querbewehrung sollte orthogonal zur Richtung der gestoßenen Bewehrung angeordnet werden.

Werden **mehr als 50% der Bewehrung in einem Querschnitt gestoßen und ist der Abstand zwischen benachbarten Stößen in einem Querschnitt $a \leq 10\phi$** (siehe Bild 8.7), ist in der Regel die **Querbewehrung in Form von Bügeln oder Steckbügeln ins Innere des Betonquerschnitts zu verankern**.

In **flächenartigen Bauteilen** muss die Querbewehrung ebenfalls bügelartig ausgebildet werden, falls $a \leq 5\phi$ ist; sie darf jedoch auch gerade sein, wenn die Übergreifungslänge um 30% erhöht wird. Sofern der Abstand der Stoßmitten benachbarter Stöße mit geraden Stabenden in Längsrichtung etwa $0,5l_0$ beträgt, ist kein bügelartiges Umfassen der Längsbewehrung erforderlich.

Werden bei einer **mehrlagigen Bewehrung mehr als 50 % des Querschnitts der einzelnen Lagen in einem Schnitt gestoßen**, sind die Übergreifungsstöße durch Bügel zu umschließen, die für die **Kraft ALLER gestoßenen Stäbe** zu bemessen sind.

In **vorwiegend biegebeanspruchten Bauteilen ab der Festigkeitsklasse C70/85** sind die Übergreifungsstöße durch Bügel zu umschließen, wobei die Summe der Querschnittsfläche der orthogonalen Schenkel gleich der erforderlichen Querschnittsfläche der gestoßenen Längsbewehrung sein muss.

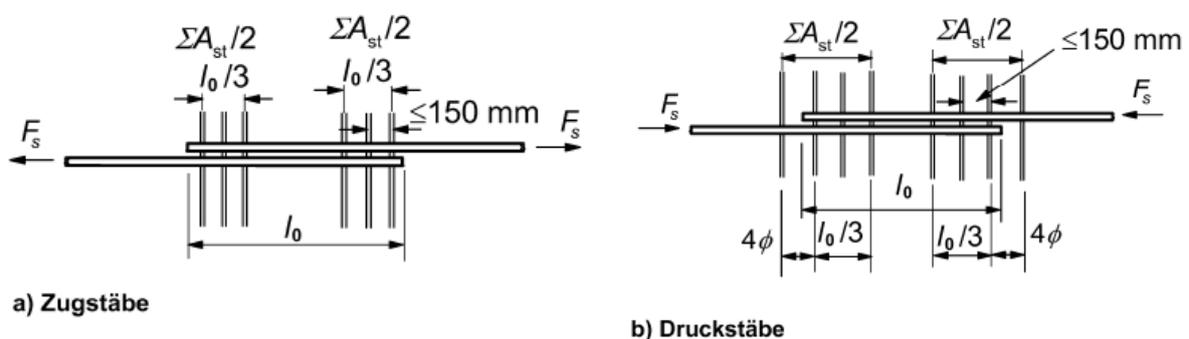
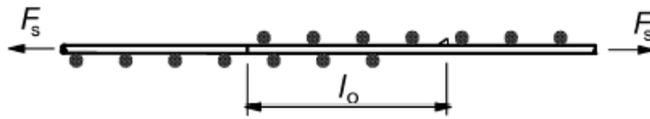


Bild 8.9 EC 2: Querbewehrung für Übergreifungsstöße

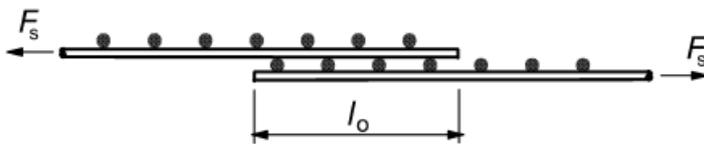
4.2 Indirekter Stoß (Übergreifungsstoß) von Betonstahlmatten

Bei Betonstahlmatten gibt es 2 Möglichkeiten, einen Stoß auszubilden:

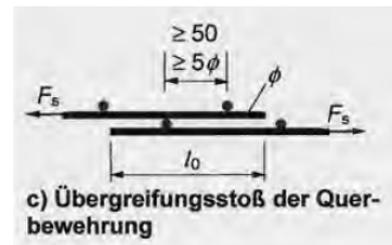
- a) **1-Ebenen-Stoß:** Die gestoßenen Längsstäbe liegen nebeneinander.
- b) **2-Ebenen-Stoß:** Die gestoßenen Längsstäbe liegen übereinander.



a) Verschränkung von Betonstahlmatten (Längsschnitt)



b) Zwei-Ebenen-Stoß von Betonstahlmatten (Längsschnitt)



c) Übergreifungsstoß der Querbewehrung

Bild 8.10 EC 2: Stöße von geschweißten Betonstahlmatten

Ein **1-Ebenen-Stoß** kommt selten vor, da die Matten fast immer in beiden Richtungen überlappt (gestoßen) werden müssen. Da beim 1-Ebenen-Stoß die Stäbe genau so nebeneinander liegen, wie beim Stabstahl, gelten auch die **gleichen Regeln und Formeln wie beim Stabstahl**.

Für den **2-Ebenen-Stoß** müssen folglich etwas andere Regelungen getroffen werden, die im Folgenden zusammengestellt sind:

(1) Die Stöße dürfen entweder durch Verschränkung oder als 2-Ebenen-Stoß von Betonstahlmatten ausgeführt werden (Bild 8.10).

(2) Bei Ermüdungsbelastungen ist in der Regel eine Verschränkung auszuführen.

(3) Bei **verschränkten Betonstahlmatten (1-Ebenen-Stoß)** muss in der Regel die Anordnung der Hauptlängsstäbe im Übergreifungsstoß denen für Einzelstäbe entsprechen. Günstige Auswirkungen der Querstäbe sollten mit $\alpha_3 = 1,0$ vernachlässigt werden. Die Übergreifungslänge für verschränkte Betonstahlmatten ist **wie für Einzelstäbe** zu berechnen. Darüber hinaus sollte $l_{0,min}$ den Abstand der Querbewehrung s_{quer} bei Matten nicht unterschreiten.

(4) Bei **Betonstahlmatten mit 2-Ebenen-Stoß** müssen in der Regel die Stöße der Hauptbewehrung generell in Bereichen liegen, in denen die **Stahlspannung im Grenzzustand der Tragfähigkeit nicht mehr als 80 % des Bemessungswerts der Stahlfestigkeit** beträgt.

2-Ebenen-Stöße ohne bügelartige Umfassung sind zulässig, wenn der zu stoßende Mattenquerschnitt $a_s \leq 6 \text{ cm}^2/\text{m}$ beträgt.

(5) Wenn Absatz (4) nicht eingehalten wird, ist in der Regel die statische Nutzhöhe bei der Berechnung des Biegegewiderstands für die am weitesten von der Zugseite entfernte Bewehrungslage zu bestimmen. Außerdem ist in der Regel bei der Rissbreitenbegrenzung im Bereich der Stoßenden aufgrund der dort vorliegenden Diskontinuität die Stahlspannung für die Anwendung der Tabellen 7.2 und 7.3 EC 2 um 25% zu erhöhen.

(6) Der Anteil der Hauptbewehrung, der in jedem beliebigen Querschnitt gestoßen werden darf, muss in der Regel nachfolgenden Bedingungen entsprechen:

- Beim 1-Ebenen-Stoß gelten die Werte aus Tabelle 8.3DE EC 2.
- Beim 2-Ebenen-Stoß hängt der zulässige Anteil einer mittels Übergreifung gestoßenen Hauptbewehrung in jedem Querschnitt von der vorhandenen Querschnittsfläche der geschweißten Betonstahlmatte $(A_s/s)_{prov}$ ab, wobei s der Abstand der Stäbe ist:
 - 100% wenn $(A_s/s)_{prov} \leq 12 \text{ cm}^2/\text{m}$;
 - 60% wenn $(A_s/s)_{prov} > 12 \text{ cm}^2/\text{m}$.

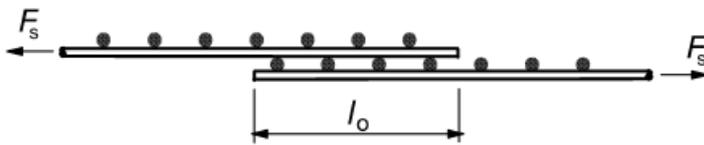
Für einen Bewehrungsquerschnitt von $a_s \leq 12 \text{ cm}^2/\text{m}$ darf immer ohne Längsversatz gestoßen werden.

Für $a_s > 12 \text{ cm}^2/\text{m}$ ist ein Vollstoß nur bei mehrlagiger Bewehrung in der inneren Lage zulässig, wobei der Stoßanteil $\leq 60 \%$ von erf. A_s sein darf.

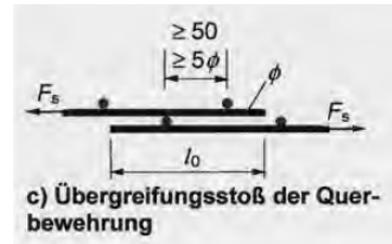
Bei mehrlagiger Bewehrung sind die Stöße der einzelnen Lagen stets mindestens um $1,3l_0$ längs zu versetzen.

(7) Eine zusätzliche Querbewehrung im Stoßbereich ist nicht erforderlich.

Berechnung der Übergreifungslänge l_0 von 2-Ebenen-Stößen von Betonstahlmatten



b) Zwei-Ebenen-Stoß von Betonstahlmatten (Längsschnitt)



c) Übergreifungsstoß der Querbewehrung

Bild 8.10 EC 2: 2-Ebenen-Übergreifungsstoß geschweißter Betonstahlmatten

Übergreifungslänge l_0 2-Ebenen-Stoß: $l_0 = l_{b,rqd} \cdot \alpha_7 \geq l_{0,min}$ ()

$$1,0 \leq \alpha_7 = 0,4 + \frac{a_{s,vorh}}{8} \leq 2,0$$

Beiwert zur Berücksichtigung des Mattenquerschnitts

$$l_{0,min} = 0,3 \cdot \alpha_7 \cdot l_{b,rqd} \geq s_q \geq 20cm$$

Mindestwert der Übergreifungslänge

s_q

Abstand der geschweißten Querstäbe

Die **Querbewehrung** darf vollständig in einem Schnitt gestoßen werden. Die Mindestwerte für die Übergreifungslänge l_0 sind in Tabelle 8.4DE enthalten; innerhalb der Übergreifungslänge zweier Stäbe der Querbewehrung müssen in der Regel mindestens zwei Stäbe der Hauptbewehrung vorhanden sein.

Stabdurchmesser (mm)	Übergreifungslänge
$\phi \leq 6$	≥ 150 mm; jedoch mindestens 1 Mattenmasche
$6 < \phi \leq 8,5$	≥ 250 mm; jedoch mindestens 2 Mattenmaschen
$8,5 < \phi \leq 12$	≥ 350 mm; jedoch mindestens 2 Mattenmaschen
$\phi > 12$ mm	≥ 500 mm; ≥ 2 Mattenmaschen

Tabelle 8.4DE EC 2: Erforderliche Übergreifungslängen für Stöße von Querbewehrung