

## Grundlagen der Bemessung nach DIN 1045:1988-07

Die Gleichungen (3), (6) und (21) bis (24) und die Abschnitte 2.4.2 und 2.6.2 sind in dieser Anlage nicht enthalten.

### 1 Allgemeines

Alle erforderlichen Nachweise im rechnerischen Gebrauchs- und Bruchzustand sind für das verstärkte Bauteil unter Berücksichtigung des Ist-Zustandes zu erbringen. Soweit nachfolgend nicht anders geregelt, gelten die entsprechenden Abschnitte der DIN 1045:1988-07.

### 2 Bemessung

#### 2.1 Grundlagen

Die Spannungsdehnungslinie der vorhandenen Bewehrung und des Laschenstahls können als bilinear mit  $E_S = E_{LK} = E = 210000 \text{ N/mm}^2$  angenommen werden. Werkstoffwerte und Grenzdehnung der Stahllaschen sind dem Abschnitt 2.1.1 der "Besonderen Bestimmungen" zu entnehmen. Der Rechenwert der vorhandenen Betondruckfestigkeit ist aufgrund von Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" festzulegen.

Der Rechenwert  $f_{ctm}$  der Oberflächenzugfestigkeit des Betons für die Bemessung der Klebeverbundverankerung ist gemäß Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" zu bestimmen. Er darf mit maximal  $f_{ctm,surf} = 3,0 \text{ N/mm}^2$  angesetzt werden.

#### 2.2 Verstärkungsgrad

Die erforderliche Biegetragfähigkeit des verstärkten Bauteils darf an keiner Stelle des Bauteils größer als das Zweifache des unverstärkten sein. Dies wird durch den Verstärkungsgrad  $\eta_B$  ausgedrückt.

$$\eta_B = \frac{M_{EV}}{M_{Rd0}} \leq 2 \quad (1)$$

Hierin ist  $M_{EV}$  das einwirkende Moment auf das verstärkte Bauteil und  $M_{Rd0}$  Bemessungswert der Momenten Tragfähigkeit des unverstärkten Bauteils unter Berücksichtigung des jeweilig vorgeschriebenen Sicherheitsbeiwerts.

#### 2.3 Biegebemessung

Die zur Ermittlung der Bruchschnittgrößen im verstärkten Zustand anzusetzende Stahllaschengrenzdehnung  $\varepsilon_L$  ist wie folgt zu bestimmen:

( $\varepsilon_L$  ist unter  $\gamma$ -facher Belastung zu ermitteln)

$$\varepsilon_L \leq \text{grenz } \varepsilon_L$$

$$\text{grenz } \varepsilon_L \leq 5 f_{syk} / E_S \quad (2)$$

$$\text{grenz } \varepsilon_L \leq 3 \text{ ‰} \quad (4)$$

Für  $\eta_B > \gamma$  gilt zusätzlich:

$$\varepsilon_L \leq \text{grenz } \varepsilon_L = (f_{syk} / E_S) \cdot (\eta_B - 1) / (\eta_B / \gamma - 1) \cdot (1 - \beta) k_z \quad (5)$$

mit:

$\gamma$  globaler Sicherheitsbeiwert  $\gamma = 1,75$

$$\eta_B = \frac{M_{EV}}{M_{Rd0}} \leq 2$$

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahllaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2, Blatt 1 / 16**  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

mit:	
$M_{Ev}$	das einwirkende Moment auf das verstärkte Bauteil
$M_{Rd0}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit des unverstärkten Bauteils unter Berücksichtigung des jeweilig vorgeschriebenen Sicherheitsbeiwerts.
$f_{syk}$	Nennstreckgrenze des im Bauteil verwendeten Betonstahls
$E_s$	Rechenwert des E-Moduls des im Bauteil verwendeten Betonstahls nach DIN 1045, Bild 12
$k_z = z_L/z_s$	Verhältnis der inneren Hebelarme von Stahlflasche und Innenbewehrung
$\beta = \varepsilon_{s0}/\varepsilon_{sy}$	Dehnungsgrad der Bewehrung zum Zeitpunkt der Verstärkung mit
$\varepsilon_{s0}$	Vordehnung der Innenbewehrung zum Zeitpunkt der Verstärkung
$\varepsilon_{sy}$	Fließdehnung des Betonstahls

Der kleinste Wert aus den Gleichungen (2) bis (5) ist maßgebend.

Innerhalb der Grenzdehnung darf im rechnerischen Bruchzustand die volle Mitwirkung der vorhandenen Bewehrung und der Stahlflaschen angenommen werden, sofern die Verbundnachweise erbracht sind. Der Dehnungszustand der vorhandenen Bewehrung von Stahlbetonbauteilen zum Zeitpunkt der Klebung darf hierfür unter Annahme des gerissenen Zustandes ermittelt werden. Der Anschluss von Zugflaschen in Zuggurten gegliederter Querschnitte ist gemäß DIN 1045, Abschnitt 18.8.5, nachzuweisen. Es darf mit einem globalen Sicherheitsbeiwert  $\gamma = 1,75$  gerechnet werden.

## 2.4 Bemessung der Klebeverbundverankerung

(Der Nachweis der Verankerung über Innenstützen ist nach Abschnitt 2.4.1 zu führen.)

Bild 1 zeigt qualitativ den Zusammenhang zwischen der charakteristischen Verbundbruchkraft  $T_k$  und der Verankerungslänge  $l_t$ . Zum Größtwert  $T_{k,max}$  gehört die Verankerungslänge  $l_{t,max}$ .

Beide sind wie folgt zu ermitteln:

$$T_{k,max} = 0,225 \cdot b_L \cdot \sqrt{E_{Lk} \cdot t_L \cdot \sqrt{f_{cm,cube} f_{ctm,surf}}} \quad [N] \quad (7)$$

$$l_{t,max} = 1,46 \sqrt{\frac{E_{Lk} \cdot t_L}{\sqrt{f_{cm,cube} f_{ctm,surf}}}} \quad [mm] \quad (8)$$

mit:

$b_L$  Stahlflaschenbreite in mm

$t_L$  Stahlflaschendicke in mm

$E_{Lk}$  210.000 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctm,surf}$  Rechenwert der Oberflächenzugfestigkeit des Betons nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm<sup>2</sup>

$f_{cm,cube}$  Mittelwert der Betondruckfestigkeit nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm<sup>2</sup>

Wie Bild 1 zeigt, lässt sich auch eine geringere Verbundbruchkraft  $T_k < T_{k,max}$  auf der zugehörigen Verankerungslänge  $l_t$  verankern.

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahlflaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2, Blatt 2 / 16**  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

$$l_t = l_{t,max} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{T_k}{T_{k,max}}} \right) \quad (9)$$

Die zu einer Verankerungslänge  $l_t \leq l_{t,max}$  gehörende Verbundbruchkraft beträgt:

$$T_k = T_{k,max} \frac{l_t}{l_{t,max}} \left( 2 - \frac{l_t}{l_{t,max}} \right) \quad (10)$$

Für den Endverankerungsnachweis gilt

– bei Vollplatten:  $T_k \geq \text{erf } T_k = 1,2 F_{LE}$  (11)

– bei Balken:  $T_k \geq \text{erf } T_k = F_{LE}$  (12).

Hierin ist  $F_{LE}$  die nach den Bildern 3 und 4 am kraftseitigen Verankerungsbeginn Punkt E zu verankernde Laschenzugkraft im rechnerischen Bruchzustand.

Auf eine Verbügelung des Endbereichs der Stahllaschen entsprechend Abschnitt 3.1.3 der "Besonderen Bestimmungen" kann verzichtet werden, wenn  $\tau_{0V} < \tau_{011}$  (Zeile 1b) und wenn der Verankerungsnachweis der Stahllaschen Gleichung (11) bzw. (12) mit einem globalen Sicherheitsbeiwert  $\gamma = 2,1$  geführt wird. In jedem anderen Fall ist eine Verbügelung des Endbereichs der Stahllasche vorzusehen und es darf mit einem globalen Sicherheitsbeiwert  $\gamma = 1,75$  gerechnet werden. Der am Punkt E anzuordnende Laschenbügel B1 (siehe Bild 5) ist auf eine Kraft zu bemessen, die der fiktiven Zugkraft am Ende der Stahllasche unter Annahme einer ebenen Dehnungsverteilung und unter Berücksichtigung des Versatzmaßes entspricht. Sowohl der Bügel B1 als auch der konstruktiv am Laschenende anzuordnende Bügel B2 (siehe Bild 5) kann auf die Bügelbewehrung zur Abtragung der Schubkräfte angerechnet werden. Die Verankerung des Bügels kann durch eine Verankerung in der Druckzone oder durch Klebeverbund entsprechend Abschnitt 2.5, Fall 2 erfolgen.

Konstruktionsregeln enthält Abschnitt 3.1 der "Besonderen Bestimmungen".

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahllaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2**, Blatt 3 / 16  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

### 2.4.1 Nachweis der Verbundtragfähigkeit über Innenstützen

Der Nachweis ist im Bruchzustand mit einem globalen Sicherheitsbeiwert  $\gamma = 2,1$  zu führen. Anhand des maximalen Rissmomentes  $M_{cr, max}$  und des maximalen Rissabstandes  $a_{r, max}$  wird das maßgebende Zwischenrisselement im Bereich der Innenstützen ermittelt (siehe Bild 6). Dieses liegt im Abstand des Versatzmaßes  $v_l$  vom Zwischenauflager entfernt, an der Stelle der Maximalwerte von Biegemoment und Querkraft. Bei Berücksichtigung des Abschnitts 15.4.1.2 (1) nach DIN 1045:1988-07 ist das Zwischenrisselement im Abstand des Versatzmaßes  $v_l$  vom Auflagerrand beginnend nachzuweisen.

Für dieses Zwischenrisselement ist der Spannungszuwachs  $\text{vorh } \Delta\sigma_L^1$  in der Stahllasche zu ermitteln. Die Spannungen  $\sigma_L^1$  sowie der Spannungszuwachs  $\text{vorh } \Delta\sigma_L^1$  müssen entsprechend den Dehnungszuständen ermittelt werden, die sich unter Annahme einer ebenen Dehnungsverteilung und den Arbeitslinien gem. von DIN 1045:1988-07, Bild 11 und Bild 12 für Beton und Betonstahl einstellen (wobei eine vereinfachte Ermittlung bei Biegung ohne Längskraft nach Teilschema 2 vorgenommen werden darf.).

Der Nachweis der Zugkraftdeckung ist erbracht, wenn der vorhandene Spannungszuwachs  $\text{vorh } \Delta\sigma_L^1$  kleiner als der aufnehmbare Spannungszuwachs  $\text{aufn. } \Delta\sigma_L^1$  ist.

#### 2.4.1.1 Bestimmung des Rissbildes

Das Versatzmaß  $v_l$  darf vereinfachend wie folgt ermittelt werden:

$$v_l \approx 0,85 \cdot \frac{h_L \cdot E_L \cdot A_L + h_s \cdot E_S \cdot A_S}{E_L \cdot A_L + E_S \cdot A_S} \quad (\text{I.1})$$

mit:

- $h_s$  statische Nutzhöhe des Betonstahls
- $h_L$  statische Nutzhöhe der Klebebewehrung
- $E_L$  210.000 N/mm<sup>2</sup>
- $E_S$  Elastizitätsmodul für Betonstahl
- $A_L$  Querschnittsfläche der Klebebewehrung
- $A_S$  Querschnittsfläche des Betonstahls

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahlaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2**, Blatt 4 / 16  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

Ermittlung des maximalen Rissabstandes  $a_{r,max}$ :

Für die Ermittlung des maximalen Rissmomentes  $M_{cr,max}$  darf die maximale Biegezugfestigkeit des zu verstärkenden Bauwerks – wenn nicht genauer nachgewiesen – wie folgt angenommen werden:

$$f_{ct,fl,max} = 1,3 \cdot f_{ctm,surf} \quad (I.2)$$

mit:

$f_{ctm,surf}$  Rechenwert der Oberflächenzugfestigkeit des Betons nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in  $N/mm^2$

$$M_{cr,max} = f_{ct,fl,max} \cdot W_{c,o} \quad (I.3)$$

mit:

$f_{ct,fl,max}$  maximale Biegezugfestigkeit des zu verstärkenden Bauwerks  
 $W_{c,o}$  Widerstandsmoment des ungerissenen Betonquerschnitts

Ermittlung des maximalen Rissabstandes  $a_{r,max}$ :

$$a_{r,max} = \left( 1,5 + 0,5 \cdot \frac{A_{E,Gleichstreckenlast}}{A_E} \right) \cdot l_{e,0,max} \quad (I.4)$$

mit:

$A_E$  Auflagerkraft aus der Gesamtlast

$A_{E,Gleichstreckenlast}$  Auflagerkraft aus der Gleichstreckenlast

$l_{e,0,max}$  maximale Eintragungslänge von Betonstahl und Klebebewehrung

$$l_{e,0,max} = \frac{M_{cr,max}}{z_s \cdot T} \quad (I.5)$$

mit:

$M_{cr,max}$  maximales Rissmomentes  $M_{cr,max}$  nach Gleichung (I.3)

$z_s$  mittlerer Hebelarm der inneren Kräfte, dieser darf vereinfachend wie folgt angenommen werden:

$$z_s \approx 0,85 \cdot h_s \quad (I.6)$$

mit:

Formelzeichen analog Gleichung (I1)

$T$  Verbundkraft je Länge

$$T = \sum_{i=1}^n n_{s_i} \cdot d_{s_i} \cdot \pi \cdot f_{bs,m,max} \quad (I.7)$$

mit:

$n_{s_i}$  Anzahl der Bewehrungsstäbe der Biegezugbewehrung eines Durchmessers

$d_{s_i}$  Durchmesser der Bewehrungsstäbe der Biegezugbewehrung

$f_{bs,m,max}$  maximale Verbundspannung zwischen Betonstahl und Beton nach → **Teilschema A ( $f_{bs,m} = f_{bs,m,max}$ )** mit  $\sigma_{S,r}(M_{cr,max})$  für  $\sigma_{S,r}$

mit:  
 $\sigma_{S,r}(M_{cr,max})$  Betonstahlspannung unter Wirkung des Rissmomentes für den unverstärkten Querschnitt nach

**Musteranlage**

**Bemessung  
 Stahlaschen  
 DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2, Blatt 5 / 16**  
 zur allgemeinen  
 bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
 vom

→ **Teilschema 1** mit  $M_{cr,max}$  für  $M_i$

Gemäß Bild 6 sind die Risslagen  $x_1$  und  $x_2$  für die Risse 1 und 2 festzulegen.

#### 2.4.1.2 Bestimmung der Verbundbeanspruchung

Ermittlung des vorhandenen Spannungszuwachs vorh  $\Delta\sigma_L^1$  zwischen den Rissen  $x_1$  und  $x_2$

$$\text{vorh } \Delta\sigma_L^1 = \sigma_L^2 - \sigma_L^1 \quad (\text{I.8})$$

mit:

$\sigma_L^1, \sigma_L^2$  Laschenspannung an den Rissen  $x_1$  und  $x_2$

$$\rightarrow \text{Teilschema 2} \text{ mit } z_m \approx 0,85 \cdot \frac{h_L \cdot E_L \cdot A_L + h_s \cdot E_S \cdot A_S}{E_L \cdot A_L + E_S \cdot A_S}$$

#### 2.4.1.3 Bestimmung des Verbundwiderstands

$$\text{aufn. } \Delta\sigma_L^1(\sigma_L^1) = \Delta\sigma_L^1(\sigma_L^1) \quad (\text{I.9})$$

mit:

$\Delta\sigma_L^1(\sigma_L^1)$  Spannungsdifferenz zwischen den Rissen  $x_1$  und  $x_2$

$$\Delta\sigma_L^1(\sigma_L^1) = \sqrt{\frac{2 \cdot G_f \cdot E_L}{t_L} + (\sigma_L^1)^2} - \sigma_L^1 \leq \frac{f_{kL}}{1,10} - \sigma_L^1 \quad (\text{I.10})$$

mit:

$E_L$  210.000 N/mm<sup>2</sup>

$t_L$  Laschendicke

$G_f$  Verbundbruchenergie

$$G_f = \frac{1}{2} s_{L0,k} \cdot f_{blk} \quad (\text{I.11})$$

mit:

$f_{blk}$  charakteristische Verbundspannung zwischen Beton und Klebebewehrung

$$f_{blk} = 0,273 \sqrt{f_{cm,cube} \cdot f_{ctm,surf}} \quad (\text{I.12})$$

mit:

$f_{ctm,surf}$  Rechenwert der Oberflächenzugfestigkeit des Betons nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm<sup>2</sup>

$$f_{ctm,surf} \leq 3,0 \text{ N/mm}^2$$

$f_{cm,cube}$  Mittelwert der Betondruckfestigkeit nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm<sup>2</sup>

$s_{L0,k}$  charakteristischer Grenzwert der Relativverschiebung

$$s_{L0,k} = 0,185 \text{ mm}$$

$\sigma_L^1$  Laschenspannung am Riss  $x_1$  nach Abschnitt 2.5.2

$f_{kL}$  charakteristischer Wert der Zugfestigkeit der Stahllasche

#### 2.4.1.4 Nachweis

Der Nachweis der Zugkraftdeckung ist erbracht, wenn:

$$\text{vorh. } \Delta\sigma_L^1 \leq \text{aufn. } \Delta\sigma_L^1 \quad (\text{I.13})$$

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahllaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2, Blatt 6 / 16**  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

## 2.5 Querkraftnachweis und –bemessung (für Innenstützen und Feldbereiche)

Es gelten die Regelungen von DIN 1045:1988-07 mit den folgenden zusätzlichen Festlegungen. Der Schubbereich 3 darf nicht angewandt werden.

Der Grundwert  $\tau_{0V}$  der Schubspannung des verstärkten Bauteils im Gebrauchszustand kann für Vollplatten nach Gleichung (13) in Höhe der Nulllinie, siehe Bild 2 bestimmt werden:

$$\tau_{0V} = \frac{Q_V}{\text{erf}\eta_B \cdot z_m} \left[ 1 + (\text{erf}\eta_B - 1) \frac{s_L}{b_L + 2(d - x)} \right] \leq \tau_{011}(b) \quad (13)$$

Hierin bedeuten:

$Q_V$  gesamte Querkraft pro Meter Plattenbreite. An Endauflagern darf die am Punkt E (siehe Bild 3) vorhandene Querkraft eingesetzt werden, an Zwischenauflagern gemäß DIN 1045:1988-07, Abschnitt 17.5.2.

$\text{erf}\eta_B$  erforderlicher Biegeverstärkungsgrad

$s_L$  Laschenabstand

$z_m$  mittlerer Hebelarm der inneren Kräfte, für Vollplatten kann dieser Hebelarm überschläglich wie folgt ermittelt werden:  $z_m \approx 0,85 d$ , mit  $d$  = Plattenhöhe

$b_L$  Laschenbreite

$d$  Plattenhöhe (siehe Bild 2)

$x$  Höhe der Druckzone des verstärkten Querschnitts (siehe Bild 2)

$\tau_{011}(b)$   $\tau_{011}$  nach DIN 1045: 1988-07, Tabelle 13, Zeile 1b

Bei Balken und Plattenbalken wird der Grundwert  $\tau_{0V}$  wie folgt bestimmt (siehe Bild 2):

$$\tau_{0V} = \frac{Q_V}{b \cdot z_m} \leq \tau_{02} \quad (14)$$

Hierin ist  $b$  die Balkenstegbreite und  $z_m$  der mittlere Hebelarm der inneren Kräfte von Innenbewehrung und Stahllasche.

Bei der Ermittlung des von der inneren Schubbewehrung abgedeckten Querkraftanteils  $Q_{Vs}$  ist die innere Schubbewehrung mit der Stahlspannung  $\sigma_s = \beta_{sk}/1,75$  in Rechnung zu stellen. Die Laschenbügel sind mit der Stahlspannung  $\sigma_{lbü} = \beta_{lk}/1,75$  zu bemessen.

Die Mindestmenge der Laschenbügel ist gemäß DIN 1045, Abschnitte 17.5.5.2 und 17.5.5.3 nachzuweisen.

Bei Balken kann bei einer Schubbeanspruchung  $\tau_{0V} \leq 0,9 \cdot \tau_{011}$  (Zeile 1b nach DIN 1045:1988-07, Tabelle 13) und bei Plattenbalken bei einer Schubbeanspruchung  $\tau_{0V} \leq 0,9 \cdot \tau_{012}$  (Zeile 3 nach DIN 1045:1988-07, Tabelle 13) auf Laschenbügel verzichtet werden, sofern die innere Schubbewehrung zur Deckung der Gesamtquerkraft  $Q_V$  ausreichend dimensioniert ist (Fall 2).

Übersteigt die Schubbeanspruchung den Wert  $\tau_{011}$  (Zeile 1b), ist die durch Laschenbügel abzudeckende Querkraft  $Q_{VL}$  nach Gleichung (15) bzw. (16) zu berechnen. Ein Fließen

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahllaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2, Blatt 7 / 16**  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

der inneren Betonstahlbewehrung muss bei der Ermittlung von  $Q_{VL}$  berücksichtigt werden. Der durch Laschenbügel abzudeckende Schubspannungsanteil  $\tau_{0VL}$  ist auf  $\tau_{011}$  (Zeile 1a nach DIN 1045:1988-07, Tabelle 13) zu begrenzen.

$$Q_{VL} = \frac{\eta_B - 1}{\eta_B} \cdot Q_V \quad (15)$$

$$Q_{VL} = Q_V - \text{ged } Q_{Vs} \quad (16)$$

Der größere Wert von  $Q_{VL}$  ist maßgebend.

In der Gleichung (15) bedeutet:

$\eta_B$  Biegeverstärkungsgrad (siehe Gleichung (1))

Hinsichtlich der Deckung der Querkraft des Bauteils im verstärkten Zustand sind zwei Fälle zu unterscheiden:

### Fall 1:

Die durch die innere Schubbewehrung gedeckte Querkraft  $\text{ged } Q_{Vs}$  ist kleiner als die gesamte Querkraft ( $\text{ged } Q_{Vs} < Q_V$ ):

Äußere Schubbewehrung in Form geklebter Stahlbügel ist stets anzuordnen. Diese müssen die Zugzone umschließen und in der Druckzone verankert werden.

### Fall 2:

Die durch die innere Schubbewehrung gedeckte Querkraft ist gleich oder größer als die gesamte Querkraft ( $\text{ged } Q_{Vs} > Q_V$ ):

Bei einer Schubbeanspruchung  $\tau_{0V} \leq \tau_{012}$  kann auf die Verankerung der Laschenbügel in der Druckzone verzichtet werden, sofern die auf die Bügelschenkel entfallende Zugkraft über Klebeverbund an das Betonbauteil übertragen werden kann. Der Nachweis kann nach Gleichung (17) erfolgen.

$$2,1 F_{b\ddot{u}} \leq T_k \quad (17)$$

Die charakteristische Verbundbruchkraft  $T_k$  ist nach den Gleichungen (18) bis (20) zu berechnen. Die Laschenbügel sind über die gesamte Steghöhe zu verkleben. In Gleichung (18) darf nur die Hälfte der vorhandenen Klebelänge angesetzt werden.

$$T_k = T_{k,max} \cdot \frac{l_t}{l_{t,max}} \cdot \left( 2 - \frac{l_t}{l_{t,max}} \right) \text{ [N]} \quad (18)$$

$$T_{k,max} = 0,225 \cdot b_b \cdot \sqrt{E_{bk} \cdot t_b \cdot \sqrt{f_{cm,cube} f_{ctm,surf}}} \text{ [N]} \quad (19)$$

$$l_{t,max} = 1,46 \cdot \sqrt{\frac{E_{bk} \cdot t_b}{\sqrt{f_{cm,cube} f_{ctm,surf}}}} \text{ [mm]} \quad (20)$$

$F_{b\ddot{u}}$  die auf einen Bügelschenkel entfallene Zugkraft

$T_{k,max}$  charakteristische Verbundbruchkraft

$l_{t,max}$  zu  $T_{k,max}$  zugehörige Verankerungslänge

$l_t$  höchstens die Hälfte der vorhandenen Klebelänge

$b_b$  Breite der Schublaschen in mm

$t_b$  Dicke der Schublaschen in mm

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahlaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2, Blatt 8 / 16**  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

$E_{bk}$  Elastizitätsmodul des Bügels in N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctm,surf}$  Rechenwert der Oberflächenzugfestigkeit des Betons nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm<sup>2</sup>

$f_{cm,cube}$  Mittelwert der Betondruckfestigkeit nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm<sup>2</sup>

Hinsichtlich Anordnung und zulässiger Abstände der Biegel vgl. Abschnitt 3.1.2 der "Besonderen Bestimmungen". Geklebte und nicht in der Druckzone verankerte Laschenbügel können durch schubfest aufgeklebte Kohlefaserlamine entsprechend einer dafür erteilten und gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erfolgen.

## 2.6 Nachweise im Gebrauchszustand

### 2.6.1 Rissbreitenbeschränkung

Auf den Nachweis der Beschränkung der Rissbreite darf verzichtet werden.

### 2.6.3 Nachweis der Dauerhaftigkeit

Zusätzlich zum Verankerungsnachweis nach Gleichung (11) bzw. (12) muss nachgewiesen werden, dass die auftretenden Verankerungskräfte aus ständigen Lasten folgende Bedingungen erfüllen:

- bei Vollplatten:  $0,6 \cdot T_k \geq \text{erf } T_k = 1,2 F_{LE}$  (25)
- bei Balken:  $0,6 \cdot T_k \geq \text{erf } T_k = F_{LE}$  (26).

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahlaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2**, Blatt 9 / 16  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

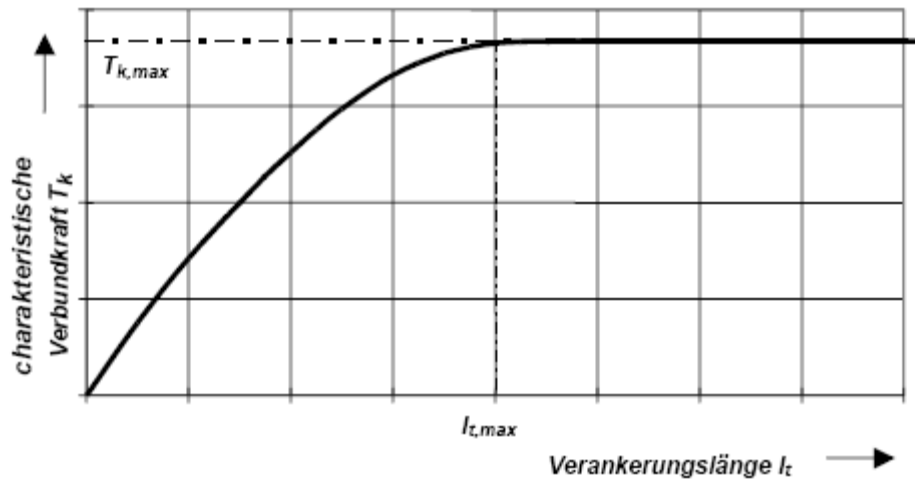


Bild 1: Zusammenhang zwischen der charakteristischen Verbundbruchkraft und der Verankerungslänge (Qualitativ)

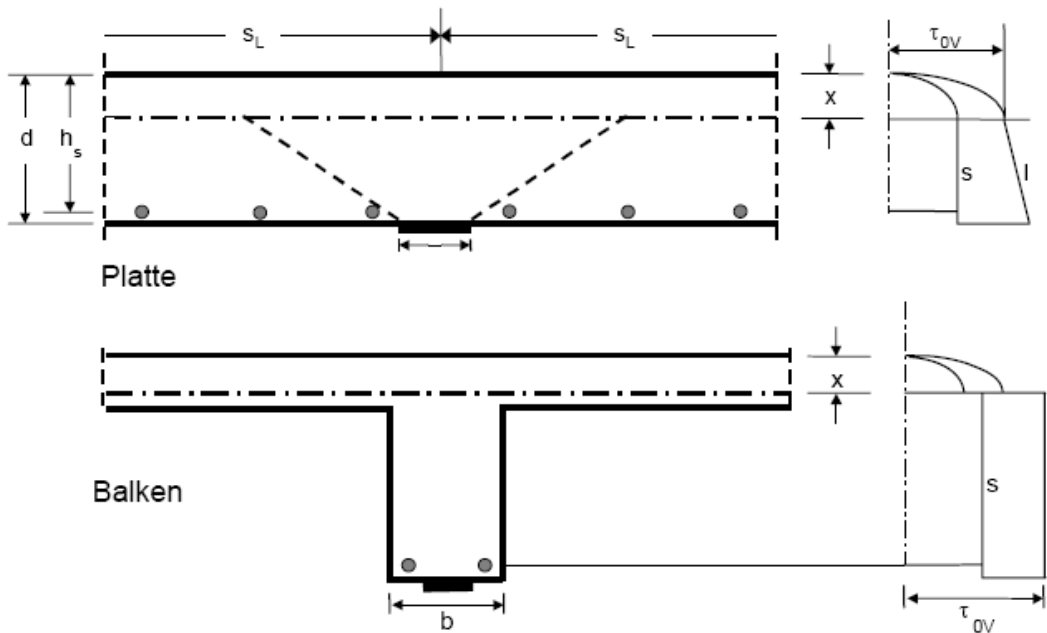


Bild 2: Schubspannungen des verstärkten Bauteils im Gebrauchszustand

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahlaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2**, Blatt 10 / 16  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

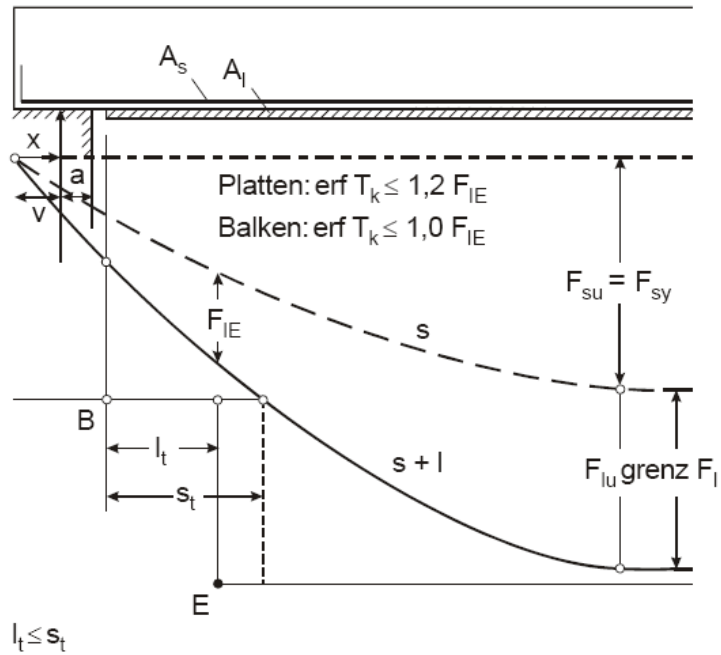


Bild 3: Zugkraftdeckung und Stahlaschenverankerung an Endauflagern

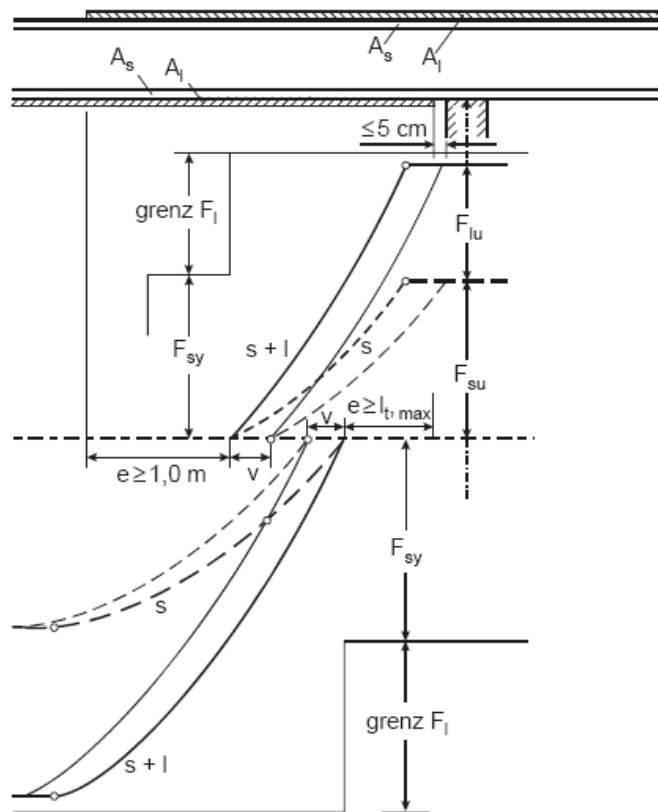


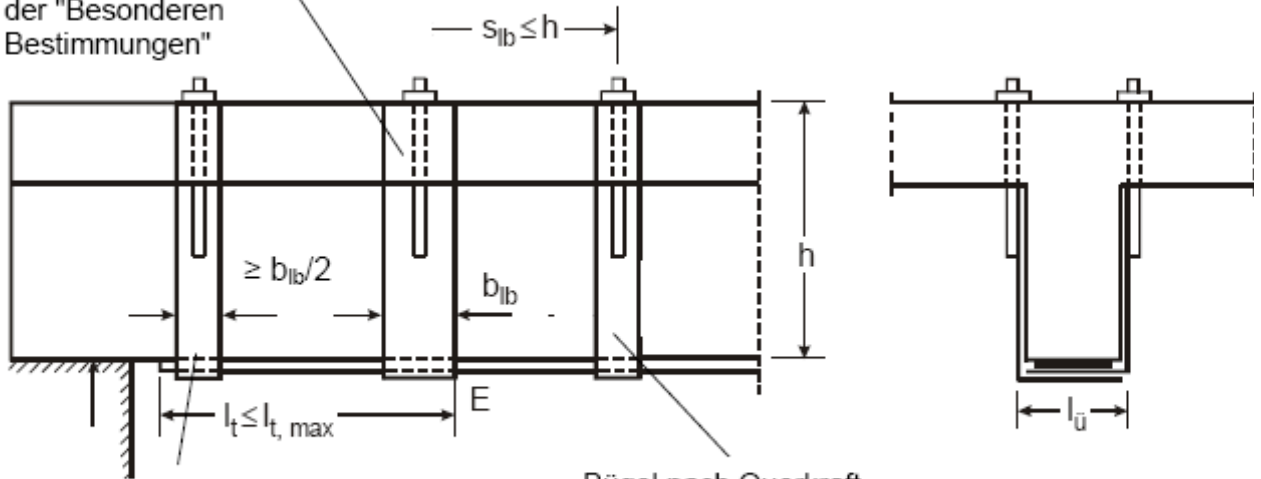
Bild 4: Stahlaschenverankerung an Innenauflagern

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahlaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2, Blatt 11 / 16**  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

Bügel B1 nach Abschnitt 3.1.3  
der "Besonderen  
Bestimmungen"



konstruktiv anzubringender Bügel  
B2 nach Abschnitt 3.1.3 der  
"Besonderen Bestimmungen"

Bügel nach Querkraft-  
bemessung

Bild 5: Verbügelung der Stahlaschenverankerung (Beispiel für Bügelverankerung in der Druckzone)

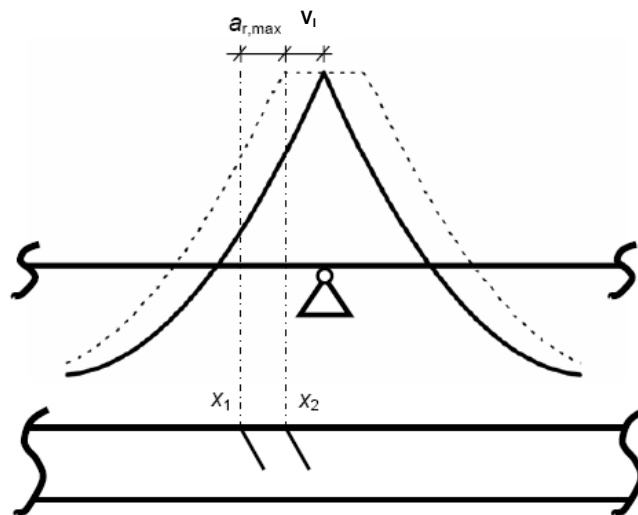


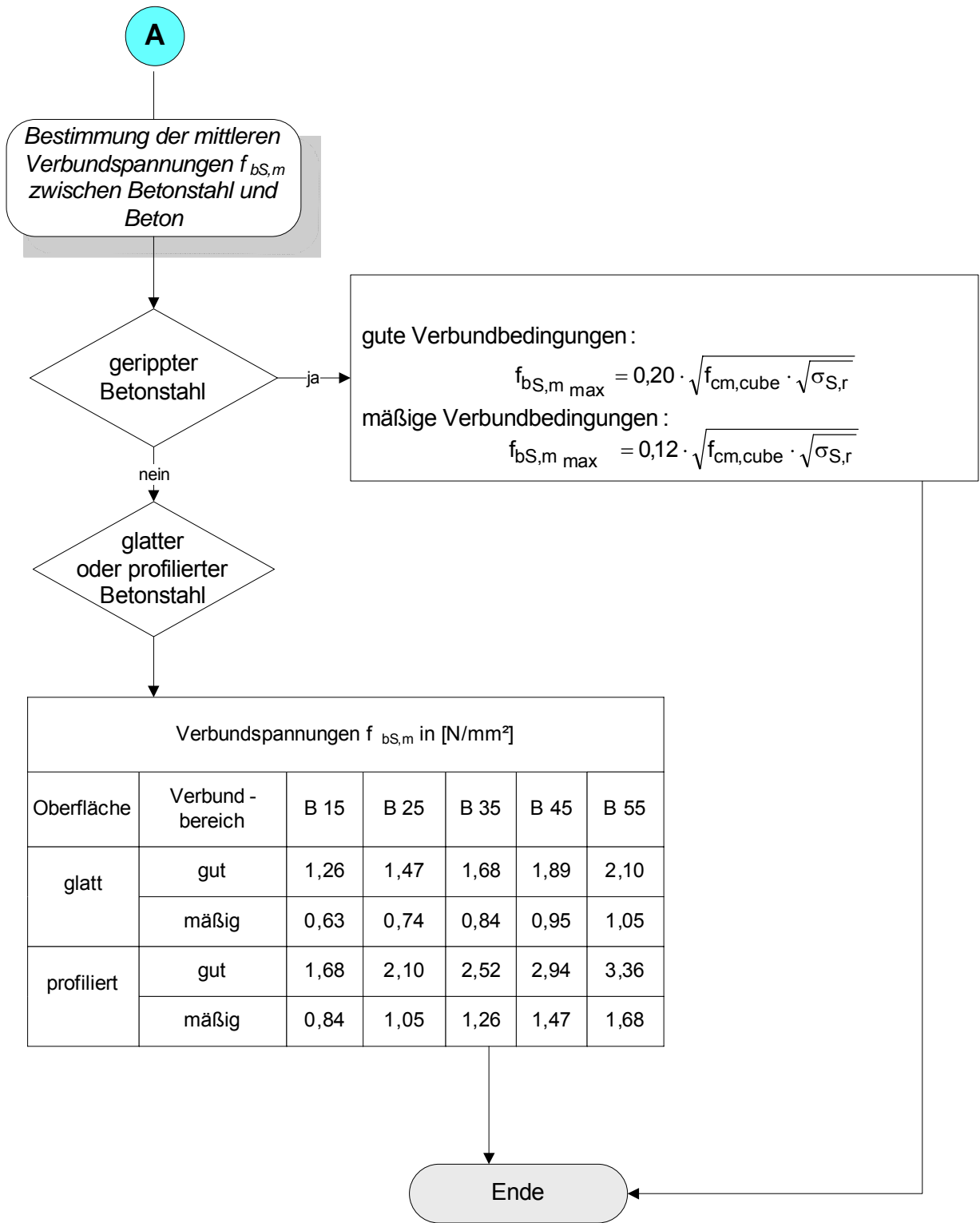
Bild 6: Lage des betrachteten Zwischenrisselements

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahlaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2, Blatt 12 / 16**  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

→ **Teilschema A** für die Nachweise nach Abschnitt 2.4.1.1 – Nachweis der Verbundtragfähigkeit über Innenstützen (Bestimmung des Rissbildes)

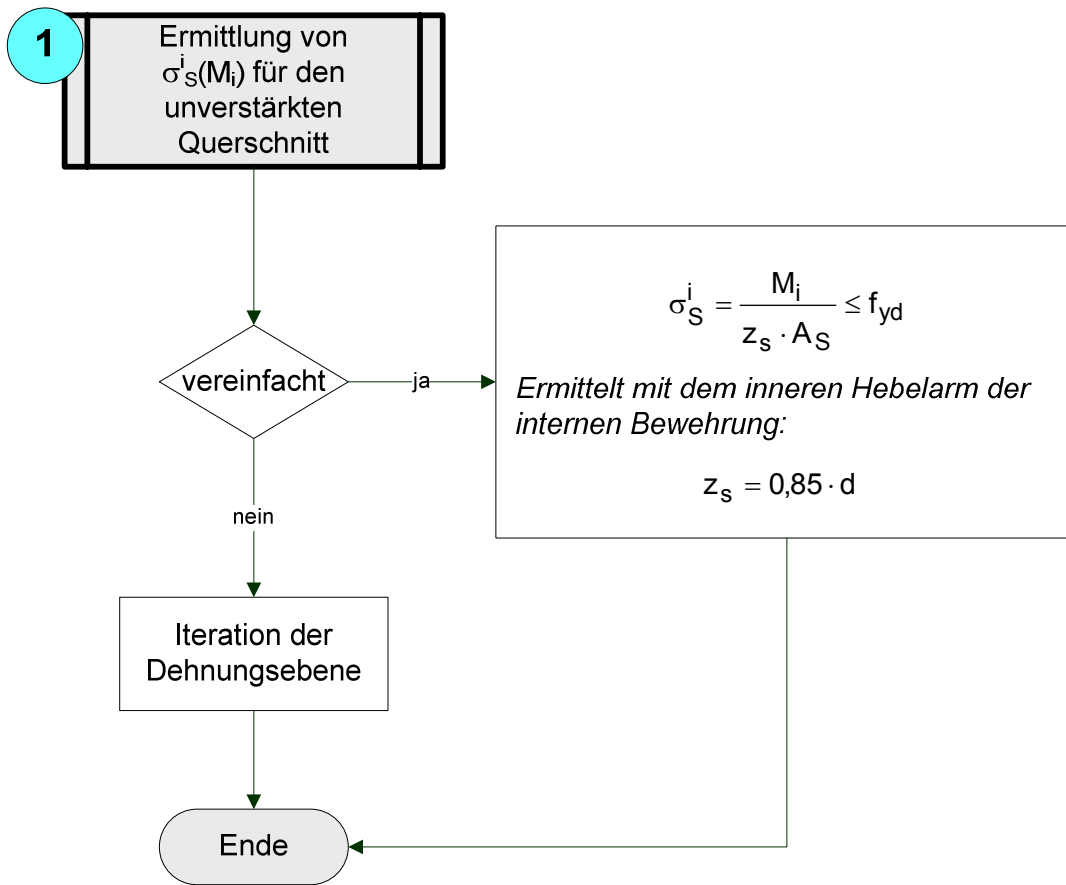


**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahlaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2, Blatt 13 / 16**  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

→ **Teilschema 1** für die Nachweise nach Abschnitt 2.4.1.1 - Nachweis der Verbundtragfähigkeit über Innenstützen (Bestimmung des Rissbildes)

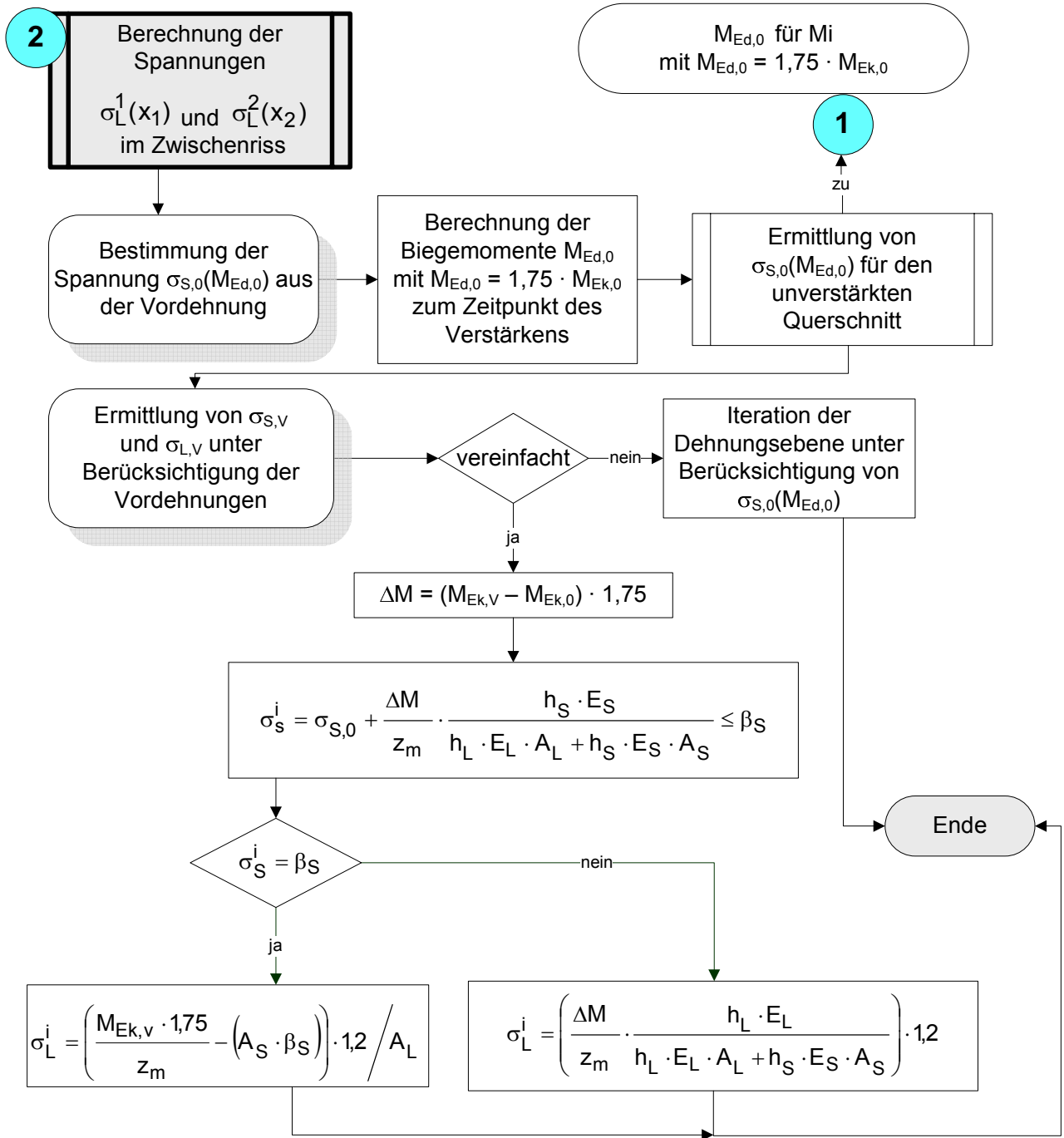


**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahlaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2**, Blatt 14 / 16  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

→ **Teilschema 2** nur für den Nachweis nach Abschnitt 2.4.1.2 - Nachweis der Verbundtragfähigkeit über Innenstützen (Bestimmung des Verbundwiderstandes)



**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahlaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2, Blatt 15 / 16**  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom

## Erläuterungen zu den Flussdiagrammen:

### Materialkennwerte

#### Beton

$f_{cm,cube}$  - Mittelwert der Würfeldruckfestigkeit des zu verstärkenden Bauwerks nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen"

#### Betonstahlbewehrung

$\beta_s$  - Streckgrenze des Betonstahls  
 $E_s$  - Elastizitätsmodul für Betonstahl

#### Klebebewehrung

$E_L$  - 210.000 N/mm<sup>2</sup>

### Geometrische Größen

#### Querschnittswerte

$z_s$  - innerer Hebelarm bei Berücksichtigung des Betonstahls  
 $z_m$  - mittlerer innerer Hebelarm von Betonstahl und Klebebewehrung  
 $h_L$  - statische Nutzhöhe der Klebebewehrung  
 $h_s$  - statische Nutzhöhe des Betonstahls  
 $A_L$  - Querschnittsfläche der Klebebewehrung  
 $A_s$  - Querschnittsfläche des Betonstahls

### Systemkenngrößen

$M_i$  - Moment im betrachteten Schnitt  
 $M_{Ed,V}$  - Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments im verstärkten Zustand  
 $M_{Ek,V}$  - charakteristischer Wert des einwirkenden Biegemoments im verstärkten Zustand  
 $M_{Ed,0}$  - Bemessungswert des einwirkenden Biegemoment während des Verstärkens  
 $M_{Ek,0}$  - charakteristischer Wert des einwirkenden Biegemoment während des Verstärkens

### Beanspruchungen

$\sigma_{s,r}$  - Betonstahlspannung unter Wirkung des Rissmoments  
 $\sigma_L^i$  - Stahllaschenspannung im Riss i  
 $\sigma_s^i$  - Betonstahlspannung im verstärkten Zustand im Riss  
 $f_{bs,m}$  - mittlere Verbundspannung zwischen Betonstahl und Beton

**Musteranlage**

**Bemessung  
Stahlaschen  
DIN 1045:1988-07**

**Anlage 2**, Blatt 16 / 16  
zur allgemeinen  
bauaufsichtlichen Zulassung  
**Z-**  
vom