

Bescheid

über die Änderung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung vom

12. Juni 2008

Deutsches Institut für Bautechnik
ANSTALT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

Zulassungsstelle für Bauprodukte und Bauarten
Bautechnisches Prüfamt

Mitglied der Europäischen Organisation für
Technische Zulassungen EOTA und der Europäischen Union
für das Agrément im Bauwesen UEAtc

Tel.: +49 30 78730-0
Fax: +49 30 78730-320
E-Mail: dibt@dibt.de

Datum: 29. September 2008
Geschäftszeichen: I 11-1.36.1-22/08

Zulassungsnummer:

Z-36.12-63

Geltungsdauer bis:

**vom 1. Oktober 2008
bis 31. Dezember 2009**

Antragsteller:

MC-Bauchemie Müller GmbH & Co.
Am Steinberg 5, 45133 Essen

Zulassungsgegenstand:

**Verstärken von Betonbauteilen
durch schubfest aufgeklebte Kohlefaserlamellen MC-DUR**



Dieser Bescheid ändert die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-36.12-63 vom 12. Juni 2008. Dieser Bescheid umfasst zwei Seiten und zwei Anlagen. Er gilt nur in Verbindung mit der oben genannten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung und darf nur zusammen mit dieser verwendet werden.

ZU II: BESONDERE BESTIMMUNGEN

Die Besonderen Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung werden wie folgt geändert:

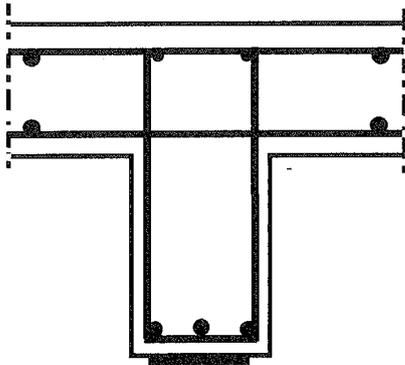
Die Anlagen 1 und 2 werden durch die Anlagen 1A und 2A ersetzt.

Dipl.-Ing. Jasch

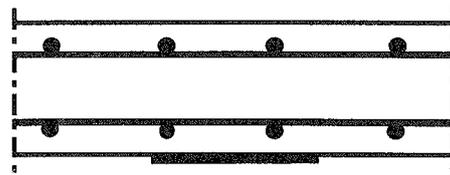


Verstärkung ohne Schublaschen

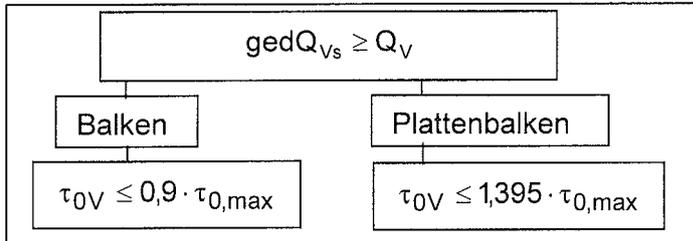
Balken / Plattenbalken



Platte



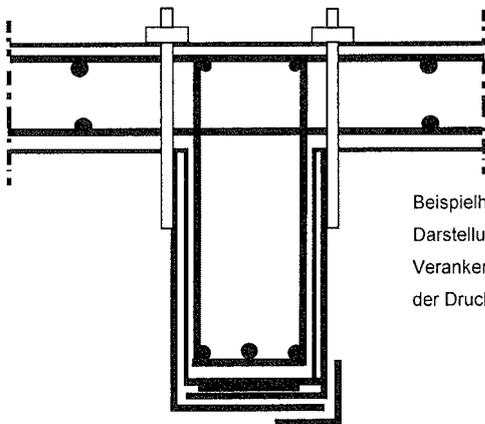
$$\tau_{0V} \leq \begin{cases} \tau_{011}(\text{Zeile 1b}) \\ \tau_{0,max} \text{ nach Anlage 2} \end{cases}$$



$\tau_{0,max}$ nach Anlage 2 nach den Diagrammen 1 bis 5

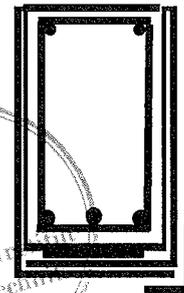
Verstärkung mit Schublaschen aus Stahl S 235J2 nach DIN 10 025-2:2005-04

Fall 1 Balken / Plattenbalken



Beispielhafte Darstellung der Verankerung in der Druckzone

Fall 2 Balken



$gedQ_{Vs} < Q_V$	oder	$gedQ_{Vs} \geq Q_V$	und
$gedQ_{Vs} \geq Q_V$	und	$\tau_{012} \leq \tau_{0V} \leq \tau_{02}$	oder
Klebeverbund nach Anlage 2, Abschnitt 2.5, Fall 2, nicht ausreichend			
		$gedQ_{Vs} \geq Q_V$	und
		$0,9 \cdot \tau_{0,max} \leq \tau_{0V} \leq \tau_{012}$	und
Klebeverbund nach Anlage 2, Abschnitt 2.5, Fall 2, ausreichend			

Grundlagen der Bemessung nach DIN 1045:1988-07¹

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 1045¹, auch für den Nachweis der Druckzone.

2 Bemessung

2.1 Grundlagen

Die Spannungsdehnungslinie der vorhandenen Bewehrung darf als bilinear mit $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$, die der CFK-Lamelle als linear angenommen werden. Werkstoffwerte und Grenzdehnung der CFK-Lamelle 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 η_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 Momententragfähigkeit des unverstärkten Bauteils unter Berücksichtigung des jeweilig vorgeschriebenen Sicherheitsbeiwerts.

2.3 Biegebemessung

Die zur Ermittlung der Bruchschnittgrößen im verstärkten Zustand anzusetzende Lamellengrenzdehnung ε_L ist wie folgt zu bestimmen:

(ε_L ist unter γ -facher Belastung zu ermitteln)

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

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

$$\text{grenz } \varepsilon_L \leq \varepsilon_{Luk} / 2 \quad (4)$$

Für $\eta_B > \gamma$ gilt zusätzlich:

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

mit:

γ globaler Sicherheitsbeiwert $\gamma = 1,75$

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

Biegeverstärkungsgrad



mit:	
M_{EV}	das einwirkende Moment auf das verstärkte Bauteil
M_{Rd0}	Bemessungswert der Momenten Tragfähigkeit 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 ¹ , Bild 12
$k_z = z_L/z_s$	Verhältnis der inneren Hebelarme von Lamelle und Innenbewehrung
$\beta = \epsilon_{s0}/\epsilon_{sy}$	Dehnungsgrad der Bewehrung zum Zeitpunkt der Verstärkung mit Vordehnung der Innenbewehrung zum Zeitpunkt der Verstärkung
ϵ_{s0}	Vordehnung der Innenbewehrung zum Zeitpunkt der Verstärkung
ϵ_{Luk}	siehe Abschnitt 2.1.1 der "Besonderen Bestimmungen"
ϵ_{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 CFK-Lamellen 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 Zuglamellen in Zuggurten gegliederter Querschnitte ist gemäß DIN 1045¹, 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:

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

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

mit:

b_L Lamellenbreite in mm

t_L Lamellendicke in mm

E_{Lk} Elastizitätsmodul des CFK-Werkstoffs nach Abschnitt 2.1.1 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm²

$f_{ctm,surf}$ Rechenwert der Oberflächenzugfestigkeit des Betons nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm² unter Berücksichtigung des Abschnitts 2.1 dieser Anlage $f_{ctm,surf} \leq 3,0$ N/mm²

$f_{cm,cube}$ Mittelwert der Betondruckfestigkeit nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm²



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

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

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 unverbügeltten Bauteilen (Platten und Plattenbalken): $T_k \geq \text{erf } T_k = 1,2 F_{LE}$ (11)
- bei verbügeltten Bauteilen (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 Lamellenzugkraft im rechnerischen Bruchzustand.

Auf eine Verbügelung des Endbereichs der Lamellen entsprechend Abschnitt 3.1.3 der "Besonderen Bestimmungen" kann verzichtet werden, wenn $\tau_{0V} < \tau_{011}$ (Zeile 1b) und wenn der Verankerungsnachweis der CFK Lamellen Gleichung (11) bzw. (12) mit einem globalen Sicherheitsbeiwert $\gamma = 2,1$ geführt wird. In jedem anderen Fall ist eine Verbügelung des Endbereichs der Lamelle 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 Lamelle unter Annahme einer ebenen Dehnungsverteilung und unter Berücksichtigung des Versatzmaßes entspricht. Sowohl der Bügel B1 als auch der konstruktiv am Lamellenende 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".



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_1 vom Zwischenauflager entfernt, an der Stelle der Maximalwerte von Biegemoment und Querkraft. Bei Berücksichtigung des Abschnitts 15.4.1.2 (1) nach DIN 1045¹ ist das Zwischenrisselement im Abstand des Versatzmaßes v_1 vom Auflagerrand beginnend nachzuweisen. Für dieses Zwischenrisselement ist der Spannungszuwachs $\text{vorh } \Delta\sigma_L^1$ in der CFK-Lamelle zu ermitteln.

Die Spannungen σ_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 1045¹, Bild 11 und Bild 12 für Beton und Betonstahl einstellen (wobei eine vereinfachte Ermittlung bei Biegung ohne Längskraft nach Teilschema 3 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_1 darf vereinfachend wie folgt ermittelt werden:

$$v_1 \approx 0,85 \cdot \frac{h_L \cdot E_L \cdot A_L + h_S \cdot E_S \cdot A_S}{E_L \cdot A_L + E_S \cdot A_S} \quad (I.1)$$

mit:

h_S statische Nutzhöhe des Betonstahls

h_L statische Nutzhöhe der Klebebewehrung

E_L Elastizitätsmodul der CFK-Lamelle, E_L nach Abschnitt 2.1.1 der "Besonderen Bestimmungen"

E_S Elastizitätsmodul für Betonstahl

A_L Querschnittsfläche der Klebebewehrung

A_S Querschnittsfläche des Betonstahls



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

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

$$f_{ct,fl,max} = 1,3 \cdot f_{ctm,surf} \quad (1.2)$$

mit:

$f_{ctm,surf}$ Rechenwert der Oberflächenzugfestigkeit des Betons nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm²

$$M_{cr,max} = f_{ct,fl,max} \cdot W_{c,o} \quad (1.3)$$

mit:

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

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

$$a_{r,max} = \left(1,5 + 0,5 \cdot \frac{A_{E,Gleichstreckenlast}}{A_E} \right) \cdot l_{e,0,max} \quad (1.4)$$

mit:

A_E Auflagerkraft aus der Gesamtlast
 $A_{E,Gleichstreckenlast}$ Auflagerkraft aus der Gleichstreckenlast
 $l_{e,0,max}$ maximale Eintragungslänge von Betonstahl

$$l_{e,0,max} = \frac{M_{cr,max}}{z_s \cdot T} \quad (1.5)$$

mit:

$M_{cr,max}$ maximales Rissmomentes $M_{cr,max}$ nach Gleichung (1.3)
 z_s mittlerer Hebelarm der inneren Kräfte, dieser darf vereinfachend wie folgt angenommen werden:

$$z_s \approx 0,85 \cdot h_s \quad (1.6)$$

mit:

h_s statische Nutzhöhe des Betonstahls

T Verbundkraft je Länge

$$T = \sum_{i=1}^n n_{s_i} \cdot d_{s_i} \cdot \pi \cdot f_{bs,m,max} \quad (1.7)$$

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 \rightarrow **Teilschema A.1** ($f_{bs,m} = f_{bs,m,max}$) 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

\rightarrow **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

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

mit:

σ_L^1, σ_L^2 Lamellenspannung an den Rissen x_1 und x_2

$$\rightarrow \text{Teilschema 3 mit } z_m \approx 0,85 \cdot \frac{h_L \cdot E_L \cdot A_L + h_S \cdot E_S \cdot A_S}{E_L \cdot A_L + E_S \cdot A_S}$$

2.4.1.3 Bestimmung des Verbundwiderstands

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

mit:

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

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

mit:

E_L Elastizitätsmodul der CFK-Lamellen

t_L Lamellendicke

G_f Verbundbruchenergie

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

mit:

f_{blk} charakteristische Verbundspannung zwischen Beton und Klebebewehrung

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

mit:

$f_{ctm,surf}$ Rechenwert der Oberflächenzugfestigkeit des Betons nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm^2 unter Berücksichtigung des Abschnitts 2.1 dieser Anlage
 $f_{ctm,surf} \leq 3,0 N/mm^2$

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

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

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

σ_L^1 Lamellenspannung am Riss x_1 nach Abschnitt 2.4.1.2

f_{kL} charakteristischer Wert der Zugfestigkeit der CFK-Lamellen

2.4.1.4 Nachweis

Der Nachweis der Zugkraftdeckung ist erbracht, wenn:

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



2.5 Querkraftnachweis und –bemessung (für Innenstütz- und Feldbereiche)

Es gelten die Regelungen von DIN 1045¹ mit den folgenden zusätzlichen Festlegungen. Der Schubbereich 3 darf nicht angewandt werden.

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

$$\tau_{0V} = \frac{Q_V}{\text{erf} \eta_B \cdot z_m} \left[1 + (\text{erf} \eta_B - 1) \frac{s_L}{b_L + 2(d - x)} \right] \leq \begin{cases} \tau_{011}(b) \\ \tau_{0,max} \text{ nach Diagrammen 1 bis 5} \end{cases} \quad (13)$$

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 1045¹, Abschnitt 17.5.2.

$\text{erf} \eta_B$ erforderlicher Biegeverstärkungsgrad

s_L Lamellenabstand

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 Lamellenbreite

d Plattenhöhe (siehe Bild 2)

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

$\tau_{011}(b)$ τ_{011} nach DIN 1045¹, Tabelle 13, Zeile 1b

$\tau_{0,max}$ nach Diagrammen 1 bis 5

mit

β_w Betondruckfestigkeitsklasse – entspricht der Nennfestigkeit des β_{wN} nach DIN 1045¹

μ_L Längsbewehrungsgrad

mit

$$\mu_L = \frac{A_s}{b \cdot h_s}$$

mit:

A_s Fläche der Zugbewehrung, die Klebeverstärkung darf dabei nicht berücksichtigt werden

b kleinste Querschnittsbreite

h_s statische Nutzhöhe der Biegebewehrung im Querschnitt

a_r Rissabstand [m] Ermittlung nach \rightarrow **Teilschema A**, bei Berücksichtigung einer Vordehnung bzw. Lamellendehnung $\epsilon_L \neq 8,5 \text{ ‰}$ darf für a_r auch der modifizierte Rissabstand $a_{r,mod}$ eingesetzt werden:

$$a_{r,mod}: \quad a_{r,mod} = a_r \cdot \frac{\epsilon_L}{0,0085} + \frac{w_{t=0}}{0,0085}$$

mit:



$w_{t=0}$ vorhandene Rissbreite zum Zeitpunkt der Verklebung [m]
 ϵ_L Rechenwert der Lamellendehnung im verstärkten Zustand

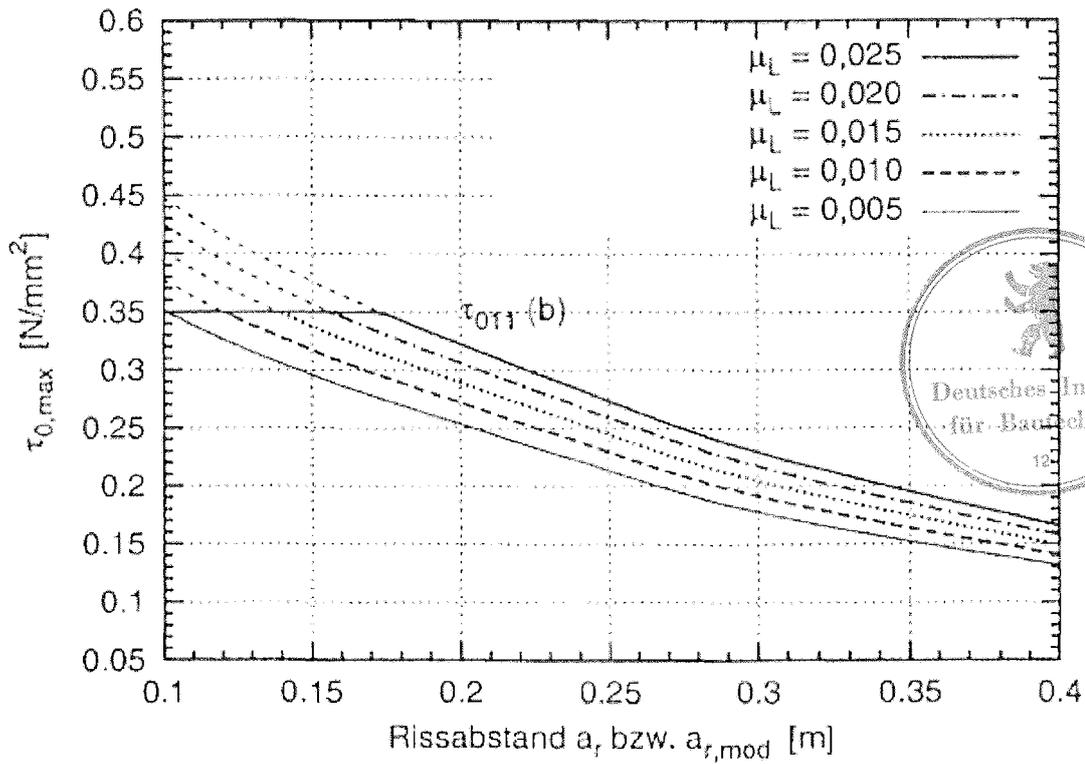


Diagramm 1: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\epsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 15 \frac{N}{mm^2}$

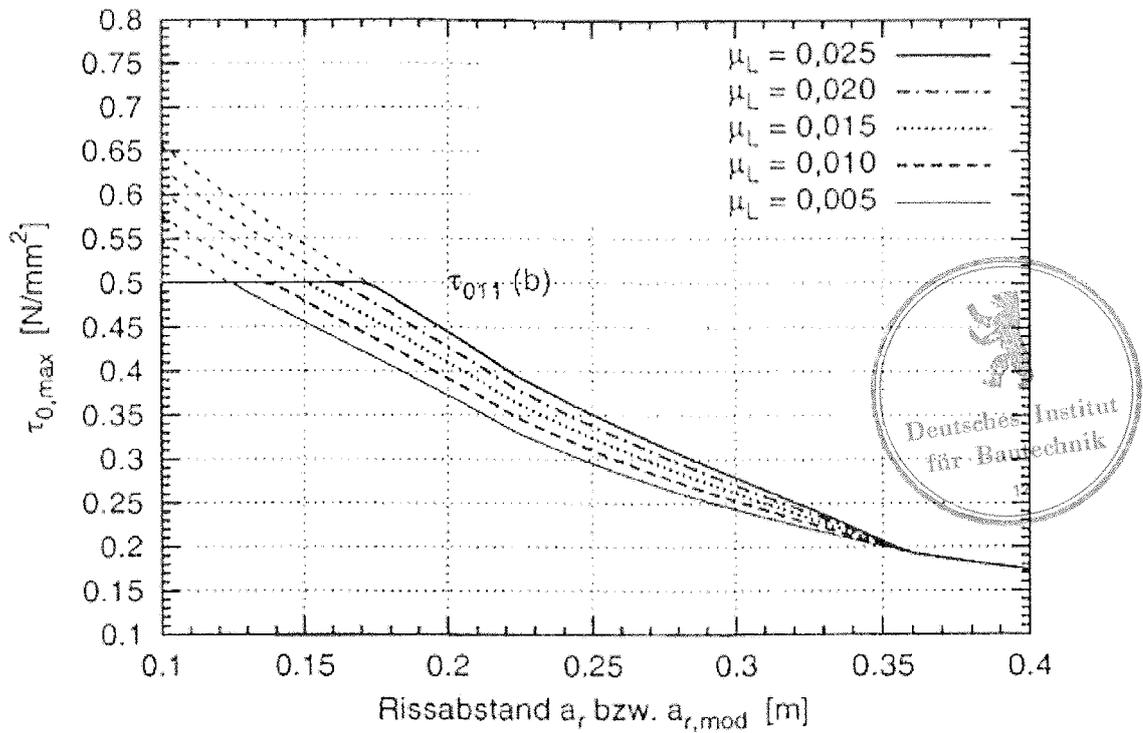


Diagramm 2: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\varepsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 25 \frac{N}{mm^2}$

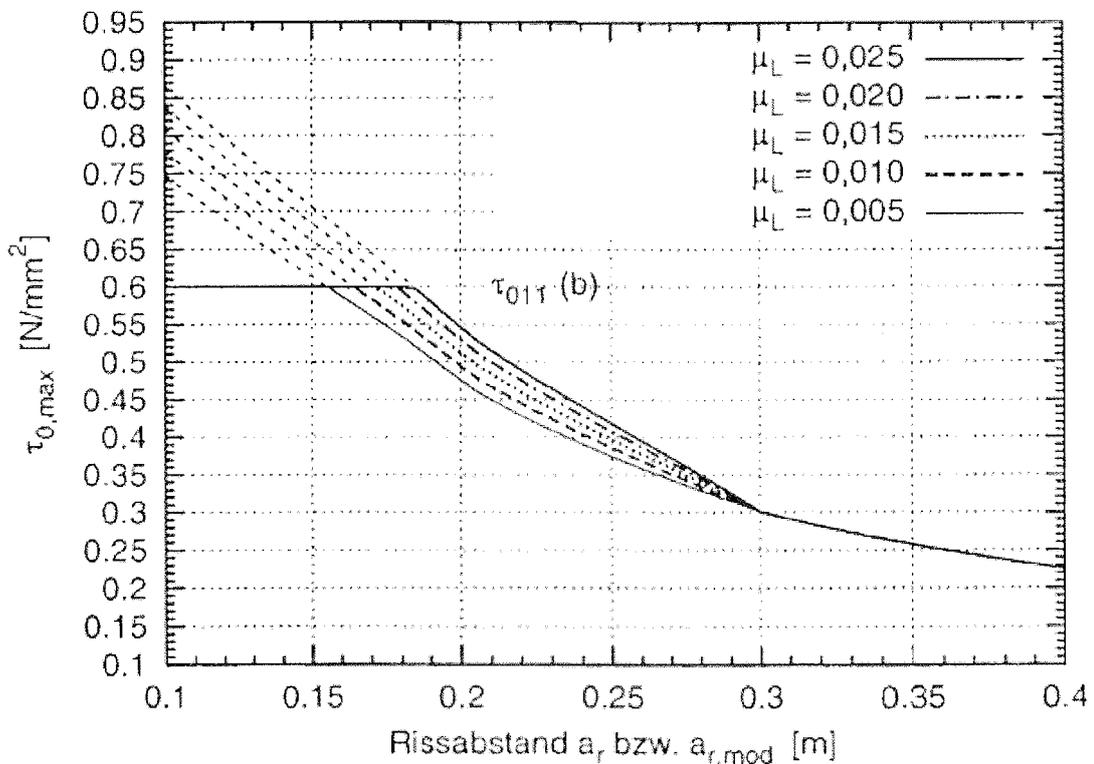


Diagramm 3: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\varepsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 35 \frac{N}{mm^2}$

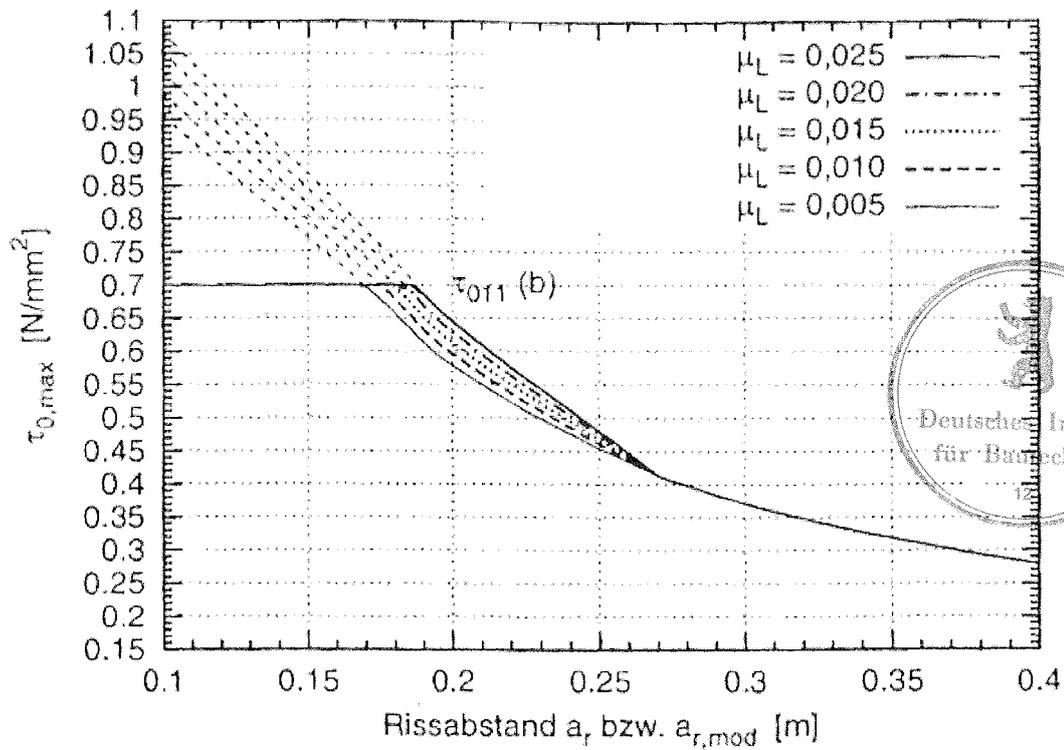


Diagramm 4: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\epsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 45 \frac{N}{mm^2}$

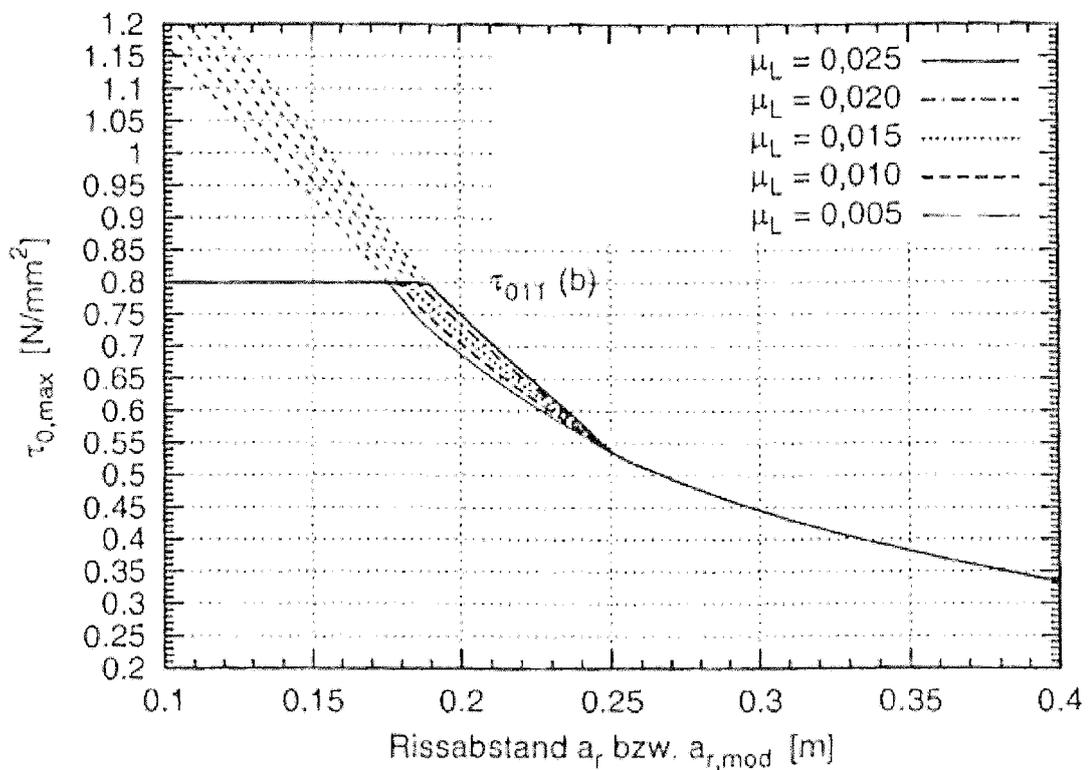


Diagramm 5: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\epsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 55 \frac{N}{mm^2}$

Bei Balken und Plattenbalken wird der Grundwert τ_{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 Lamelle.

Der Bemessungswert τ ist wie folgt zu ermitteln:

$$\tau = (1 - \nu) \cdot \tau_{0V} \quad (14.1)$$

mit:

ν ist nach den nachfolgenden Diagrammen 6 bis 10 zu ermitteln

mit:

τ_0 entspricht τ_{0V} nach Gleichung (14)

a_r Rissabstand [m] Ermittlung nach \rightarrow **Teilschema A**, bei Berücksichtigung einer Vordehnung bzw. Lamellendehnung $\varepsilon_L \neq 8,5 \text{ ‰}$ darf für a_r auch der modifizierte Rissabstand $a_{r,mod}$ eingesetzt werden:

$$a_{r,mod}: \quad a_{r,mod} = a_r \cdot \frac{\varepsilon_L}{0,0085} + \frac{w_{t=0}}{0,0085} \leq a_r$$

mit:

$w_{t=0}$ vorhandene Rissbreite zum Zeitpunkt der Verklebung [m]

ε_L Rechenwert der Lamellendehnung im verstärkten Zustand

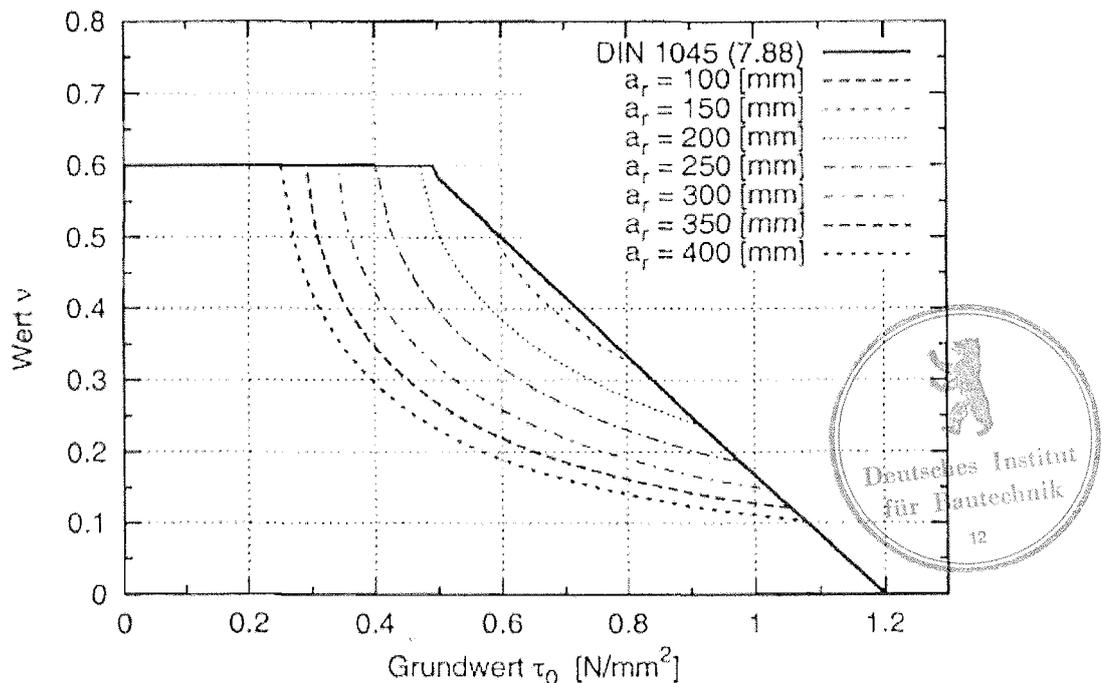


Diagramm 6: Beiwert ν für $\varepsilon_L = 8,5 \text{ ‰}$, $\beta_W = 15 \frac{N}{mm^2}$

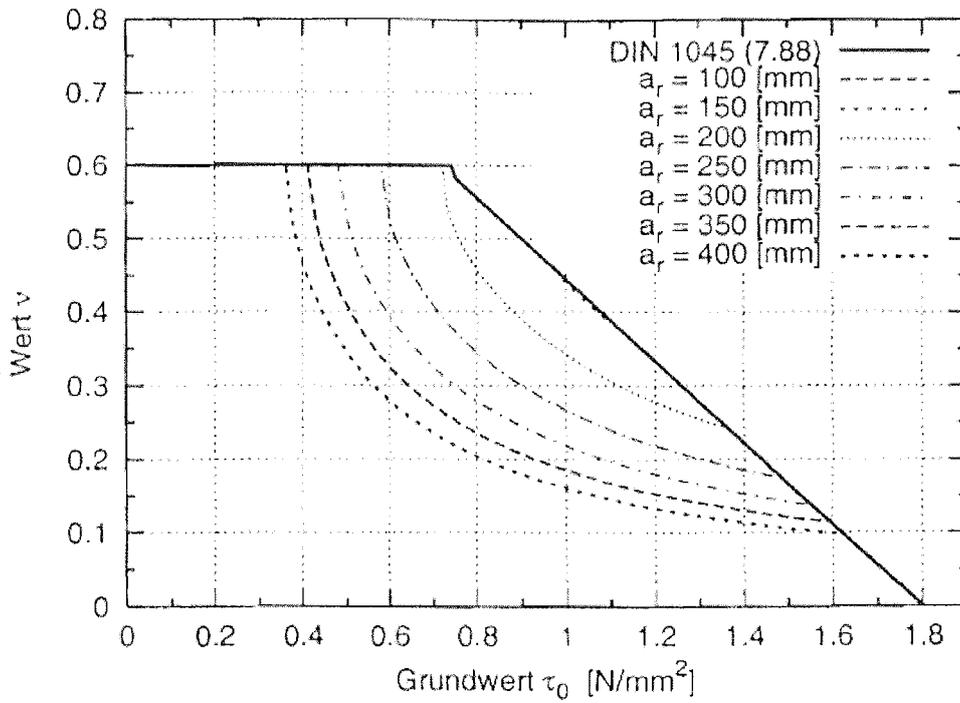


Diagramm 7: Beiwert ν für $\epsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

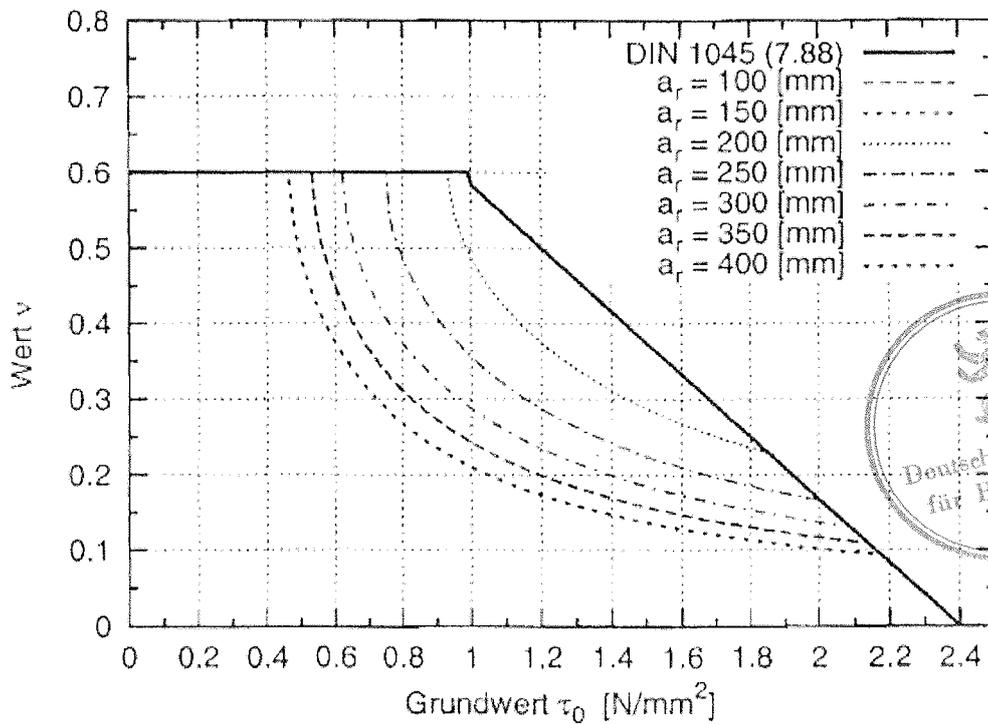


Diagramm 8: Beiwert ν für $\epsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$



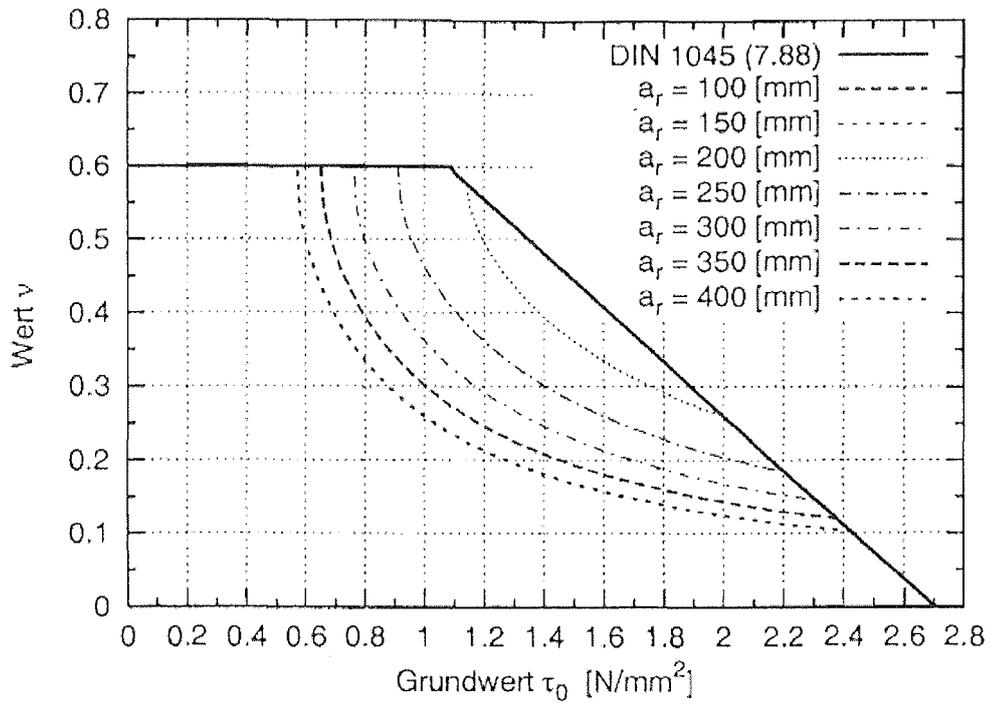


Diagramm 9: Beiwert ν für $\epsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 45 \frac{N}{\text{mm}^2}$

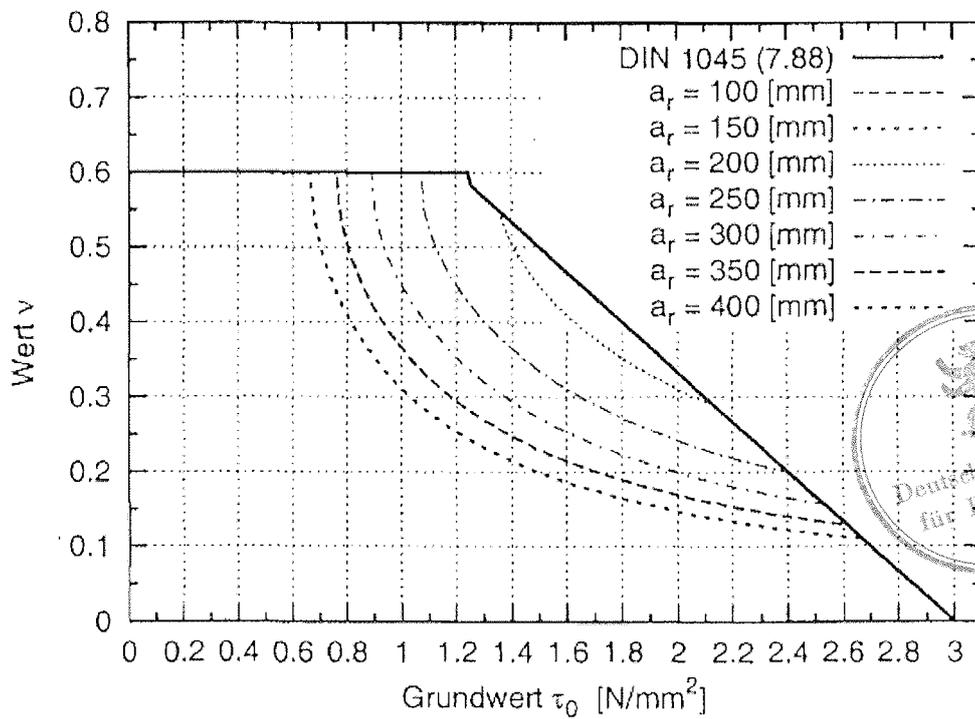
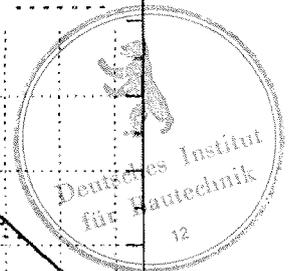


Diagramm 10: Beiwert ν für $\epsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 55 \frac{N}{\text{mm}^2}$



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 für den Schubereich 1 gemäß DIN 1045¹, Abschnitte 17.5.5.2 und für den Schubereich 2 gemäß DIN 1045¹, Abschnitte 17.5.5.3, wobei der Bemessungswert für den Schubereich 2 nach dieser Anlage zu ermitteln ist.

Bei Balken kann bei einer Schubbeanspruchung $\tau_{0V} \leq 0,9 \cdot \tau_{0max}$ (mit τ_{0max} nach den Diagrammen 1 bis 5) und bei Plattenbalken bei einer Schubbeanspruchung $\tau_{0V} \leq 0,9 \cdot (1,55 \cdot \tau_{0max})$ auf Laschenbügel verzichtet werden, sofern die innere Schubbewehrung zur Deckung der Gesamtquerkraft Q_V ausreichend dimensioniert ist (Fall 2).

Übersteigt die Schubbeanspruchung den Wert $0,9 \cdot \tau_{0max}$, ist die durch Laschenbügel abzudeckende Querkraft Q_{VL} nach Gleichung (15) bzw. (16) zu berechnen. Ein Fließen der inneren Betonstahlbewehrung muss bei der Ermittlung von Q_{VL} berücksichtigt werden. Der durch Laschenbügel abzudeckende Schubspannungsanteil τ_{0VL} ist auf $0,7 \cdot \tau_{0max}$ 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:

η_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 Q_{Vs} ist kleiner als die gesamte Querkraft ($Q_{Vs} < Q_V$):

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 ($Q_{Vs} \geq Q_V$):

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.

$$2,1 F_{bü} \leq T_k \quad (17)$$

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.

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

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

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

mit:

$F_{b\ddot{u}}$ 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

E_{bk} Elastizitätsmodul des Bügels in N/mm^2

$f_{ctm,surf}$ Rechenwert der Oberflächenzugfestigkeit des Betons nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" in N/mm^2 unter Berücksichtigung des Abschnitts 2.1 dieser Anlage $f_{ctm,surf} \leq 3,0 \text{ N/mm}^2$

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

Hinsichtlich Anordnung und zulässiger Abstände der Bügel 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 unverbügelten Bauteilen (Platten und Plattenbalken): $0,6 \cdot T_k \geq \text{erf } T_k = 1,2 F_{LE} \quad (25)$
- bei verbügelten Bauteilen (Balken): $0,6 \cdot T_k \geq \text{erf } T_k = F_{LE} \quad (26).$



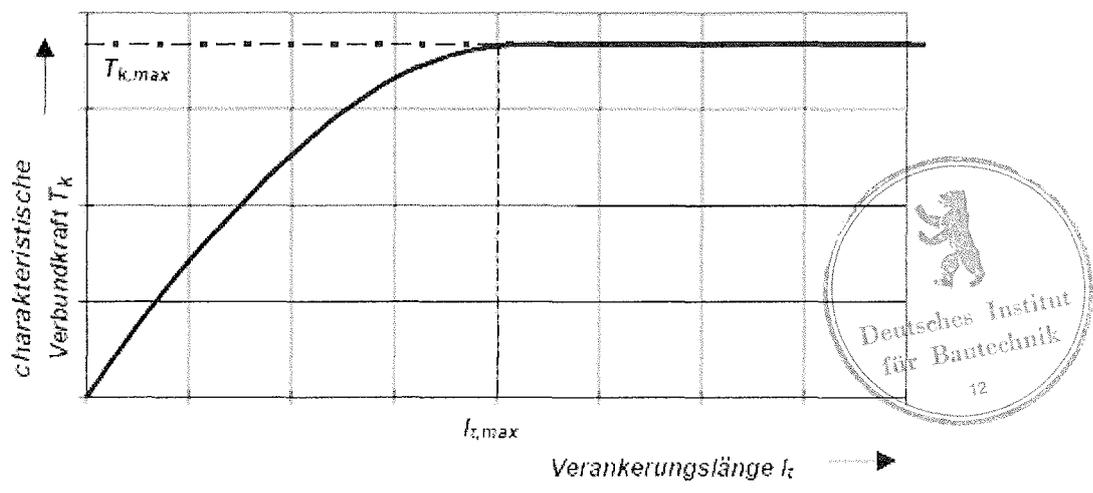


Bild 1: Zusammenhang zwischen der charakteristischen Verbundbruchkraft und der Verankerungslänge (Qualitativ)

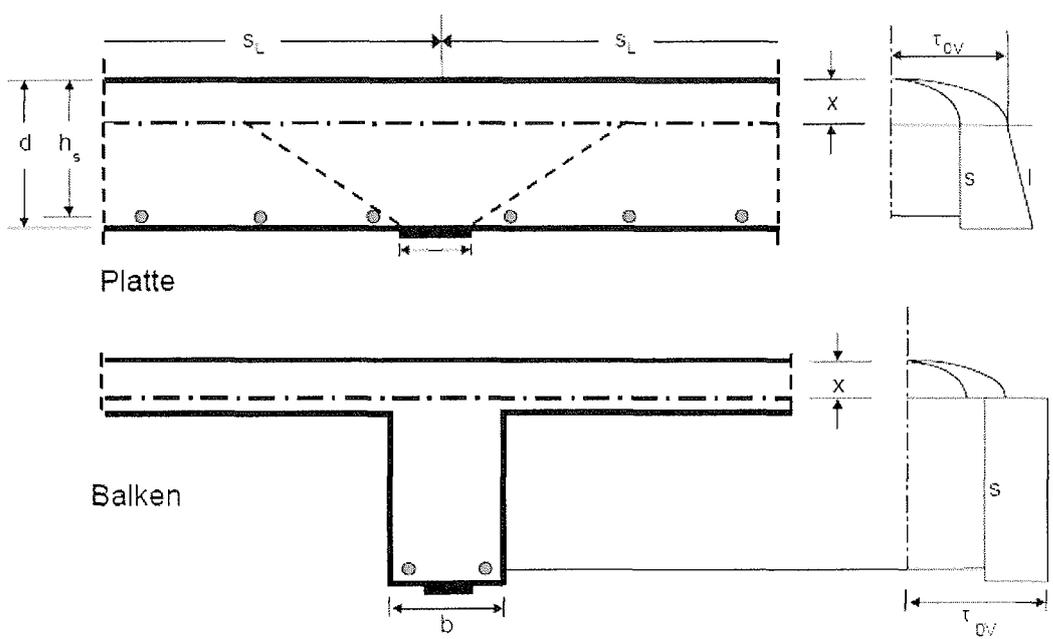


Bild 2: Schubspannungen des verstärkten Bauteils im Gebrauchszustand

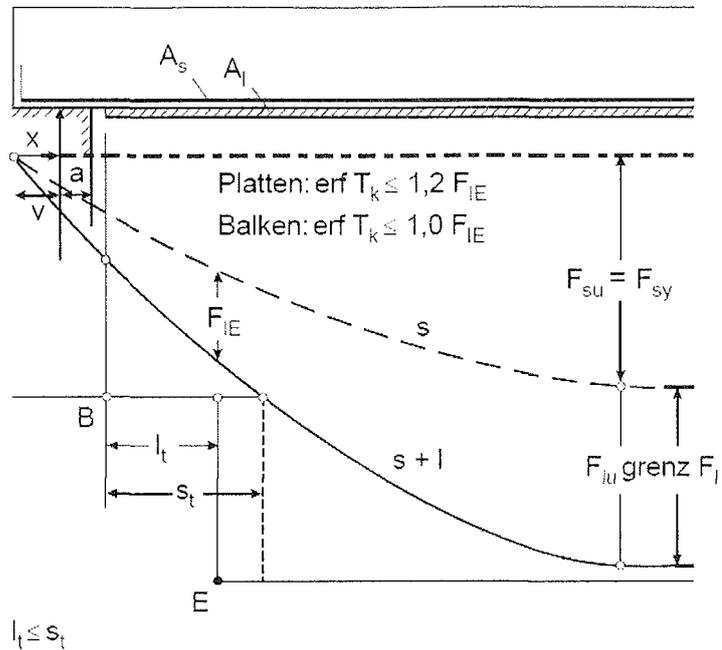


Bild 3: Zugkraftdeckung und Lamellenverankerung an Endauflagern

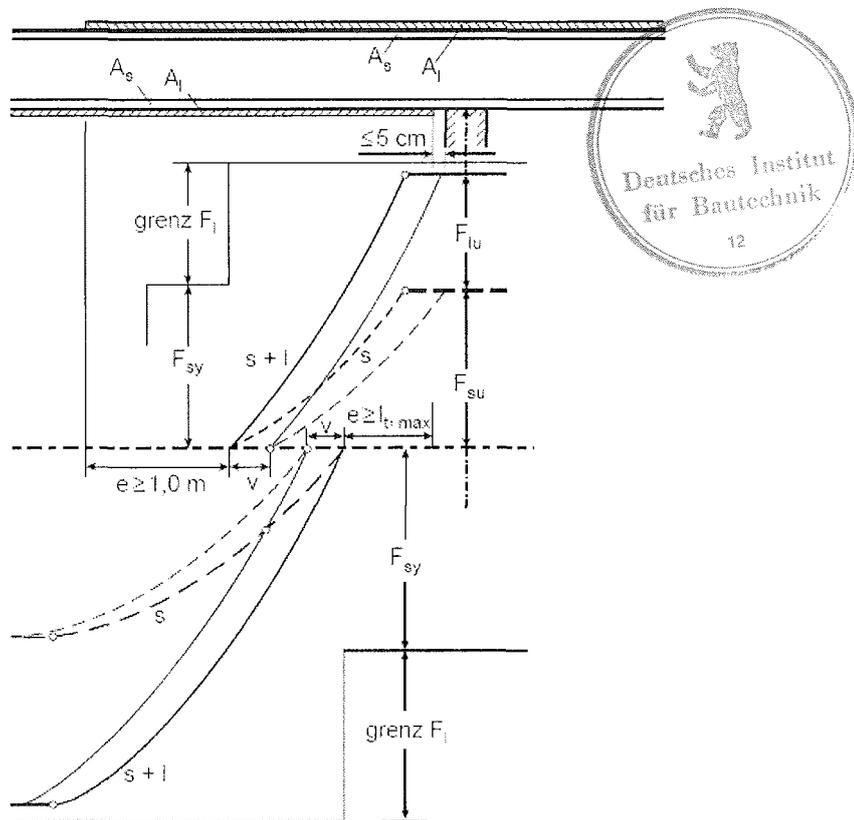
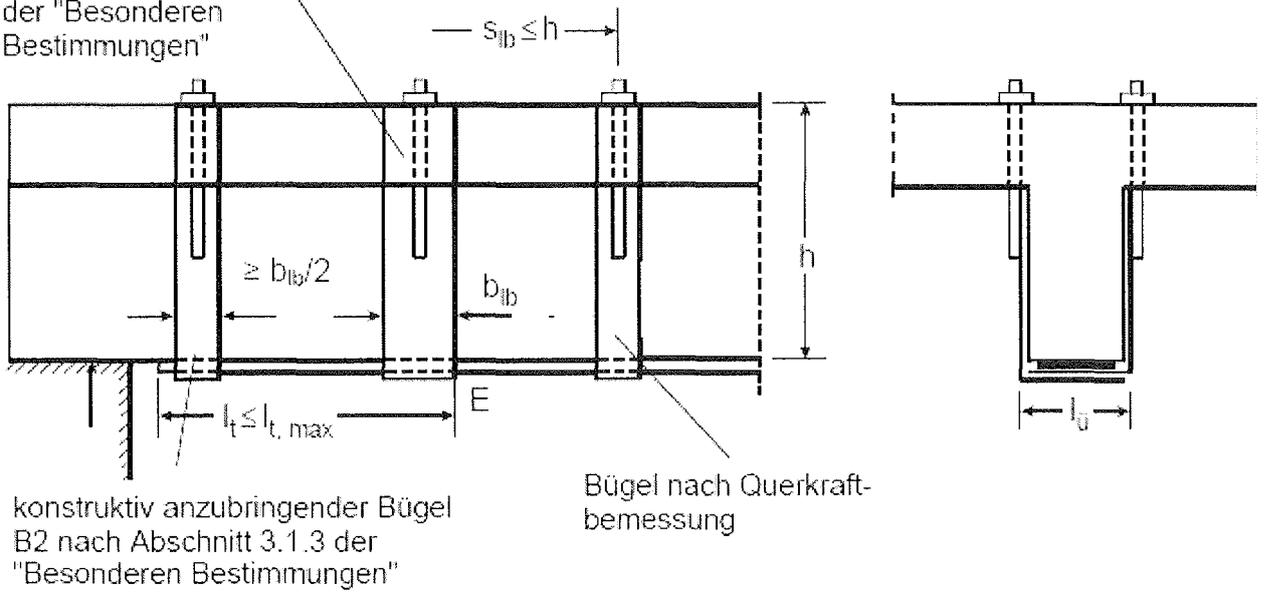


Bild 4: Lamellenverankerung an Innenauflagern

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 Lamellenverankerung (Beispiel für Bügelverankerung in der Druckzone)

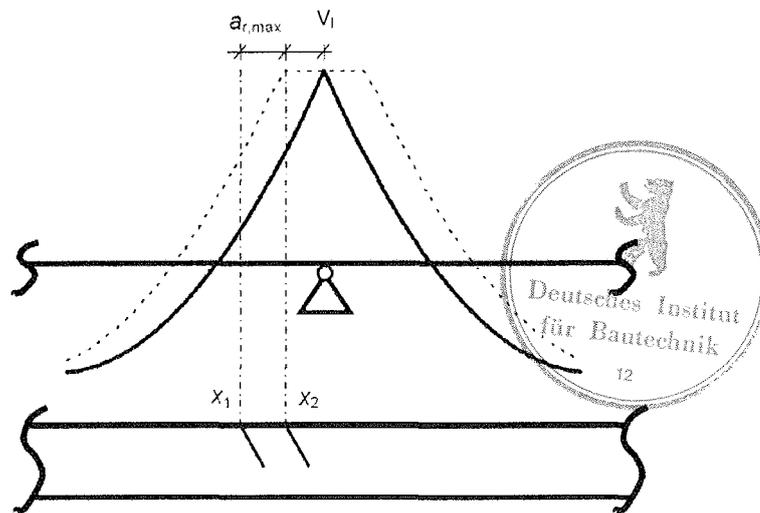
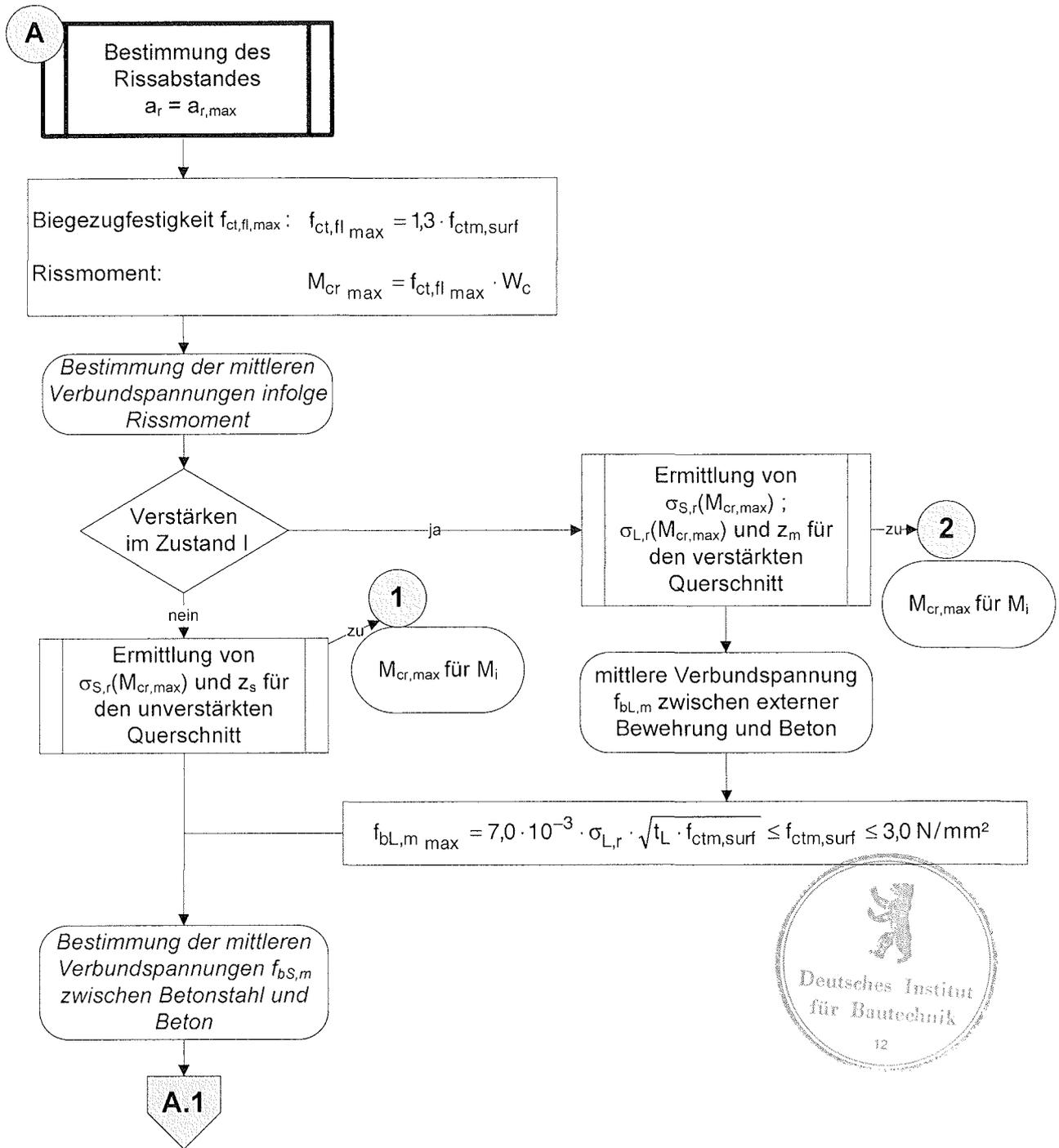


Bild 6: Lage des betrachteten Zwischenrisselements

Flussdiagramme zur Ermittlung des Rissabstandes a_r :

→ **Teilschema A** für den Nachweis nach 2.5 – Querkraftnachweis und –bemessung

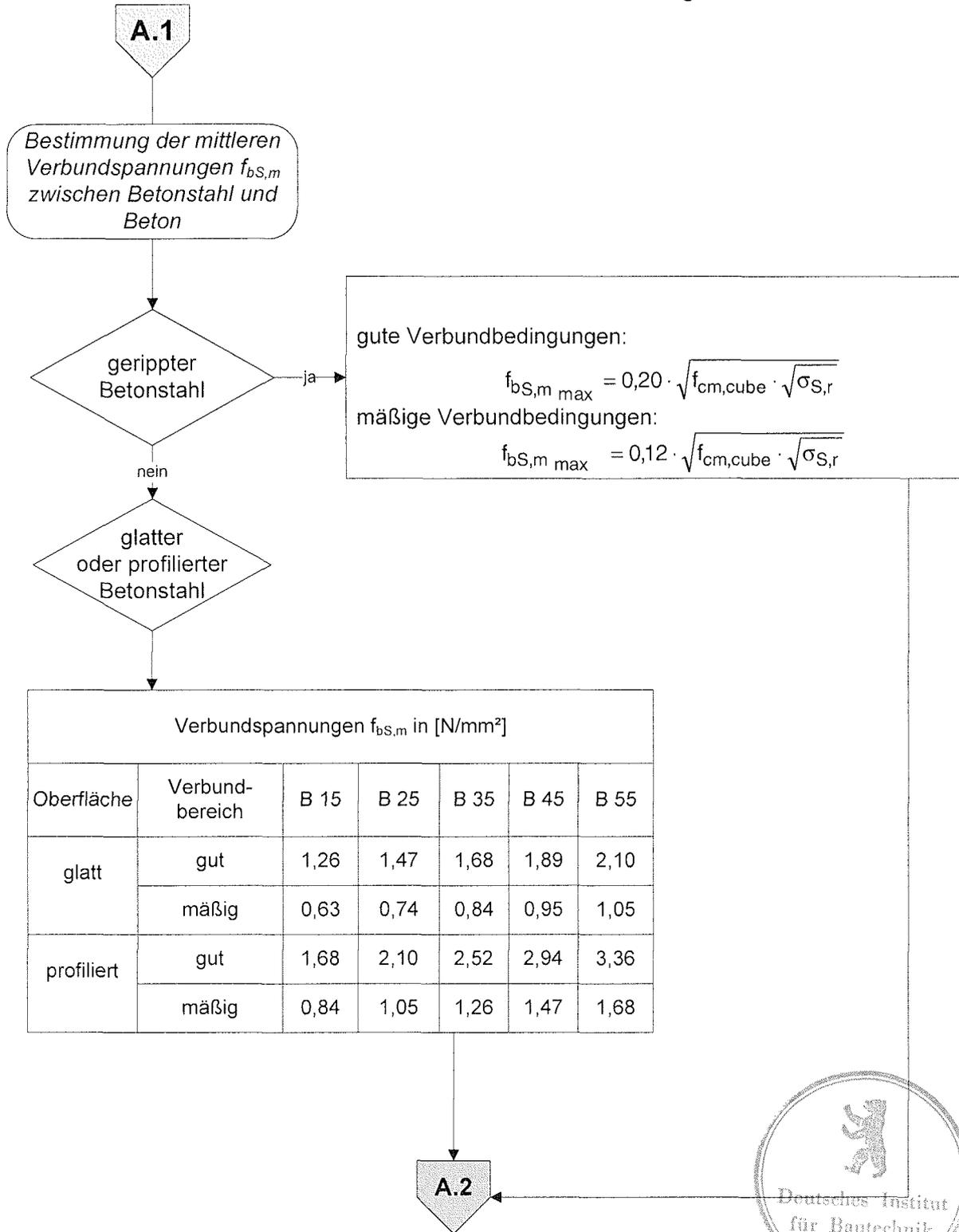


Teilschema A.1

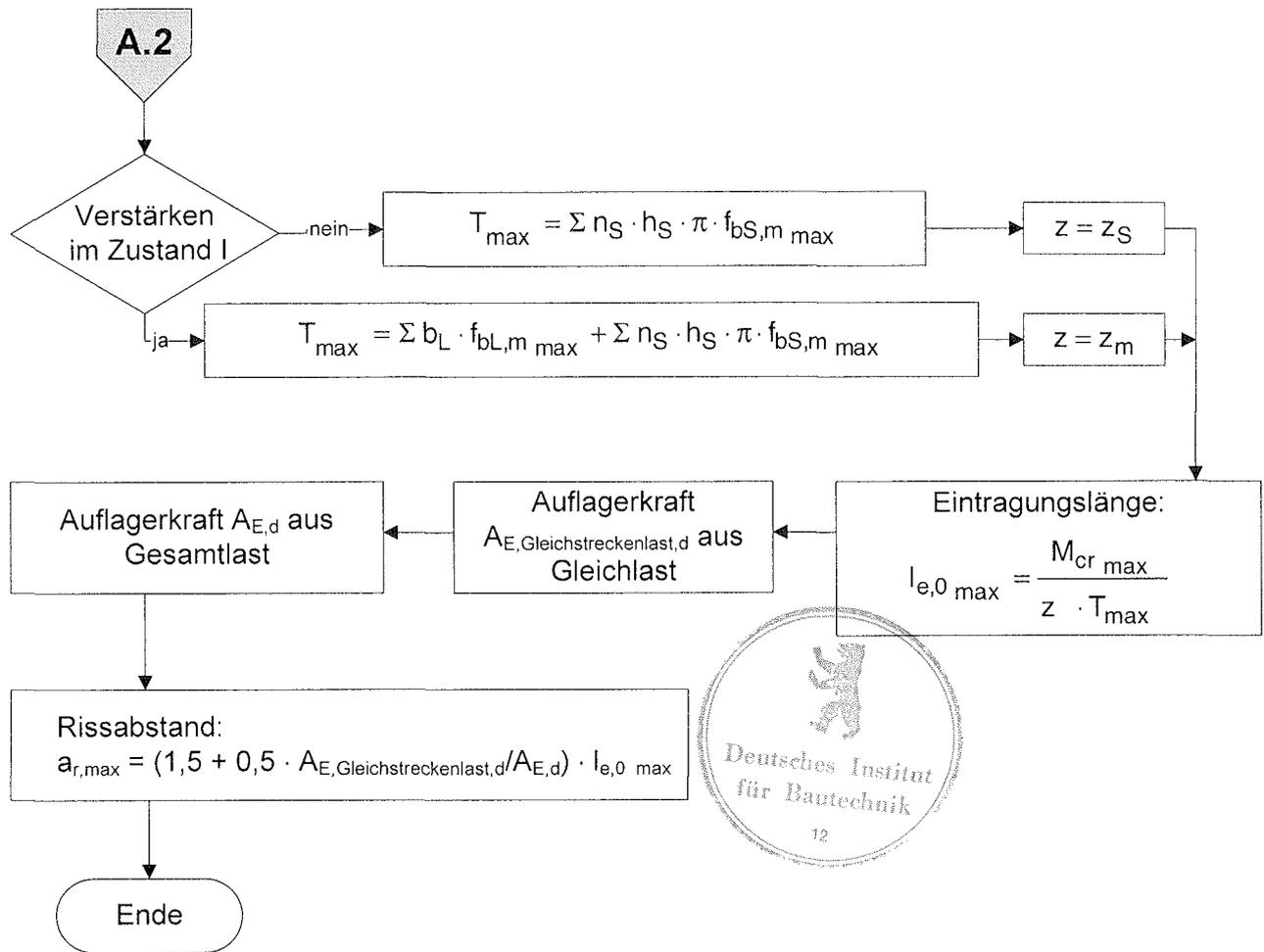
für die Nachweise nach den Abschnitten

2.4.1.1 – Nachweis der Verbundtragfähigkeit über Innenstützen (Bestimmung des Rissbildes) und

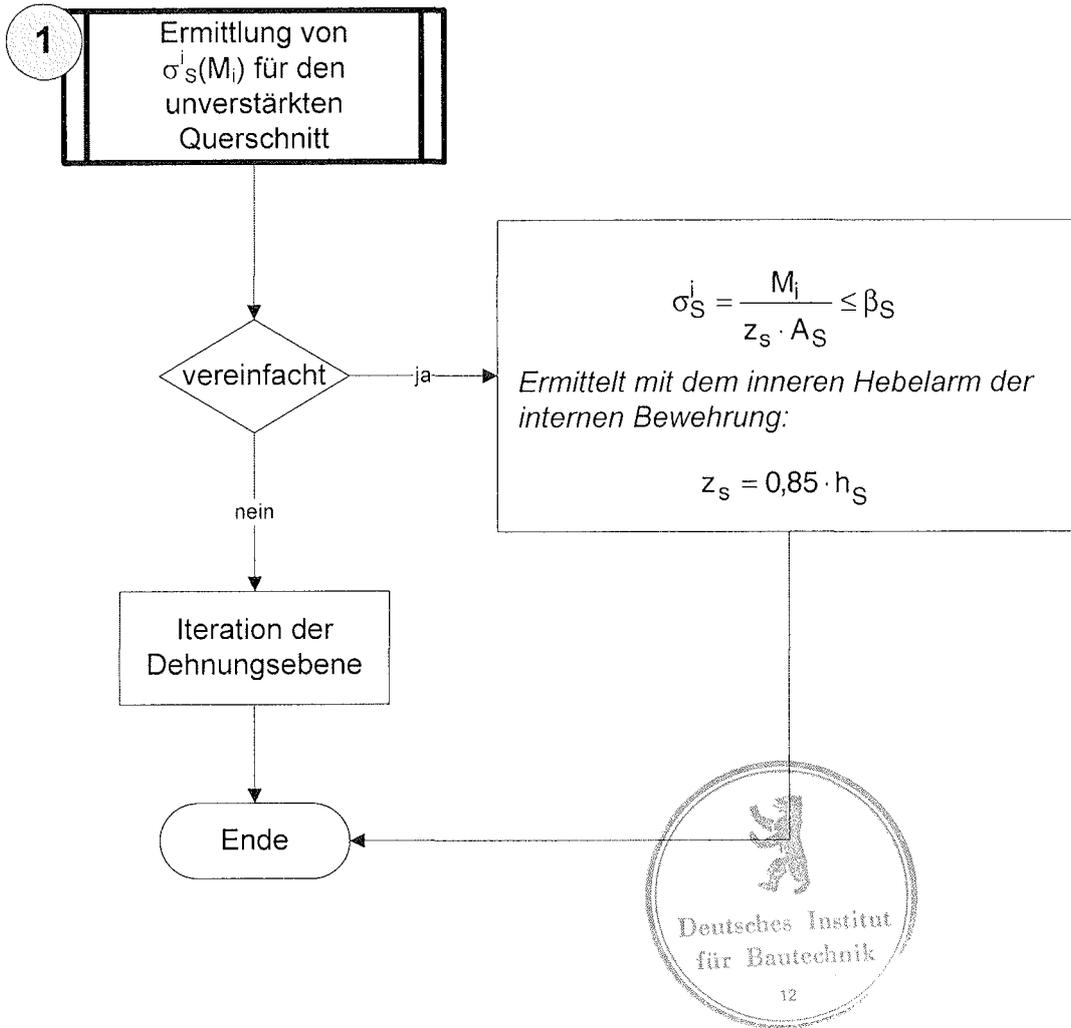
2.5 - Querkraftnachweis und -bemessung



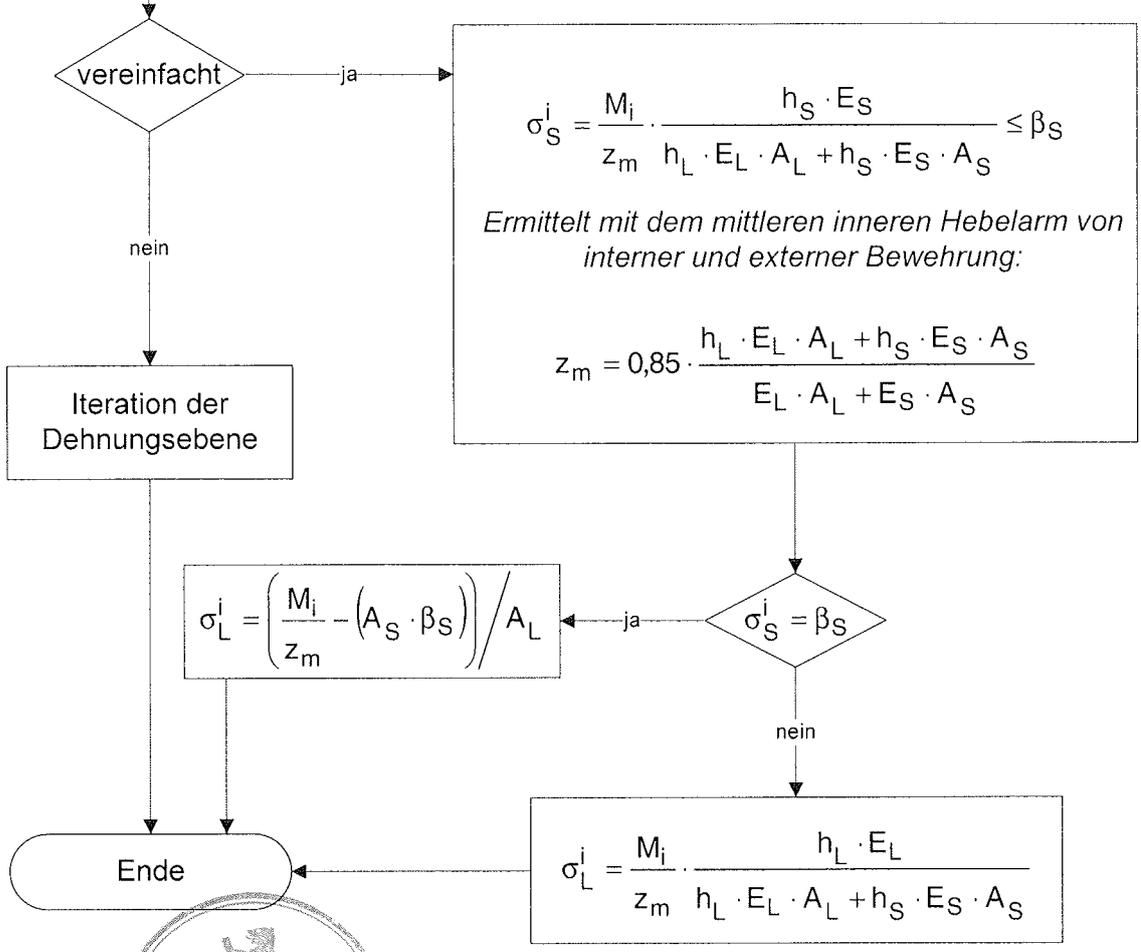
→ **Teilschema A2** für den Nachweis nach 2.5 - Querkraftnachweis und -bemessung



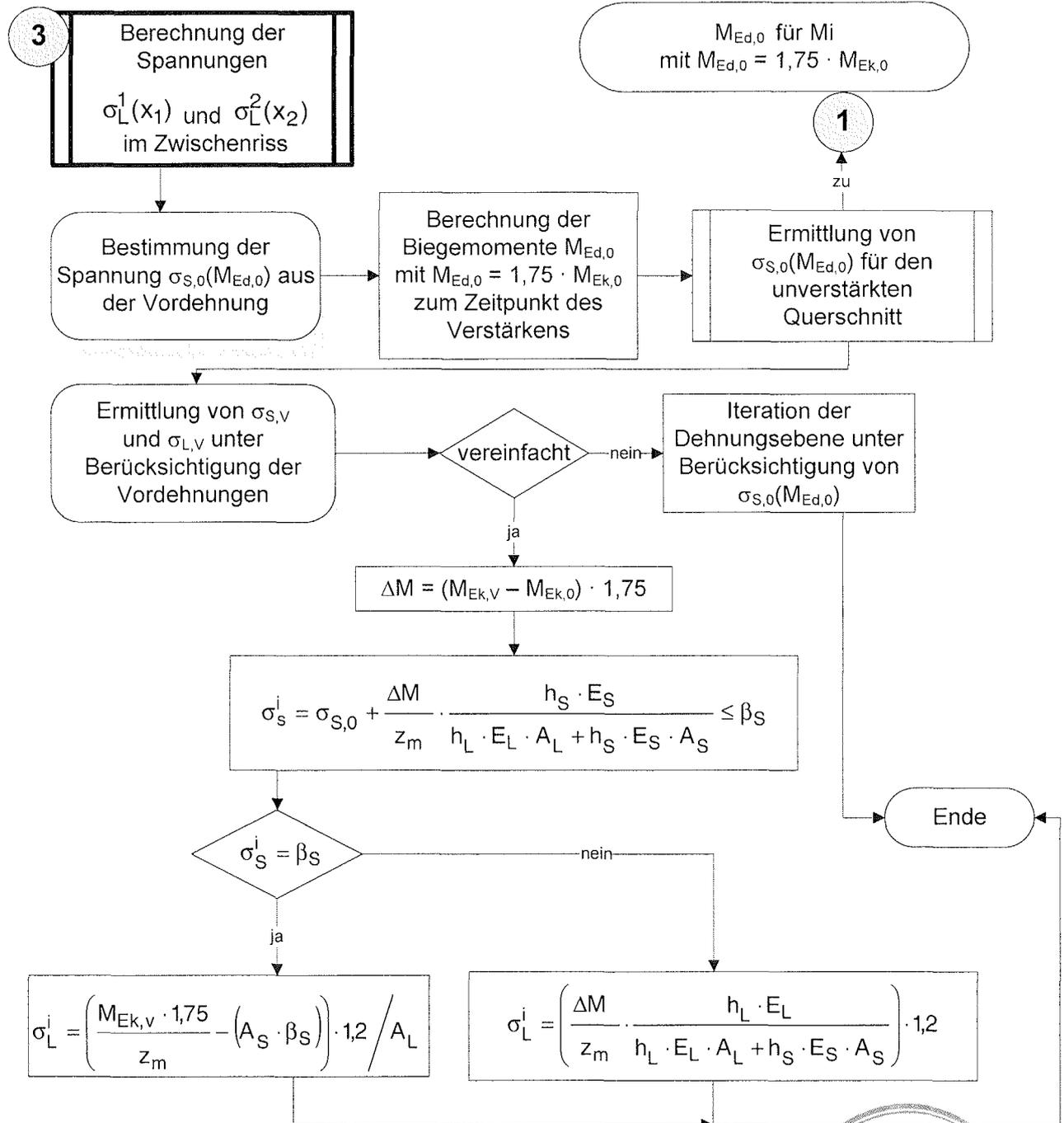
→ **Teilschema 1** für die Nachweise nach den Abschnitten
 2.4.1.1 – Nachweis der Verbundtragfähigkeit über Innenstützen (Bestimmung
 des Rissbildes) und
 2.5 - Querkraftnachweis und -bemessung



2 Ermittlung von $\sigma_S^i(M_i)$ und $\sigma_L^i(M_i)$ für den verstärkten Querschnitt



→ **Teilschema 3** für den Nachweis über Innenstützen nach Abschnitt 2.4.1.2 - (Bestimmung des Verbundwiderstandes)



Erläuterungen zu den Flussdiagrammen:

Materialkennwerte

Beton

- $f_{cm,cube}$ - Mittelwert der Würfeldruckfestigkeit des zu verstärkenden Bauwerks nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen"
- $f_{ctm,surf}$ - Mittelwert der Oberflächenzugfestigkeit des zu verstärkenden Bauwerks
- $f_{ct,fl,max}$ - Biegezugfestigkeit (oberer Wert) des zu verstärkenden Bauwerks

Betonstahlbewehrung

- β_s - Streckgrenze des Betonstahls
- E_s - Elastizitätsmodul für Betonstahl
- d_s - Durchmesser der Bewehrungsstäbe der Biegezugbewehrung
- n_s - Anzahl der Bewehrungsstäbe der Biegezugbewehrung

Klebebewehrung

- E_L - Elastizitätsmodul der Klebeverstärkung
- t_L - Dicke der Klebeverstärkung
- b_L - Breite der Klebeverstärkung

Verbundkennwerte

- T_{max} - maximaler Zugkraftzuwachs pro Verbundlängereinheit

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
- W_c - Widerstandsmoment des Betonquerschnitts
- a_l - Versatzmaß



Systemkenngrößen

- $A_{E,d}$ - Auflagerkraft aus dem Bemessungswert der Gesamteinwirkungen
- $A_{E,Gleichstreckenlast,d}$ - Auflagerkraft aus dem Bemessungswert der Einwirkungen aus Gleichstreckenlast
- 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
- M_{cr} - Rissmoment
- $M_{cr,max}$ - maximales Rissmoment
- $l_{e,0}$ - Eintragungslänge unter Wirkung des Rissmoments
- $a_{r,max}$ - maximaler Rissabstand

- $x_{cr,max}$ - Abstand der Stelle, an der bei maximaler Biegezugfestigkeit die Risschnittgröße erreicht wird, zum Momentennullpunkt
- x_{max}^a - maximaler Abstand des äußersten Biegerisses zum Momentennullpunkt
- $x_{max,i}$ - maximaler Abstand der diskreten Risslagen

Beanspruchungen

- $\sigma_{s,r}$ - Betonstahlspannung unter Wirkung des Rissmoments
- $\sigma_{L,r}$ - Lamellenspannung unter Wirkung des Rissmoments
- σ_L^i - Lamellenspannung im Riss i
- σ_s^i - Betonstahlspannung im verstärkten Zustand im Riss
- $f_{bs,m}$ - mittlere Verbundspannung zwischen Betonstahl und Beton
- $f_{bL,m}$ - mittlere Verbundspannung zwischen Klebebewehrung und Beton

1 DIN 1045:1988-07

Beton- und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung

