

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

Anstalt des öffentlichen Rechts

10829 Berlin, 29. September 2008

Kolonnenstraße 30 L

Telefon: 030 78730-314

Telefax: 030 78730-320

GeschZ.: I 11-1.36.1-4/08

Bescheid

über
die Änderung

der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung vom 22. Januar 2007

Zulassungsnummer:

Z-36.12-57

Antragsteller:

Bilfinger Berger AG
Zentrales Labor für Baustofftechnik
Carl-Reiß-Platz 1-5
68165 Mannheim

Zulassungsgegenstand:

Verstärken von Betonbauteilen durch schubfest aufgeklebte
Kohlefaserlamellen Carboplus

Geltungsdauer:

vom 1. Oktober 2008 bis 31. Dezember 2009

Dieser Bescheid ändert die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-36.1-57 vom 22. Januar 2007. Dieser Bescheid umfasst vier 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:

Der Abschnitt 1 wird wie folgt ersetzt:

1 Zulassungsgegenstand und Anwendungsbereich

1.1 Zulassungsgegenstand

Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erstreckt sich auf vorgefertigte Verstärkungslaschen aus kohlenstofffaserverstärkten Epoxidharzlaminate (CFK-Laminat), genannt "Carboplus® Lamellen", und deren Verwendung bei Verstärkungen von Stahlbetonbauteilen mit oder ohne Schublaschen aus Stahl.

1.2 Anwendungsbereich

Die mit einem für das Ankleben von Kohlefaserlamellen zugelassenen Klebstoff an die Betonbauteile schubfest angeklebten "Carboplus® Lamellen" dürfen zum Nachweis der Tragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen herangezogen werden. Die rechnerische Gesamtragfähigkeit des verstärkten Bauteiles darf nicht größer sein als das Zweifache des unverstärkten Bauteiles.

Bei größeren Schubbeanspruchungen in Betonbalken müssen die Zuglamellen zusätzlich durch Schublaschen aus Stahl umschlossen werden.

Die Lamellen verstärkter Bauteile dürfen ungeschützt nur unter Umweltbedingungen nach DIN 1045¹, Tabelle 10, Zeilen 1 bis 2 mit Ausnahme von Zeile 2, Satz 2 und bei geringer UV Strahlung (keine direkte Sonneneinstrahlung und nicht bei möglicher indirekter Sonneneinstrahlung durch Schnee- und Wasserflächen) verwendet werden. Ist abweichend davon mit starker UV-Strahlung (direkte Sonneneinstrahlung und mögliche indirekter Sonneneinstrahlung durch Schnee- und Wasserflächen) zu rechnen, muss ein geeigneter Schutzanstrich aufgebracht werden.

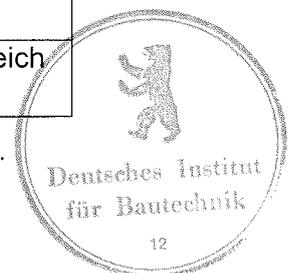
Bei der Anwendung unter Umweltbedingungen nach DIN 1045¹, Tabelle 10, Zeile 3 ist durch das Aufbringen geeigneter Schutzschichten sicherzustellen, dass das Bauteil im Bereich der aufgeklebten CFK-Lamellen nicht einer wechselnden oder dauernden Durchfeuchtung sowie nicht einem "schwachen" chemischen Angriff nach DIN 4030-2² ausgesetzt ist.

Im Bereich der Lamellen dürfen kurzzeitig die folgenden Bauteiltemperaturen nicht überschritten werden:

Klebesystem	Bauteiltemperatur
nach Z-36.12-62 der Firma StoCretec GmbH	42 °C
nach Z-36.12-29 der Firma Sika GmbH	43 °C ¹⁾
nach Z-36.12-63 der Firma MC-Bauchemie Müller GmbH & Co	45 °C

¹⁾ Der Primer ist vor der Verklebung der Laschenbügel im Bereich der Klebefuge vollständig zu entfernen.

Langfristig darf die Temperatur von 40 °C nicht überschritten werden.



Wird auf Betonoberflächen geklebt, die mit Mörtel instand gesetzt wurden, darf die Bauteiltemperatur kurz- und langfristig die folgenden Werte nicht überschreiten:

Instandsetzungsmörtel	Bauteiltemperatur
nach Z-36.12-62 der Firma StoCretec GmbH	34 °C
nach Z-36.12-29 der Firma Sika GmbH	38 °C ¹⁾
nach Z-36.12-63 der Firma MC-Bauchemie Müller GmbH & Co	40 °C
¹⁾ Der Primer ist vor der Verklebung der Laschenbügel im Bereich der Klebefuge vollständig zu entfernen.	



Durch angeklebte CFK-Lamellen dürfen vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile verstärkt werden.

Der Abschnitt 2.1.3 wird wie folgt ersetzt:

2.1.3 Schublaschen, Ankerschrauben

Sofern zusätzliche Schublaschen erforderlich sind, müssen diese aus Stahl der Sorte S 235J2 nach DIN EN 10025-2³ bestehen. Ankerschrauben müssen die Festigkeit 4.6, 5.6, 8.8 oder 10.9 besitzen.

Der Abschnitt 3.1.1.3 wird wie folgt ersetzt:

3.1.1.3 Lamellenstoß

Geklebte Lamellen dürfen durch Überlappung stumpf gestoßen werden, wenn die Stoßfuge in einem Bereich angeordnet wird, in dem die vorhandene Lamellenzugkraft höchstens 60 % der aufnehmbaren Lamellenzugkraft nach Gleichung (7) der Anlage 2 beträgt. Der Stoß zwischen Lamellen darf als geklebter Übergreifungsstoß ausgebildet werden. Die Übergreifungslänge kann mit Gleichung (8) der Anlage 2 für $f_{ctm} = 3,0 \text{ N/mm}^2$ bestimmt werden.

Der Abschnitt 3.1.1.4 wird wie folgt ersetzt:

3.1.1.4 Zugkraftdeckung und Lamellenverankerung

Für jedes Bauteil sind die versetzte Zugkraft- und die Zugkraftdeckungslinie für den rechnerischen Bruchzustand darzustellen (siehe Bilder 3 und 4 der Anlage 2). Bei der Verankerung der Zuglamellen ist ein Einschneiden der versetzten Zugkraftlinie nicht zulässig.

Das Lamellenende ist mindestens 5 cm an die Auflagerkante zu führen. An Endauflagern ist die erforderliche Verankerungslänge $erf l_t \leq l_{t,max}$ innerhalb der Strecke s_t anzuordnen und für die erforderliche Verbundbruchkraft $erf T_k$ nach Anlage 2, Abschnitt 2.4, Gleichungen (11) bzw. (12) auszulegen.

An Innenstützen durchlaufender Platten und Balken müssen die Lamellenenden im Biegedruckbereich an der Bauteiloberseite mindestens einen Abstand $e \geq 1,0 \text{ m}$ vom Nulldurchgang der versetzten Zugkraftlinie haben. Dennoch ist immer der Nachweis der Verbundtragfähigkeit über Innenstützen nach Anlage 2, Abschnitt 2.4.1 zu führen.

Auf der Bauteilunterseite müssen die Lamellenenden im Biegedruckbereich mindestens einen maximalen Abstand von der Kante der Innenstütze von 5 cm aufweisen. Ein Nachweis der Klebeverbundverankerung gemäß Abschnitt 2.4 der Anlage 2 ist nur erforderlich, wenn der Abstand des Lamellenendes zum Nulldurchgang der versetzten Zugkraftlinie $< 1,0 \text{ m}$ beträgt (siehe Bild 4 der Anlage 2).

Der Abschnitt 3.1.2 wird wie folgt ersetzt:

3.1.2 Laschenbügelbewehrung aus Stahl

Bei Laschenbügeln, die durch einen geklebten Übergreifungsstoß geschlossen werden, kann die erforderliche Übergreifungslänge mit den Gleichungen (8) und (9) nach Anlage 2 mit $f_{ctm} = 3,0 \text{ N/mm}^2$ bemessen werden. Die gewählte Übergreifungslänge $l_{\bar{u}}$ muss mindestens der Breite b_l der Zuglamelle bzw. bei Anordnung mehrerer Zuglamellen deren gesamter Breite entsprechen.

Bei vorwiegend ruhender Beanspruchung darf die in der Druckzone zu verankernde Zugkraft auf 2/3 ihres Rechenwertes abgemindert werden. Bei Bauteilen, die von oben nicht zugänglich sind, darf die Verankerung der Laschenbügel in der Druckzone durch zugelassene Klebeanker erfolgen. Werden Laschenbügel in der Druckzone verankert, darf der Achsabstand benachbarter Laschenbügel nicht größer als die Balkenhöhe sein. Werden Laschenbügel durch Klebeverbund verankert, darf der Achsabstand nicht größer als die halbe Balkenhöhe sein.

Bei Verankerung durch Klebeverbund sind die Laschenbügel konstruktiv mittels Absturzsicherung (z. B. Dübel) für den Brandfall zu sichern.

Der Abschnitt 4.4 wird wie folgt ersetzt:

4.4 Anforderungen an Stahlteile

Für Stahlteile ist Stahl der Sorte S 235J2 nach DIN EN 10025-2³ zu verwenden, für Ankerschrauben die Festigkeitsklassen 4.6, 5.6, 8.8 oder 10.9.

Ungeprimerte Laschenbügel und andere zu klebende Konstruktionselemente müssen unmittelbar vor Klebstoffauftrag den Reinheitsgrad Sa 3 nach DIN EN ISO 12944-4⁴ aufweisen.

Falls die Vorbereitung der Stahlklebeflächen von Laschenbügeln in der Werkstatt, d. h. nicht unmittelbar vor dem Verkleben auf der Baustelle erfolgt, sind die gestrahlten Oberflächen unverzüglich mit einem für den Klebstoff zugelassenen Primer zu beschichten.

Schweißarbeiten dürfen nur von Werken vorgenommen werden, die im Besitz eines Nachweises entsprechend DIN 18800-7⁵ (kleiner Eignungsnachweis) sind.

Schweißarbeiten an verklebten Laschenbügeln sind nicht zulässig.

Die Stahllaschenbügel sind nach dem Einbau gemäß Korrosionsschutzklasse III nach DIN EN ISO 12944-4⁴ zu schützen. Für Sonderbelastungen müssen die Korrosionsschutzsysteme auf den Anwendungsfall abgestimmt werden.

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

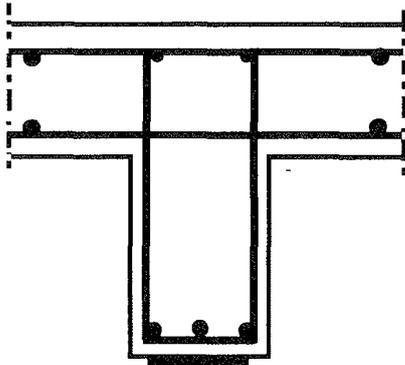
Dipl.-Ing. Jasch



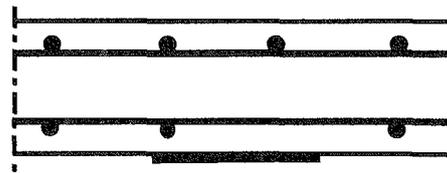
1	DIN 1045:1988-07	Beton- und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung
2	DIN 4030-2: 008-06 -	Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben
3	DIN EN 10025-2:2005-04	Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle; Deutsche Fassung EN 10025-2:2004
4	DIN EN ISO 12944-4:1998-07	Beschichtungssysteme - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 4: Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitung (ISO 12944-4:1998); Deutsche Fassung EN ISO 12944-4:1998
5	DIN 18800-7:1983-05	Stahlbauten - Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation

Verstärkung ohne Schublaschen

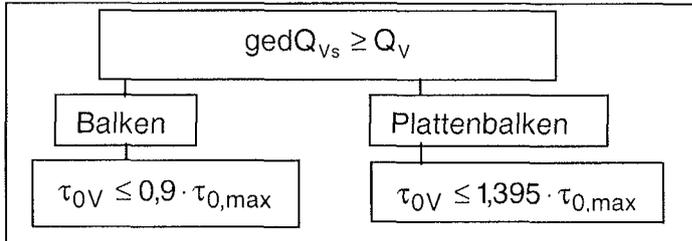
Balken / Plattenbalken



Platte ●



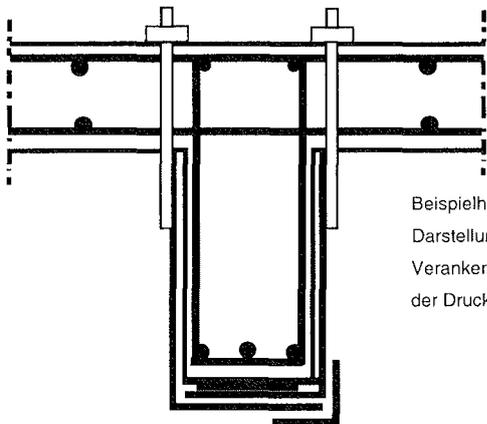
$$\tau_{0V} \leq \begin{cases} \tau_{011}(\text{Zeile 1b}) \\ \tau_{0,max} \text{ nach Anlage 2} \end{cases}$$



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

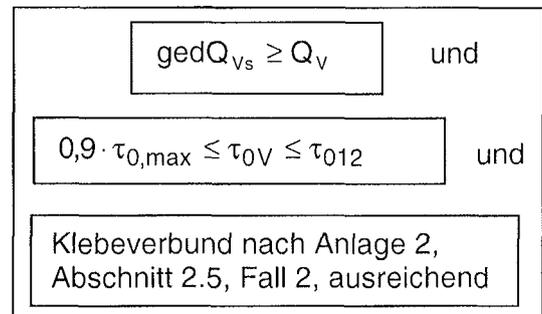
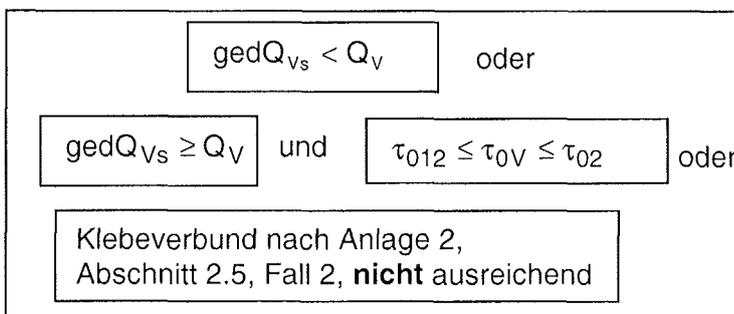
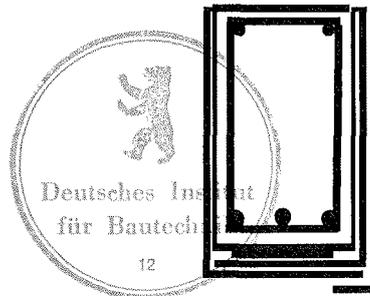
Verstärkung mit Schublaschen aus Stahl S 235J2 nach DIN 10 025-2:2005-04

Fall 1 Balken / Plattenbalken



Beispielhafte Darstellung der Verankerung in der Druckzone

Fall 2 Balken



BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Übersicht
Schubverstärkung
CFK-Laschen

Anlage 1A
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57
vom 29. September 2008

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




BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach
DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 1 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57
vom 29. September 2008

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 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
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:

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

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

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

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



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_l 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_l 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_l darf vereinfachend wie folgt ermittelt werden:

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

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




BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach

DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 4 / 26

zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57

vom 29. September 2008

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

$$T = \sum_{i=1}^n n_{s_i} \cdot d_{s_i} \cdot \pi \cdot f_{bS,m,max}$$

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.




BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach

DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 5 / 26

zur allgemeinen
 bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57

vom 29. September 2008

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:

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




BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach

DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 6 / 26

zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung

Z-36.12-57

vom 29. September 2008

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:

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

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 überschlägig 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 $\varepsilon_L \neq 8,5 \text{ ‰}$ darf für a_r auch der modifizierte Rissabstand $a_{r,mod}$ eingesetzt werden:

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

mit:



 **BILFINGER BERGER**

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach

DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 7 / 26

zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57

vom 29. September 2008

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

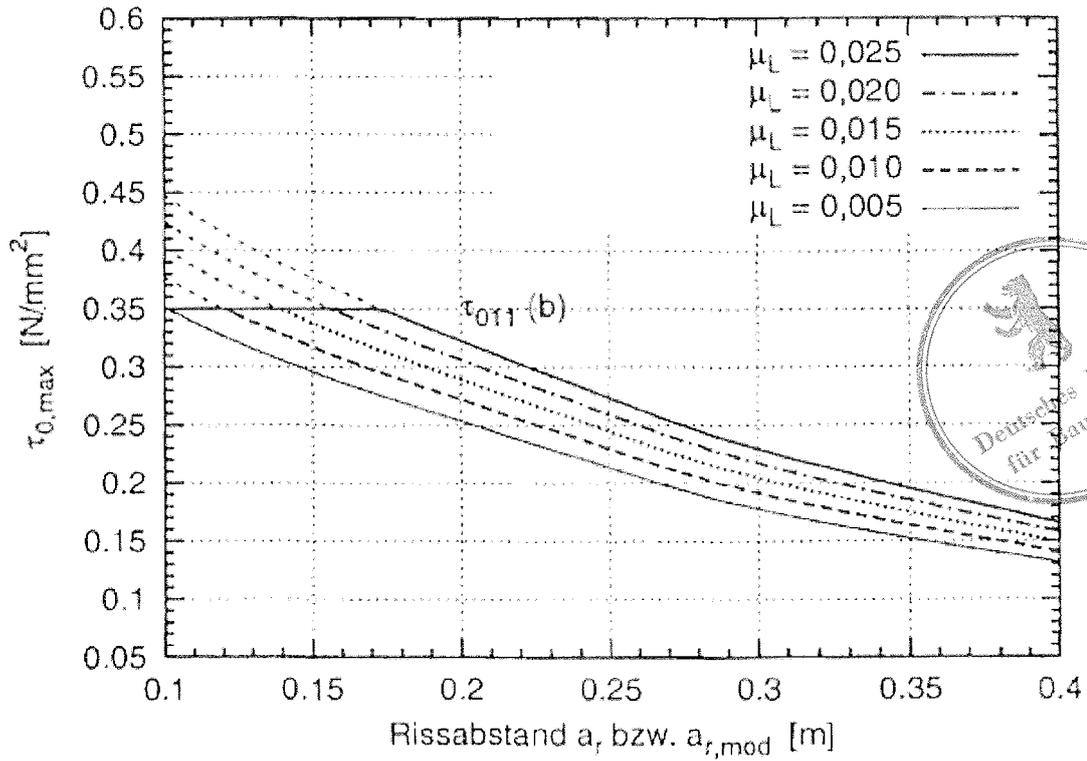


Diagramm 1: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\varepsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 15 \frac{N}{mm^2}$

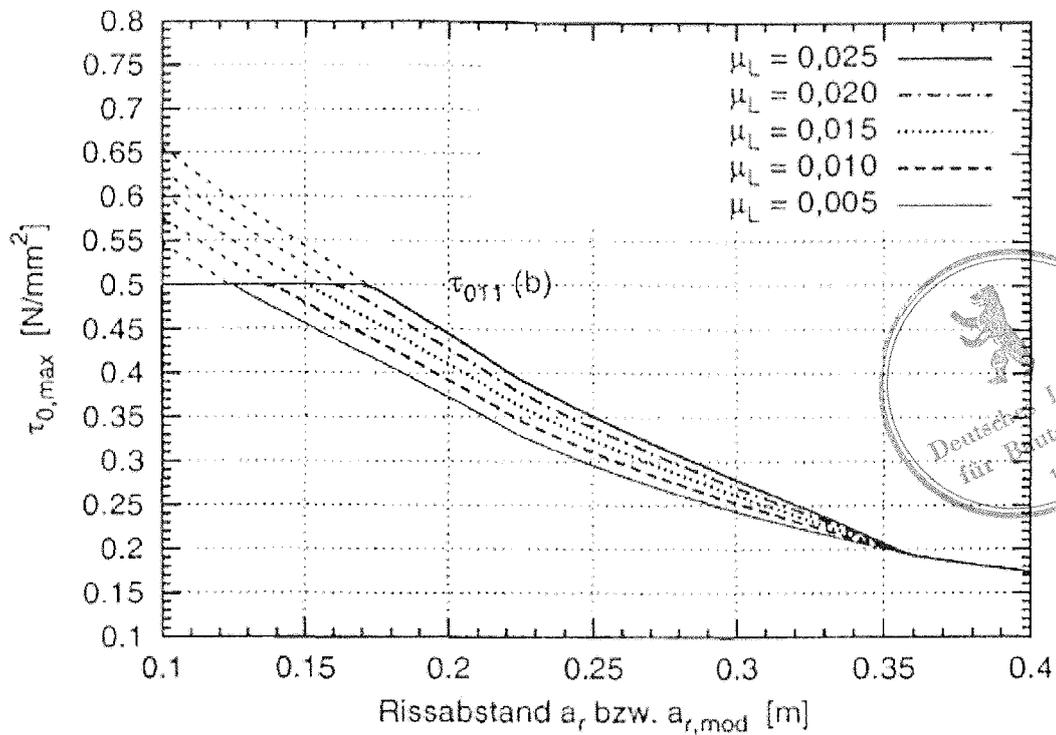


Diagramm 2: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\varepsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 25 \frac{N}{mm^2}$

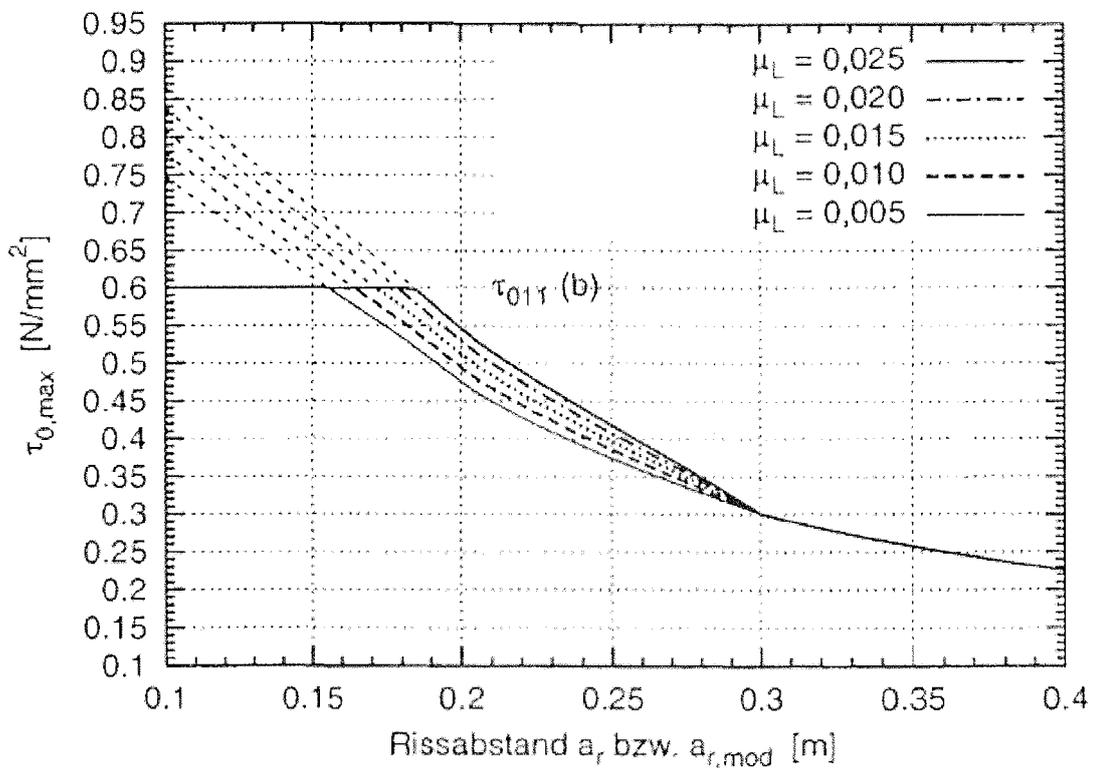


Diagramm 3: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\varepsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 35 \frac{N}{mm^2}$

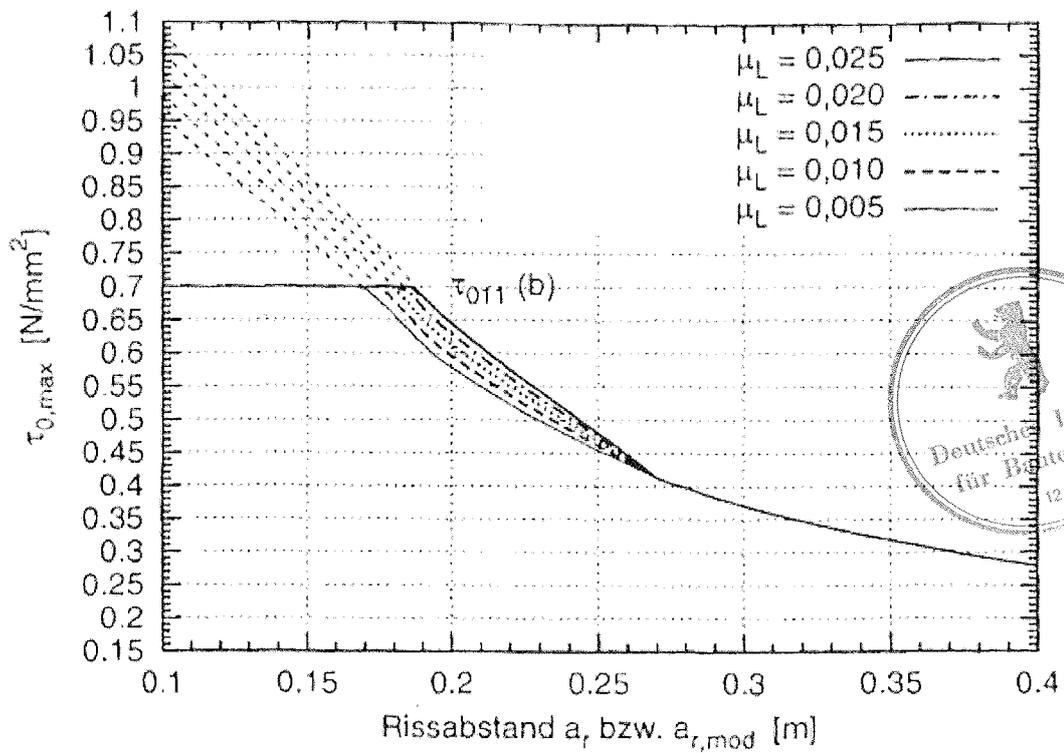


Diagramm 4: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\epsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 45 \frac{N}{mm^2}$

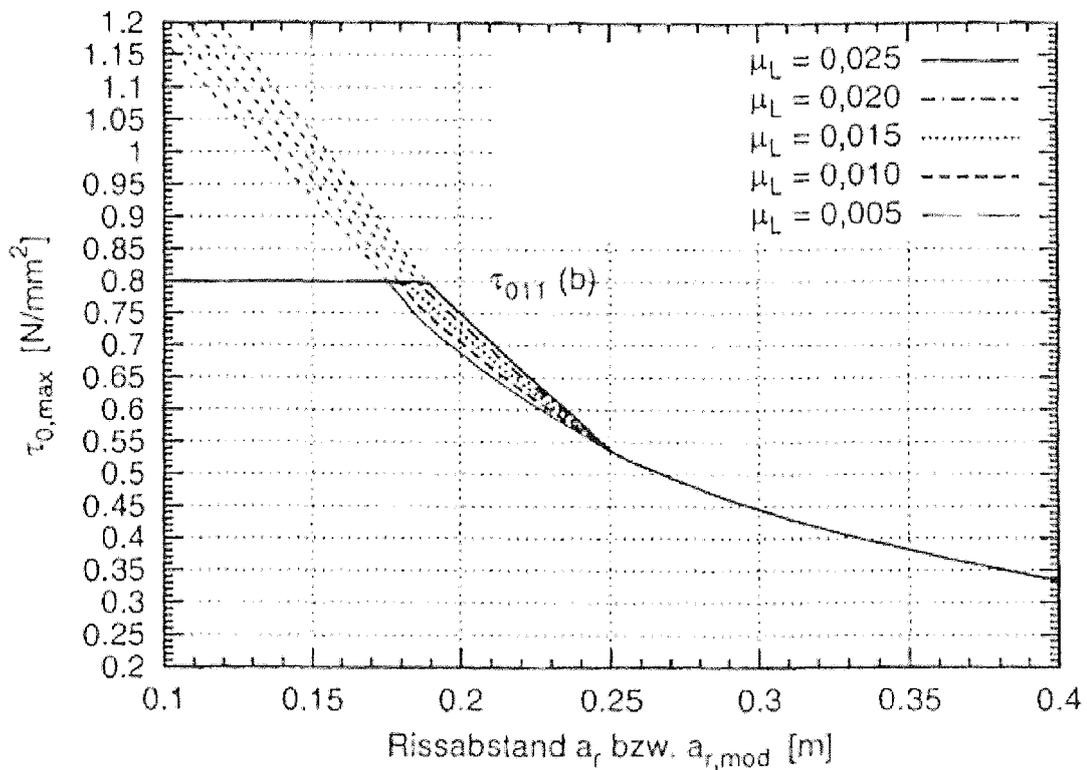


Diagramm 5: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\epsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 55 \frac{N}{mm^2}$

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:

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

mit:

v 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

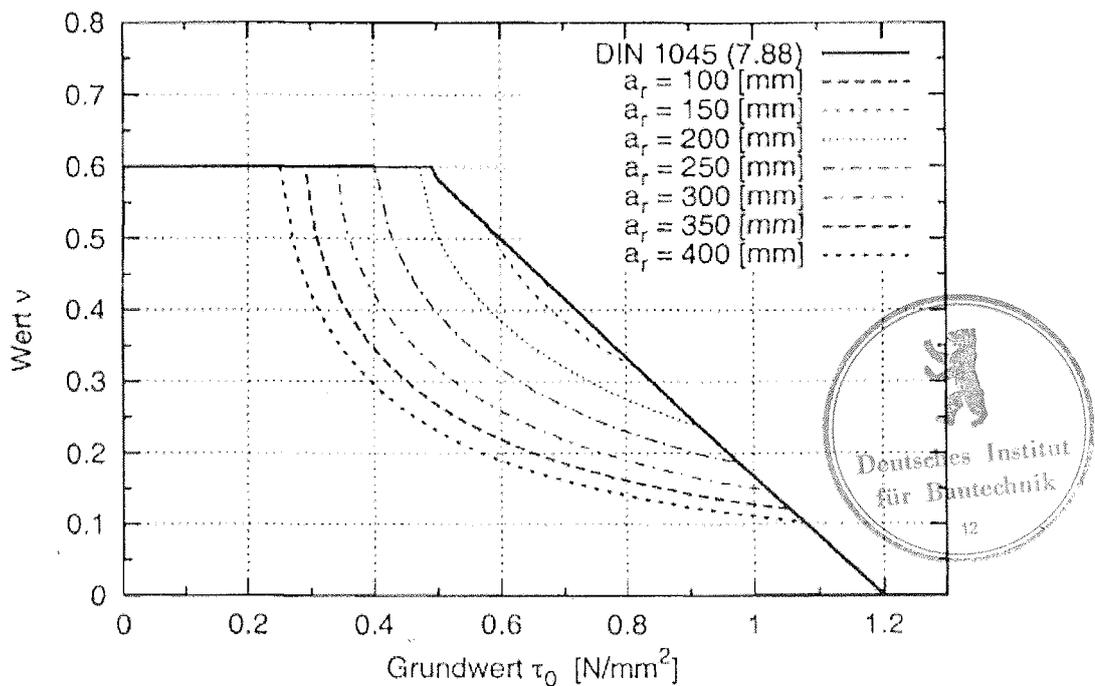


Diagramm 6: Beiwert v für $\varepsilon_L = 8,5 \text{ ‰}$, $B_W = 15 \frac{N}{mm^2}$

BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach
DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 11 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57
vom 29. September 2008

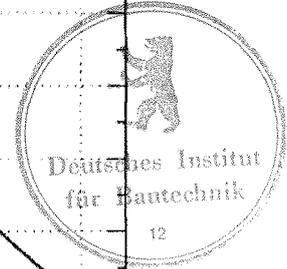
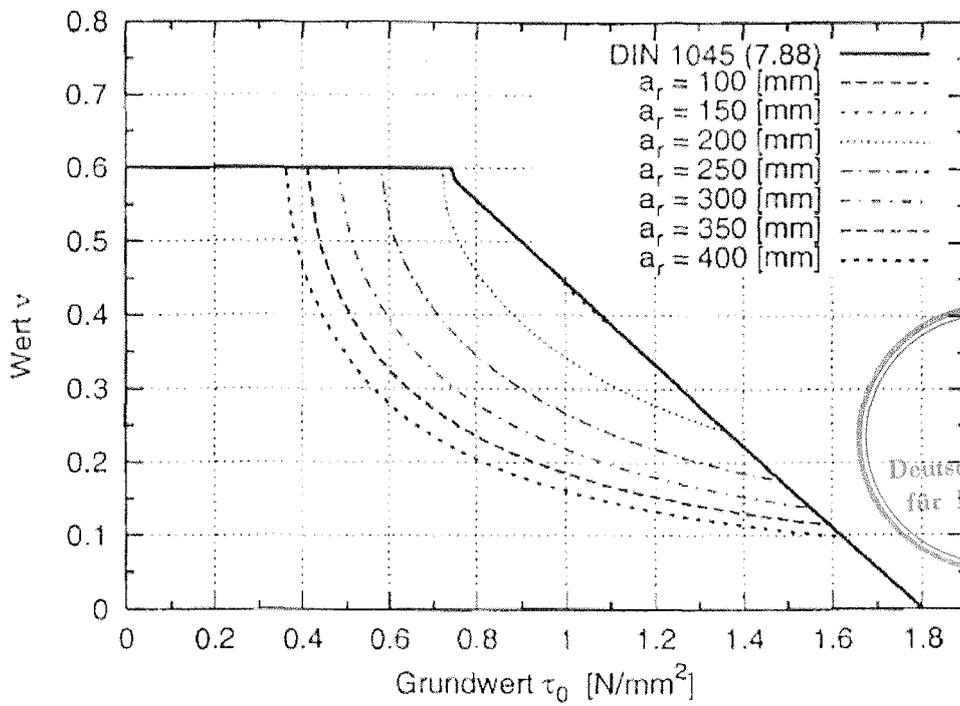


Diagramm 7: Beiwert ν für $\epsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

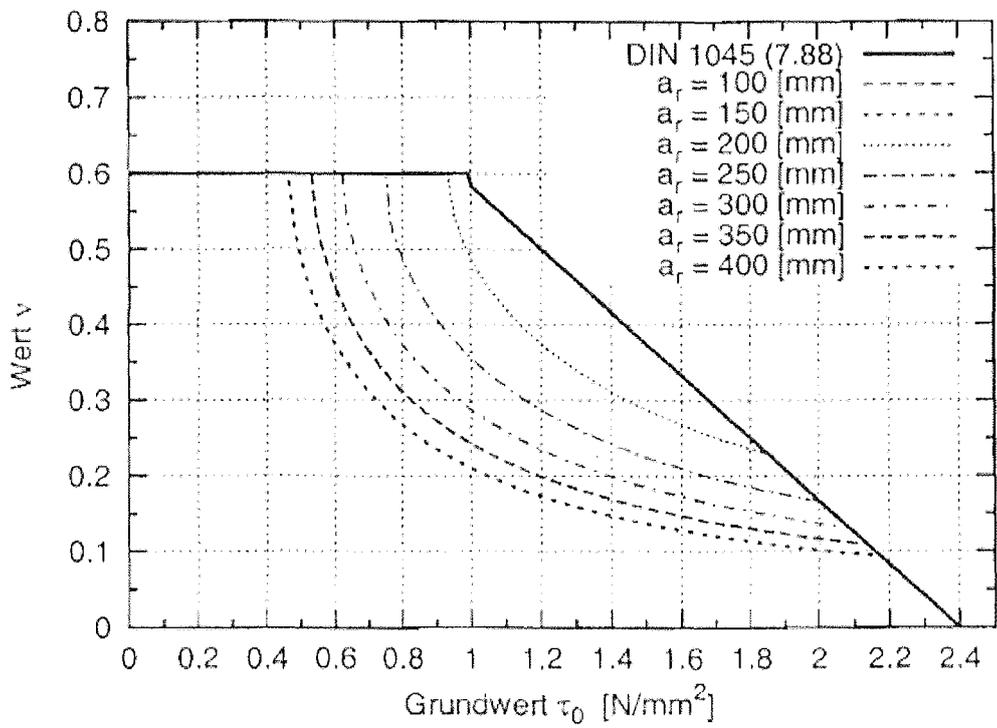


Diagramm 8: Beiwert ν für $\epsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

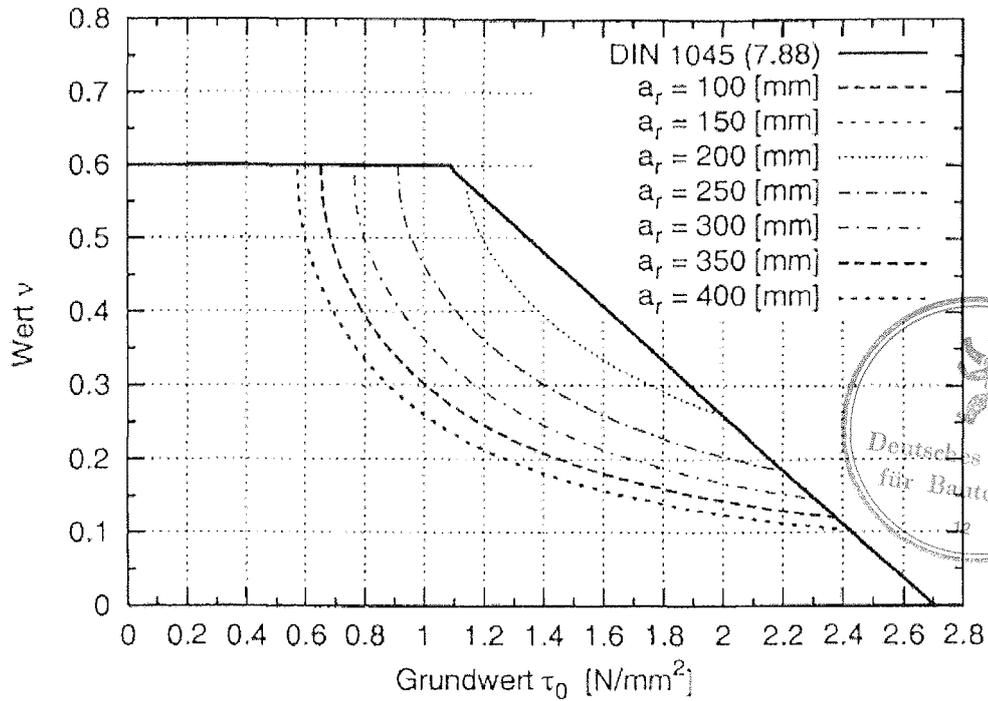


Diagramm 9: Beiwert ν für $\epsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 45 \frac{N}{\text{mm}^2}$

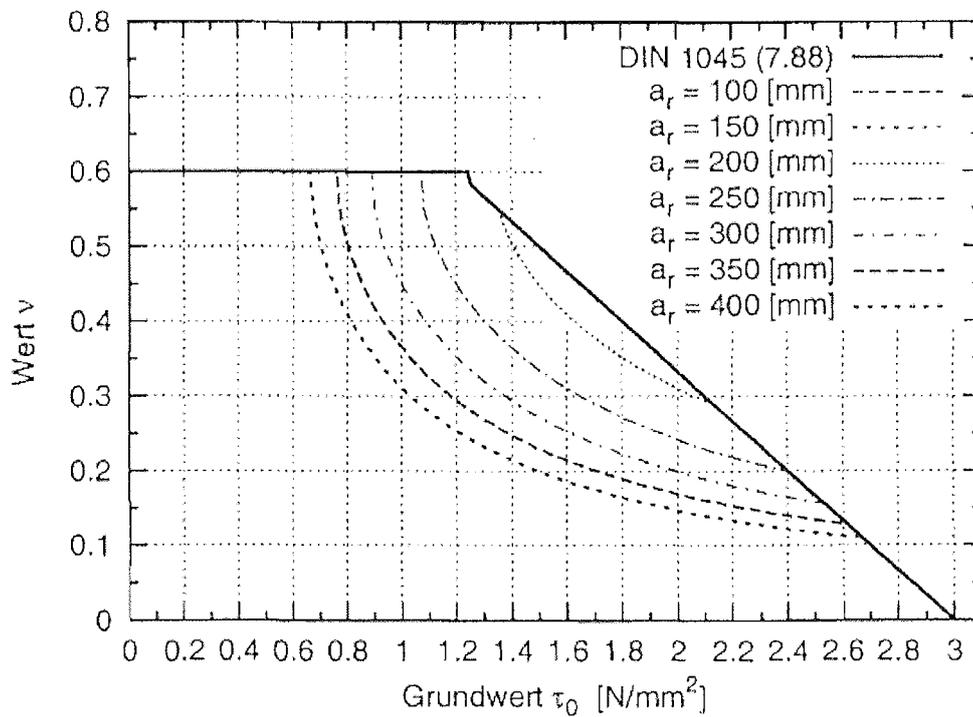


Diagramm 10: Beiwert ν für $\epsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 55 \frac{N}{\text{mm}^2}$

 **BILFINGER BERGER**

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach

DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 13 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57
vom 29. September 2008

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

Die Mindestmenge der Laschenbügel ist für den Schubbereich 1 gemäß DIN 1045¹, Abschnitte 17.5.5.2 und für den Schubbereich 2 gemäß DIN 1045¹, Abschnitte 17.5.5.3, wobei der Bemessungswert für den Schubbereich 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.

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

$$Q_{VL} = Q_V - ged Q_{Vs}$$

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

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 ($ged Q_{Vs} > Q_V$):

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.

$$2,1 F_{bü} \leq T_k \quad (17)$$

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.

 **BILFINGER BERGER**

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach
DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 14 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57
vom 29. September 2008

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

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

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

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/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

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 Kohlefaserlaminat 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): $0,6 \cdot T_k \geq \text{erf } T_k = 1,2 F_{LE}$ (25)

– bei verbügelten Bauteilen (Balken): $0,6 \cdot T_k \geq \text{erf } T_k = F_{LE}$ (26).



 **BILFINGER BERGER**

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach

DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 15 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57
vom 29. September 2008

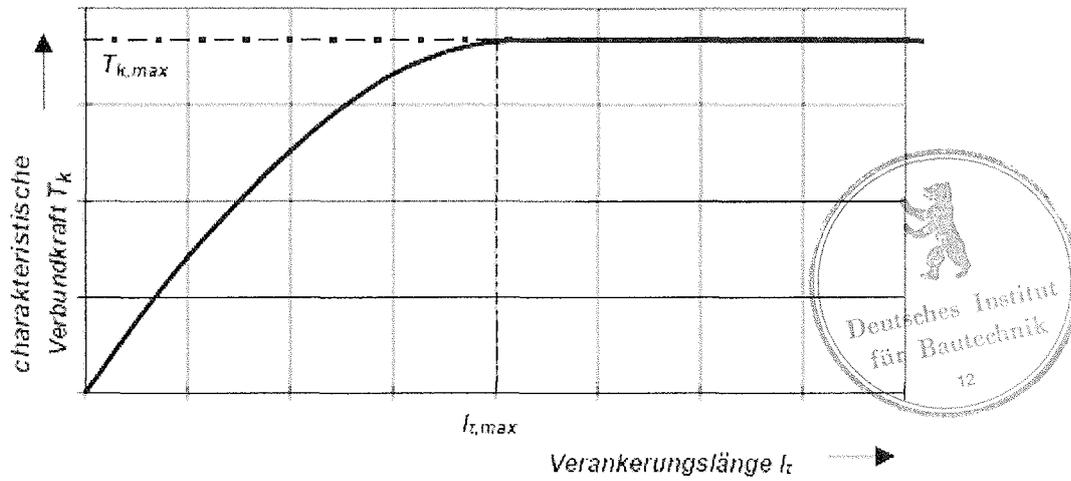


Bild 1: Zusammenhang zwischen der charakteristischen Verbundbruchkraft und der Verankerungslänge (Qualitativ)

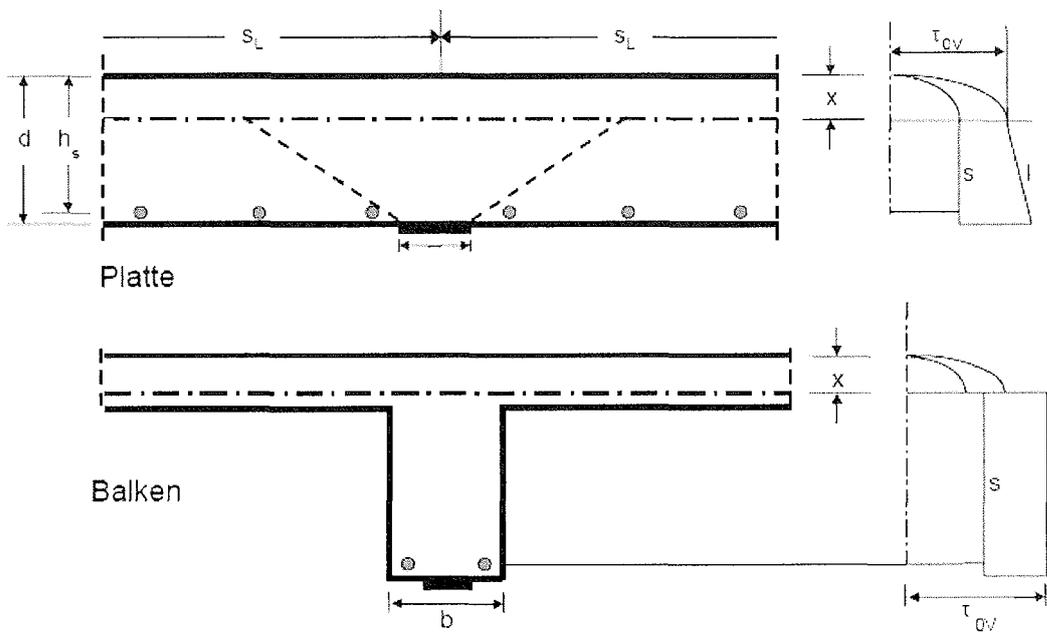


Bild 2: Schubspannungen des verstärkten Bauteils im Gebrauchszustand

BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach
DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 16 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57
vom 29. September 2008

Bügel B1 nach Abschnitt 3.1.3
der "Besonderen
Bestimmungen"

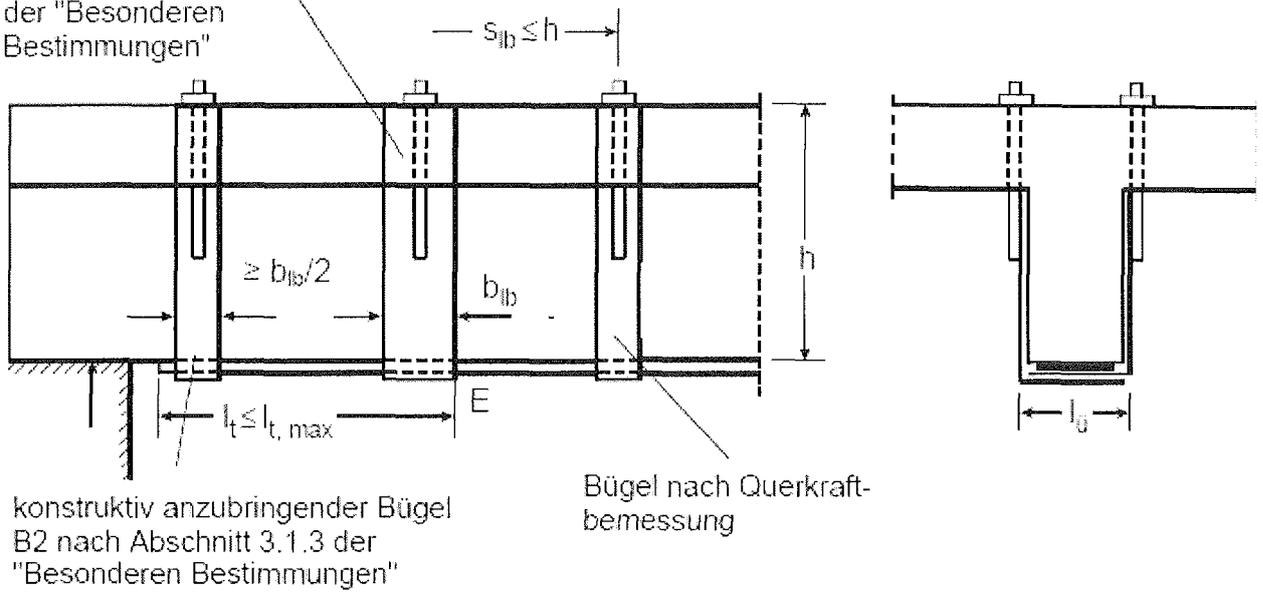


Bild 5: Verbügelung der Lamellenverankerung (Beispiel für Bügelverankerung in der Druckzone)

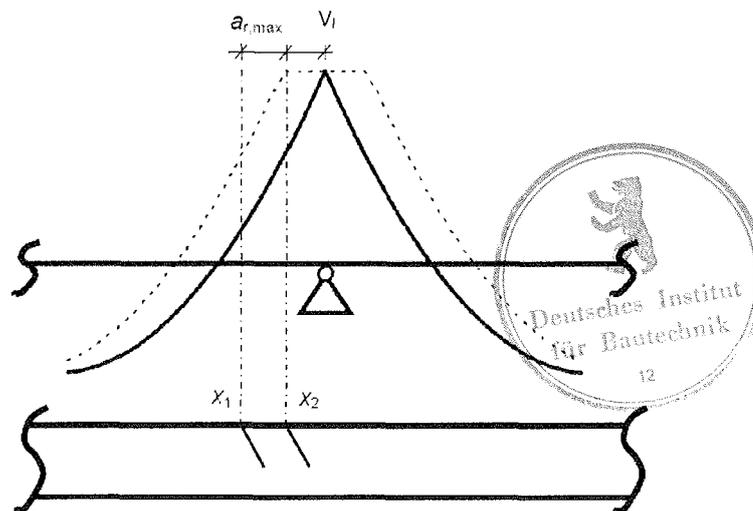


Bild 6: Lage des betrachteten Zwischenrisselements

 **BILFINGER BERGER**

Zentrales Labor für Baustofftechnik

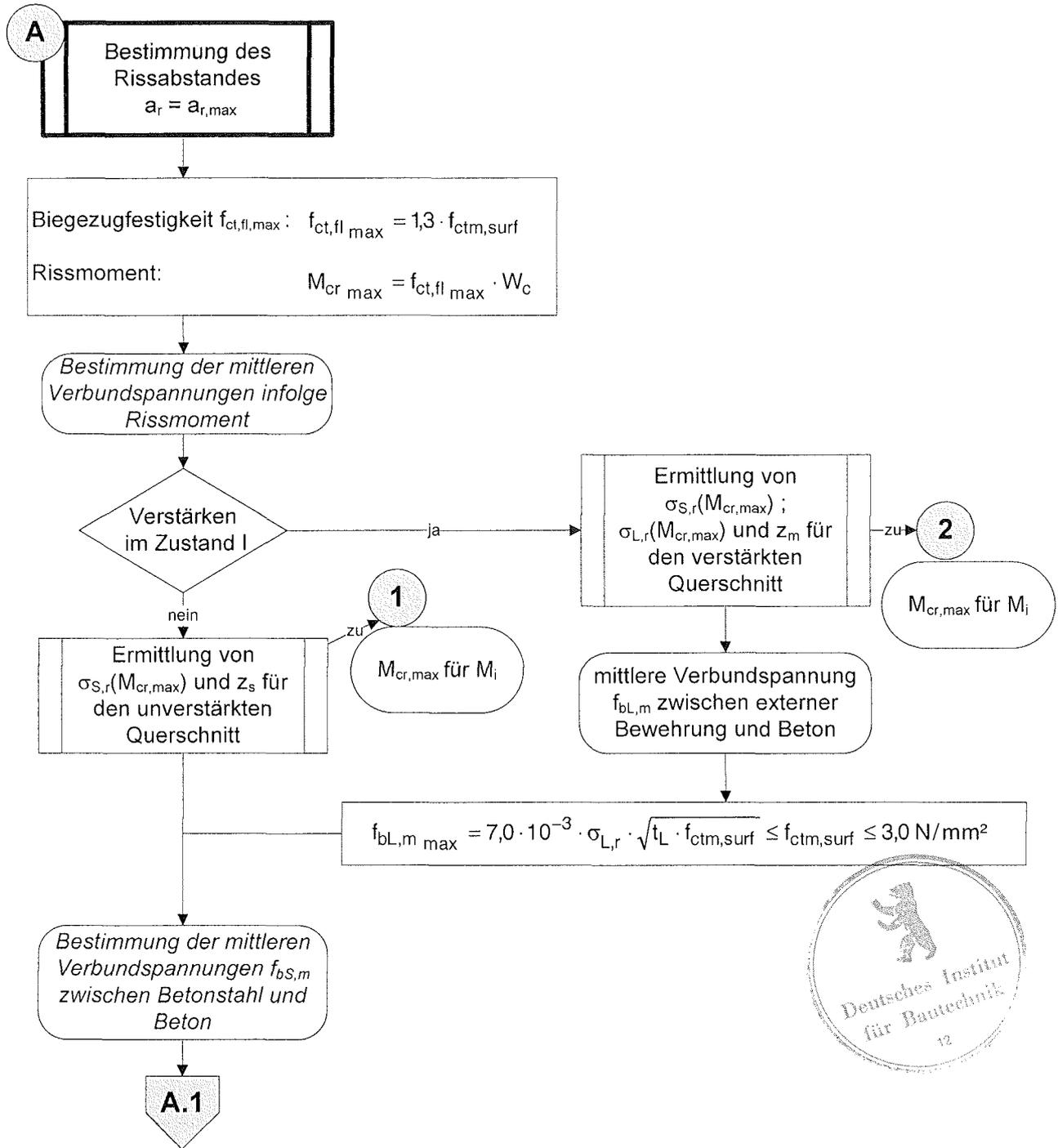
Carboplus

Bemessung nach
DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 18 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57
vom 29. September 2008

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

A.1

Bestimmung der mittleren Verbundspannungen $f_{bS,m}$ zwischen Betonstahl und Beton

gerippter Betonstahl

ja

gute Verbundbedingungen:

$$f_{bS,m \max} = 0,20 \cdot \sqrt{f_{cm,cube}} \cdot \sqrt{\sigma_{S,r}}$$

mäßige Verbundbedingungen:

$$f_{bS,m \max} = 0,12 \cdot \sqrt{f_{cm,cube}} \cdot \sqrt{\sigma_{S,r}}$$

nein

glatter oder profilierter Betonstahl

Verbundspannungen $f_{bS,m}$ in [N/mm²]

Oberfläche	Verbundbereich	B 15	B 25	B 35	B 45	B 55
glatt	gut	1,26	1,47	1,68	1,89	2,10
	mäßig	0,63	0,74	0,84	0,95	1,05
profilierter	gut	1,68	2,10	2,52	2,94	3,36
	mäßig	0,84	1,05	1,26	1,47	1,68

A.2



BILFINGER BERGER

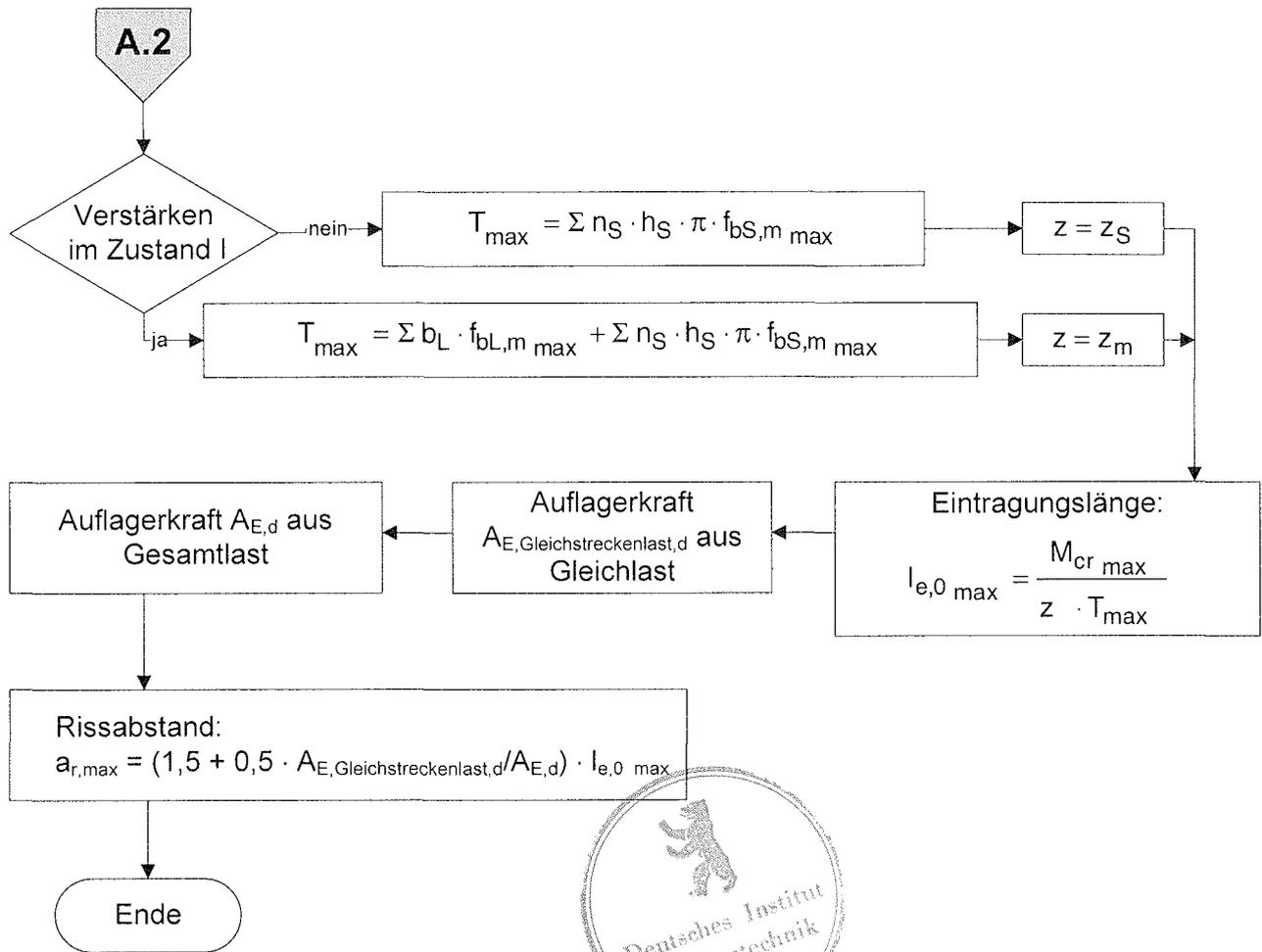
Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

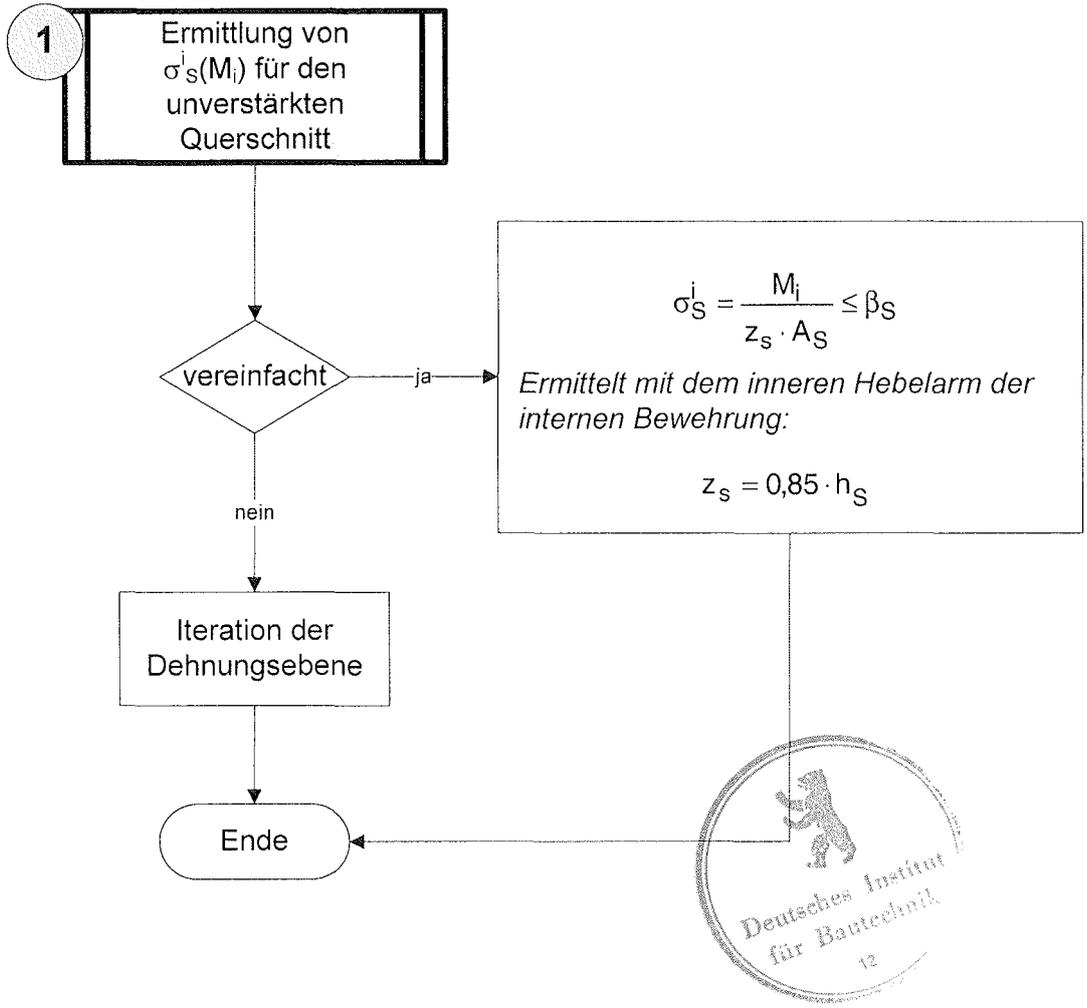
Bemessung nach
DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 20 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57
vom 29. September 2008

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

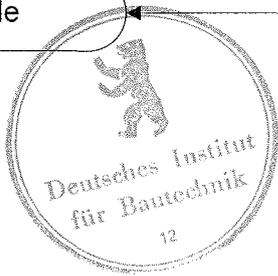
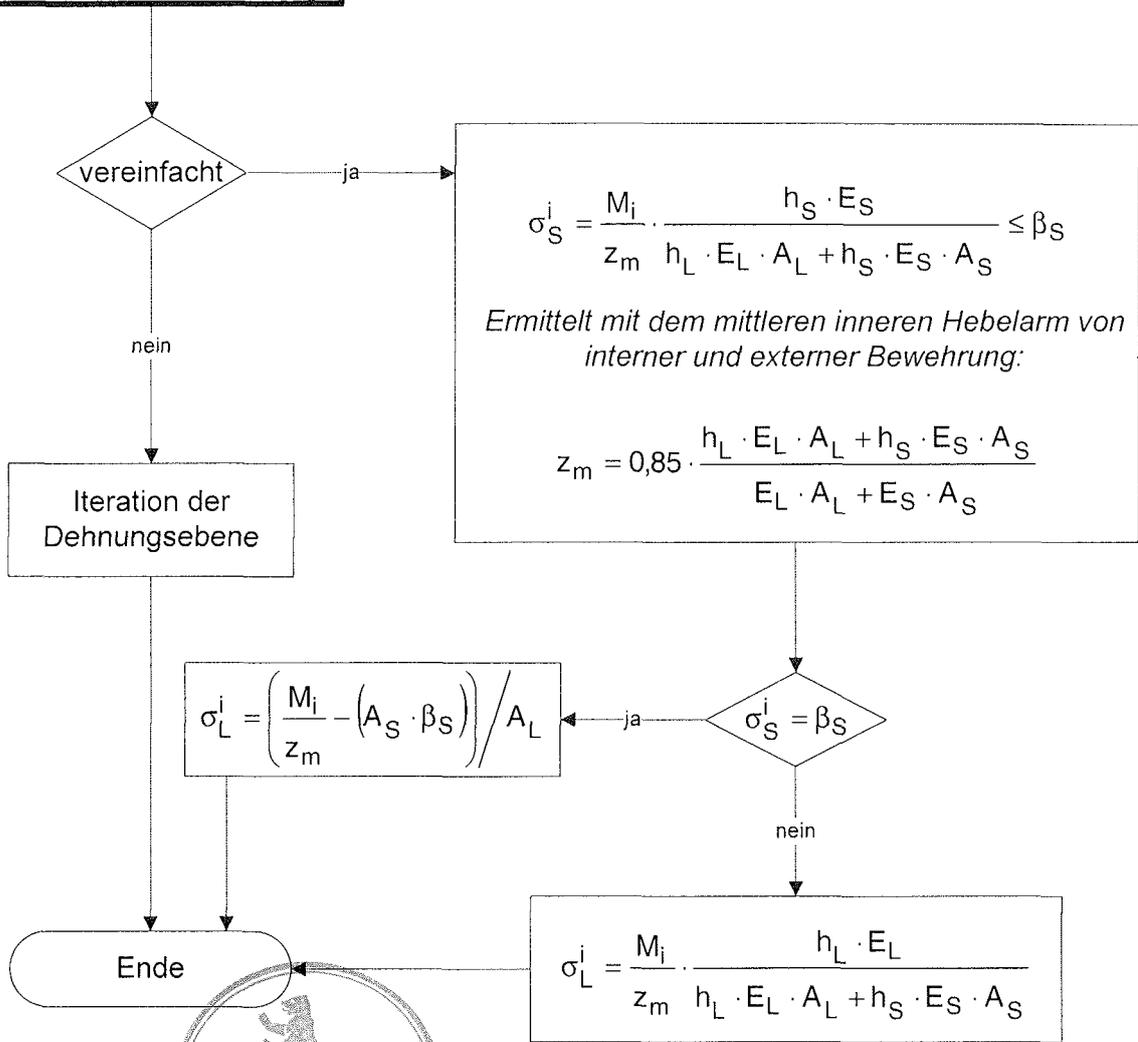


→ **Teilschema 1** für die Nachweise nach den Abschnitten
 2.4.1.1 – Nachweis der Verbundtragfähigkeit über Innenstützen (Bestimmung des Rissbildes) und
 2.5 - Querkraftnachweis und -bemessung

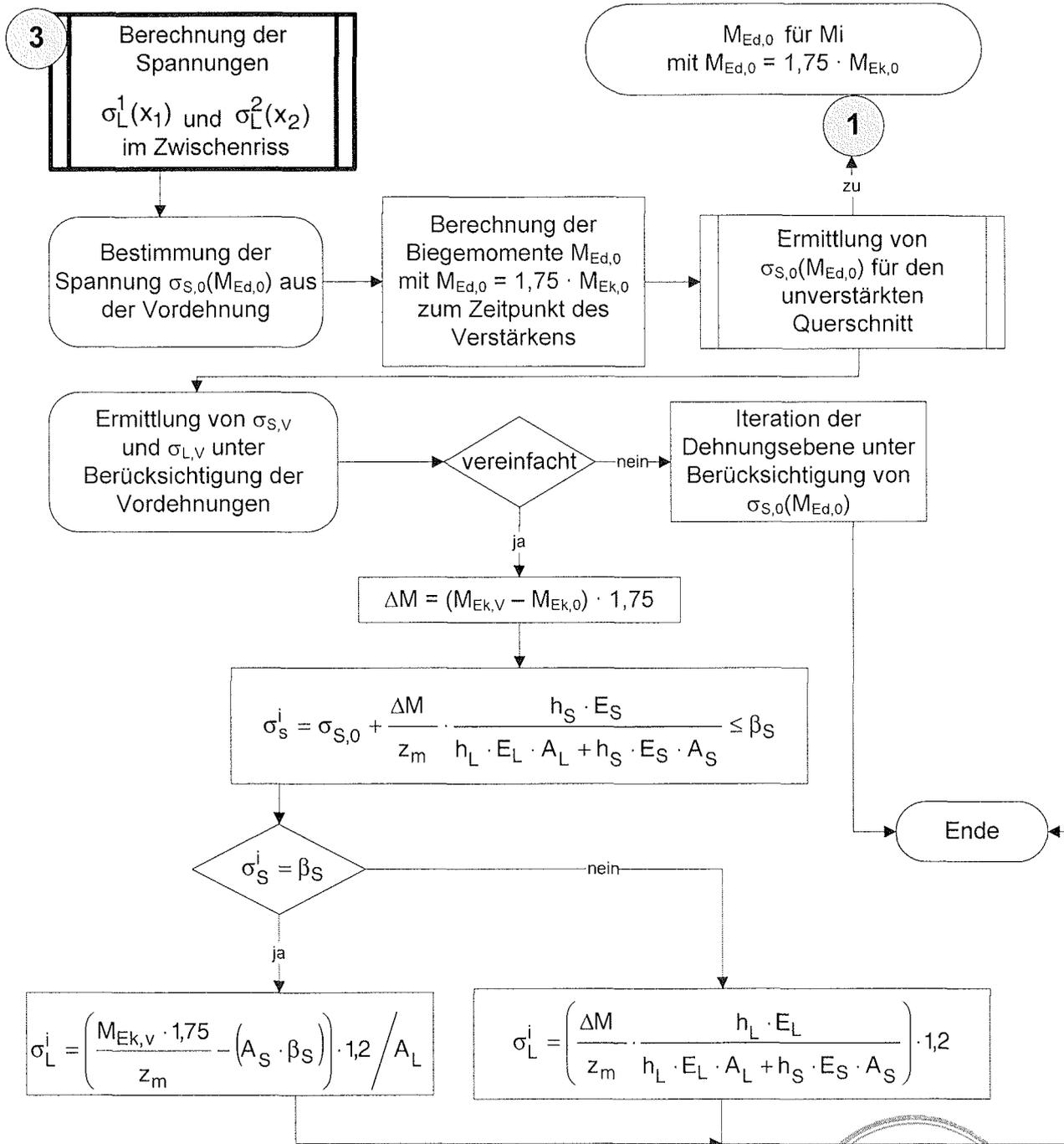


2

Ermittlung von $\sigma'_s(M_i)$ und $\sigma'_L(M_i)$ 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_i - 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


BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach

DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 25 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57
vom 29. September 2008

- $x_{cr,max}$ - 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



 **BILFINGER BERGER**

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Carboplus

Bemessung nach

DIN 1045:1988-07

Anlage 2A, Blatt 26 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-57
vom 29. September 2008