

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

Anstalt des öffentlichen Rechts

10829 Berlin, 12. Juni 2008
Kolonnenstraße 30 L
Telefon: 030 78730-314
Telefax: 030 78730-320
GeschZ.: I 11-1.36.1-16/08

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

Zulassungsnummer:

Z-36.12-63

Antragsteller:

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

Zulassungsgegenstand:

Verstärken von Betonbauteilen durch schubfest aufgeklebte Kohlefaserlamellen MC-DUR

Geltungsdauer bis:

31. Dezember 2009

Der oben genannte Zulassungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich zugelassen. *
Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung umfasst 13 Seiten und vier Anlagen.



* Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ersetzt den Zulassungsbescheid vom 30. Mai 2003, geändert/ergänzt durch Bescheid vom 30. September 2004.
Der Gegenstand ist erstmals am 30. Mai 2003 allgemein bauaufsichtlich zugelassen worden.

I. ALLGEMEINE BESTIMMUNGEN

- 1 Mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ist die Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Zulassungsgegenstandes im Sinne der Landesbauordnungen nachgewiesen.
- 2 Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ersetzt nicht die für die Durchführung von Bauvorhaben gesetzlich vorgeschriebenen Genehmigungen, Zustimmungen und Bescheinigungen.
- 3 Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung wird unbeschadet der Rechte Dritter, insbesondere privater Schutzrechte, erteilt.
- 4 Hersteller und Vertreiber des Zulassungsgegenstandes haben, unbeschadet weiter gehender Regelungen in den "Besonderen Bestimmungen", dem Verwender bzw. Anwender des Zulassungsgegenstandes Kopien der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zur Verfügung zu stellen und darauf hinzuweisen, dass die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung an der Verwendungsstelle vorliegen muss. Auf Anforderung sind den beteiligten Behörden Kopien der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zur Verfügung zu stellen.
- 5 Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung darf nur vollständig vervielfältigt werden. Eine auszugsweise Veröffentlichung bedarf der Zustimmung des Deutschen Instituts für Bautechnik. Texte und Zeichnungen von Werbeschriften dürfen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung nicht widersprechen. Übersetzungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung müssen den Hinweis "Vom Deutschen Institut für Bautechnik nicht geprüfte Übersetzung der deutschen Originalfassung" enthalten.
- 6 Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung wird widerruflich erteilt. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung können nachträglich ergänzt und geändert werden, insbesondere, wenn neue technische Erkenntnisse dies erfordern.



II. BESONDERE BESTIMMUNGEN

1 Zulassungsgegenstand und Anwendungsbereich

1.1 Zulassungsgegenstand

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

1.2 Anwendungsbereich

Die mit dem Klebstoff "MC-DUR 1280" an die Betonbauteile schubfest angeklebten "MC-DUR CFK-Lamellen" dürfen zum Nachweis der Tragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen herangezogen werden. Die rechnerische Gesamttragfähigkeit 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 1045:1988-07, 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 1045:1988-07, 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 ausgesetzt ist.

Im Bereich der Lamellen darf die Bauteiltemperatur kurzzeitig 45 °C betragen. Dauerhaft darf die Temperatur von 40 °C nicht überschritten werden.

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

2 Bestimmungen für die Bauprodukte

2.1 Eigenschaften und Zusammensetzung der "MC-DUR CFK-Lamellen"

2.1.1 "MC-DUR CFK-Lamellen" 160/2400, 160/2800 und 200/3000

Die "MC-DUR CFK-Lamellen" müssen pultrudierte Lamine aus Epoxidharz mit ≥ 68 Vol.% Verstärkung durch unidirektionale Kohlenstofffasern sein. Die Lamellendicke beträgt in der Regel 1,2 bzw. 1,4 mm und darf 2,8 mm nicht überschreiten. Die Lamellenbreite darf 50 bis 150 mm betragen. Die "MC-DUR CFK-Lamellen" müssen folgende Eigenschaften haben:





Bezeichnung der Lamelle	MC-DUR 160/2400	MC-DUR 160/2800	MC-DUR 200/3000
Fasergehalt	≥ 68 Vol. %	≥ 68 Vol. %	≥ 68 Vol. %
Zugfestigkeit in Faser- richtung f_k	≥ 2.475 N/mm ²	≥ 2.950 N/mm ²	≥ 2.950 N/mm ²
Elastizitätsmodul in Faserrichtung E_{fk}	≥ 160.000 N/mm ²	≥ 167.000 N/mm ²	≥ 200.000 N/mm ²
Elastizitätsmodul in Faserrichtung E_{fm}	≥ 170.000 N/mm ²	≥ 175.000 N/mm ²	≥ 220.000 N/mm ²
Bruchdehnung ϵ_k	≥ 1,38 %	≥ 1,67 %	≥ 1,3 %

Die "MC-DUR CFK-Lamellen" müssen auf der zu verklebenden Seite werksmäßig eine leicht aufgeraute und entfettete Oberflächen haben, die mit einer Abreißfolie geschützt wird.

Zusammensetzung und Eigenschaften des Harzes und der Kohlestofffasern müssen mit den beim DIBt hinterlegten Angaben übereinstimmen.

2.1.2 Klebstoff

Als Klebstoff zur Verklebung der "MC-DUR CFK-Lamellen" mit dem Beton sowie zur Verklebung der "MC-DUR CFK-Lamellen" miteinander ist der Klebstoff "MC-DUR 1280", ein mit Quarzmehl gefülltes Epoxidharz, zu verwenden. Die Rezeptur muss mit der beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten übereinstimmen.

2.1.3 Schublaschen, Ankerschrauben

Sofern zusätzliche Schublaschen erforderlich sind, müssen diese aus Stahl der Sorte S 235J2 nach DIN EN 10025-2:2005-04 bestehen. Ankerschrauben müssen die Festigkeit 4.6, 5.6, 8.8 oder 10.9 besitzen.

2.1.4 Primer für die Schublaschen

In Verbindung mit dem Klebstoff "MC-DUR 1280" dürfen in der Werkstatt vorbereitete Stahlflächen zum vorübergehenden Korrosionsschutz nur durch die Epoxidharz Primer "Colusal VL" beschichtet werden. Die Rezeptur der Primer muss mit der beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten übereinstimmen.

2.1.5 Instandsetzungsmörtel und Haftbrücke

Als Instandsetzungsmörtel zur Begradigung größerer Unebenheiten muss der Instandsetzungsmörtel "MC-DUR 1000 Parat 09" immer in Verbindung mit der Haftbrücke "MC-DUR 1009 HB" verwendet werden. Die Zusammensetzung des Instandsetzungsmörtels und der Haftbrücke müssen mit den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Rezepturen übereinstimmen.

2.1.6 Schutzanstrich für "MC-DUR CFK-Lamellen"

Als Schutzanstrich bei der Verwendung der Lamellen in bewitterten Bereichen ist ein UV-beständiges Oberflächenschutzsystem zu verwenden, das mit den "MC-DUR CFK-Lamellen" und dem Beton verträglich ist.

2.1.7 Reinigungsmittel für die "MC-DUR CFK-Lamellen"

Die "MC-DUR CFK-Lamellen" müssen vor der Verklebung in der Regel nicht gereinigt werden. Treten nach dem Entfernen des Abreißgewebes Verschmutzungen auf, sind diese mit "MC Reinigungsmittel U" zu reinigen.

2.2 Herstellung, Verpackung, Transport, Lagerung, Kennzeichnung

2.2.1 Herstellung der "MC-DUR CFK-Lamellen"

Die "MC-DUR CFK-Lamellen" müssen in Herstellwerken hergestellt werden, die durch den Antragsteller eingewiesen sind und beaufsichtigt werden.

Die Kohlenstofffasern sind auszurichten und mit dem Harzsystem vollständig zu tränken. Die Aushärtung muss in einer beheizten Form mit anschließender Durchlauftermperung erfolgen.

Die "MC-DUR CFK-Lamellen" sind unverwechselbar und dauerhaft mit der Typenbezeichnung MC-DUR 160/2400, MC-DUR 160/2800 oder MC-DUR 200/3000 zu kennzeichnen.

Die "MC-DUR CFK-Lamellen" dürfen nach der Herstellung nur auf Rollen von $\geq 0,90$ m Durchmesser aufgerollt werden.

2.2.2 Verpackung, Transport, Lagerung

2.2.2.1 "MC-DUR CFK-Lamellen"

Die "MC-DUR CFK-Lamellen" müssen verpackt und gegen Witterung und Verschmutzung geschützt transportiert und gelagert werden. Beim Transport und Lagerung der "MC-DUR CFK-Lamellen" im aufgerollten Zustand ist der Mindestdurchmesser von 0,90 m einzuhalten.

2.2.2.2 Klebstoff "MC-DUR 1280"

Harz und Härter des Klebstoffes müssen in gebrauchsfertige Arbeitspackungen (Gebinde) gefüllt werden, die luftdicht verschlossen sind. Nur in diesem Zustand dürfen sie transportiert und in geschlossenen Räumen bei einer Mindesttemperatur von 10° C gelagert werden.

2.2.2.3 Primer für die Stahllaschen, Reinigungsmittel und Schutzanstrich für die Lamellen

Die Produkte müssen in gebrauchsfertige Arbeitspackungen (Gebinde) gefüllt werden, die luftdicht verschlossen sind. Nur in diesem Zustand dürfen sie transportiert und gelagert werden.

2.2.3 Kennzeichnung

Die Bauprodukte müssen vom Hersteller mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) nach den Übereinstimmungszeichen-Verordnungen der Länder gekennzeichnet werden. Die Kennzeichnung darf nur erfolgen, wenn die Voraussetzungen nach Abschnitt 2.3 erfüllt sind.

Das Gebinde eines jeden Bauproduktes ist vom Hersteller zusätzlich zu dem Übereinstimmungszeichen so zu kennzeichnen, dass eine Verwechslung insbesondere bezüglich Anwendung, Inhalt, Menge, Reaktivität ausgeschlossen ist.

Auf der Verpackung für den Klebstoff müssen folgende Angaben enthalten sein:

- Produktbezeichnung, Chargennummer
- minimale und maximale Verarbeitungstemperatur
- Zulassungsgegenstand
- Gewicht/Volumen
- Mischungsverhältnis von Harz- und Härterkomponente
- Hinweis auf Arbeitsvorschriften (Merkblatt) und Arbeitshygiene
- "Erst unmittelbar vor dem Mischen öffnen"
- Lagerungsart, Verbrauchszeitraum, Gebindeverarbeitungszeit, Verarbeitungszeit

Die Gebindeverarbeitungszeit müssen auf den Gebinden für die höchstzulässige Arbeitstemperatur angegeben sein. Die Verarbeitungsbedingungen müssen in Abhängigkeit von der Temperatur angegeben sein (siehe Anlage 3, Tabelle 1).

Die Angaben können auch auf einem der Lieferung beigelegten Merkblatt erfolgen, sofern durch gleichlautende Fabrikationsbezeichnungen Verwechslungen ausgeschlossen sind.

2.3 Übereinstimmungsnachweis

2.3.1 Allgemeines

2.3.1.1 "MC-DUR CFK-Lamellen", Klebstoff, Primer für die Stahllaschen, Instandsetzungsmörtel und Haftbrücke"



Die Bestätigung der Übereinstimmung der "MC-DUR CFK-Lamellen" nach Abschnitt 2.1.1, des Klebers nach Abschnitt 2.1.2, des Primers nach Abschnitt 2.1.4, des Instandsetzungsmörtels und der Haftbrücke nach Abschnitt 2.1.5 mit den Bestimmungen dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung muss für jedes Herstellwerk mit einem Übereinstimmungszertifikat auf der Grundlage einer werkseigenen Produktionskontrolle und einer regelmäßigen Fremdüberwachung einschließlich einer Erstprüfung des Bauprodukts nach Maßgabe der folgenden Bestimmungen erfolgen.

Für die Erteilung des Übereinstimmungszertifikats und die Fremdüberwachung einschließlich der dabei durchzuführenden Produktprüfungen hat der Hersteller des Bauprodukts eine hierfür anerkannte Zertifizierungsstelle sowie eine hierfür anerkannte Überwachungsstelle einzuschalten.

Dem Deutschen Institut für Bautechnik ist von der Zertifizierungsstelle eine Kopie des von ihr erteilten Übereinstimmungszertifikats zur Kenntnis zu geben.

Dem Deutschen Institut für Bautechnik ist zusätzlich eine Kopie des Erstprüfberichts zur Kenntnis zu geben.

2.3.1.2 Kohlenstofffasern, Harzsystem, Schublaschen aus Stahl, Schutzanstrich und Reinigungsmittel

Die Bestätigung der Übereinstimmung der Kohlenstofffasern und des Harzsystems der CFK-Lamellen nach Abschnitten 2.1.1 sowie der Produkte nach den Abschnitten 2.1.3, 2.1.6 und 2.1.7 mit den Bestimmungen dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung muss für jedes Herstellwerk mit einer Übereinstimmungserklärung des Herstellers auf der Grundlage einer Erstprüfung durch eine hierfür anerkannte Überwachungsstelle und einer werkseigenen Produktionskontrolle erfolgen.

2.3.2 Werkseigene Produktionskontrolle

In jedem Herstellwerk der Produkte nach den Abschnitten 2.1.1 bis 2.1.7 ist eine werkseigene Produktionskontrolle einzurichten und durchzuführen. Unter werkseigener Produktionskontrolle wird die vom Hersteller vorzunehmende kontinuierliche Überwachung der Produktion verstanden, mit der dieser sicherstellt, dass die von ihm hergestellten Produkte den Bestimmungen dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung entsprechen.

Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle des Klebstoffes und des Primers sind mindestens die Prüfungen nach Anlage 4, Tabelle 2, durchzuführen.

Die werkseigene Produktionskontrolle im Herstellwerk der "MC-DUR CFK-Lamellen" muss mindestens die folgenden Maßnahmen einschließen:

- Eingangskontrolle der Herstellererklärungen für die Kohlenstofffasern und das Harz-Härter-System
- Aufbau der Kohlenstofffaserverstärkung alle 2 Stunden
- Kontrolle der Tränkung
- Kontrolle der Aushärtung
- Kontrolle der Tragfähigkeit (Zugprüfung)

Die Prüfungen und die Häufigkeit sind in Anlage 4 angegeben.

Die Ergebnisse der werkseigenen Produktionskontrolle in den Herstellwerken der Kohlenstofffasern, des Harzsystems zur Herstellung der "MC-DUR CFK-Lamellen" sowie der Stahlteile der Schublaschen, des Reinigungsmittels und des Schutzanstrichs sind aufzuzeichnen und auszuwerten. Die Aufzeichnungen müssen mindestens folgende Angaben enthalten:

- Bezeichnung des Bauprodukts bzw. des Ausgangsmaterials und der Bestandteile
- Art der Kontrolle oder Prüfung
- Datum der Herstellung und der Prüfung des Bauprodukts bzw. des Ausgangsmaterials oder der Bestandteile



- Ergebnis der Kontrollen und Prüfungen und, soweit zutreffend, Vergleich mit den Anforderungen
- Unterschrift des für die werkseigene Produktionskontrolle Verantwortlichen

Die Aufzeichnungen sind dem Antragsteller zu übergeben und von diesem mindestens fünf Jahre aufzubewahren und soweit gefordert der für die Fremdüberwachung eingeschalteten Überwachungsstelle vorzulegen. Sie sind dem Deutschen Institut für Bautechnik und der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde auf Verlangen vorzulegen.

Bei ungenügendem Prüfergebnis sind vom Hersteller unverzüglich die erforderlichen Maßnahmen zur Abstellung des Mangels zu treffen. Bauprodukte, die den Anforderungen nicht entsprechen, sind so zu handhaben, dass Verwechslungen mit übereinstimmenden ausgeschlossen werden. Nach Abstellung des Mangels ist - soweit technisch möglich und zum Nachweis der Mängelbeseitigung erforderlich - die betreffende Prüfung unverzüglich zu wiederholen.

2.3.3 Fremdüberwachung

In jedem Herstellwerk der "MC-DUR CFK-Lamellen", des Klebstoffes, des Primers, des Instandsetzungsmörtels und der Haftbrücke ist die werkseigene Produktionskontrolle durch eine Fremdüberwachung regelmäßig zu überprüfen, mindestens jedoch zweimal jährlich.

Im Rahmen der Fremdüberwachung ist eine Erstprüfung der "MC-DUR CFK-Lamellen" durchzuführen. Die Probenahme und Prüfungen obliegen jeweils der anerkannten Überwachungsstelle.

Es sind die Prüfungen nach Anlage 4 durchzuführen.

Die Ergebnisse der Zertifizierung und der Fremdüberwachung sind mindestens fünf Jahre aufzubewahren. Sie sind von der Zertifizierungsstelle bzw. der Überwachungsstelle dem Deutschen Institut für Bautechnik und der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde auf Verlangen vorzulegen.

3 Bestimmungen für Entwurf und Bemessung

3.1 Entwurf

3.1.1 Zuglamellen

- Zuglamellen dürfen planmäßig nur Zugkräfte zugewiesen werden. Verstärkungen durch CFK-Lamellen sind so auszubilden, dass planmäßige Zugspannungen normal zur Klebefläche nicht auftreten
- Für eine Zuglamelle können maximal zwei übereinander liegende Lamellen mit dem zugelassenen Kleber zu einer Lamelle verklebt werden. In die Gleichungen (7) und (8) der Anlage 2 ist dann $t_l = 2 t_l$ (t_l in mm) einzusetzen.

3.1.1.1 Abstände

Für die Achsabstände s_l von Zuglamellen gelten folgende Regelungen:

$$\begin{aligned} \max s_l &\leq 0,2\text{fache Stützweite} \\ &\leq 5\text{fache Plattendicke} \\ &\leq 0,4\text{fache Kraglänge} \end{aligned}$$

Der Randabstand der Lamellenlängskante von der Bauteilkante muss mindestens der erforderlichen Betondeckung $\text{nom } c$ der einbetonierten Bewehrung entsprechen.

3.1.1.2 Örtliche Verstärkung

Bei örtlichen Verstärkungen muss die statisch wirksame Länge der Zuglamellen mindestens der zweifachen Bauteilhöhe bzw. Bauteildicke, zuzüglich der erforderlichen Verankerungslängen, entsprechen. Die von der CFK-Lamelle aufnehmbare Zugkraft ist mit der Gleichung (10) der Anlage 2 zu ermitteln.



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.

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).

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_u muss mindestens der Breite b_l der Zuglamelle bzw. bei Anordnung mehrerer Zuglamellen deren gesamten 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.

3.1.3 Verbügelung der Lamellenendverankerung bei Balken

Die Verankerung von Zuglamellen auf Balkenunterseiten muss bis auf die Ausnahmen nach Abschnitt 2.4 der Anlage 2, letzter Absatz, durch Laschenbügel umschlossen werden (siehe Bild 5 der Anlage 2). Die Verankerung dieser Laschen kann durch Verankerung in der Druckzone oder durch Klebeverbund erfolgen und ist entsprechend Abschnitt 2.4 der Anlage 2, letzter Absatz, zu bemessen.

Bei Verankerung durch Klebeverbund sind die Laschenbügel durch geeignete Befestigungen (z.B. Dübel) gegen Herabfallen für den Brandfall zu sichern.

3.2 Bemessung

Für die Bemessung gilt Anlage 2 unter Beachtung der Anlage 1.



3.3 Brandverhalten

Die "MC-DUR CFK-Lamellen" sind normalentflammbar (Baustoffklasse DIN 4102-B2).

Sofern Anforderungen an den Feuerwiderstand der Bauteile gestellt werden, zu deren Erfüllung die Verstärkung der Bauteile mit "MC-DUR CFK-Lamellen" nach dieser Zulassung erforderlich ist, ist die jeweils geforderte Feuerwiderstandsklasse der Bauteile im Einzelfall nachzuweisen.

Soweit ein Nachweis der vorhandenen Feuerwiderstandsdauer erforderlich ist, ist dieser im allgemeinen unter der Voraussetzung zu führen, dass die CFK-Lamellen und Laschenbügel ausfallen, es sei denn, dass durch ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis oder durch ein Gutachten einer hierfür anerkannten Prüfstelle der Nachweis geführt wird, dass die CFK-Lamellen und Laschenbügel im Brandfall durch Verkleidungen hinreichend gegen Erwärmung geschützt sind.

4 Ausführung

4.1 Allgemeines

Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung mit allen Anlagen sowie die Verarbeitungsvorschriften des Herstellers haben bei den Verstärkungsarbeiten auf jeder Baustelle vorzuliegen.

Die Verstärkungsarbeiten dürfen nur von Betrieben ausgeführt werden, die ihre Eignung nachgewiesen haben. Die Eignung des ausführenden Betriebes muss durch einen Eignungsnachweis nach "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch Ankleben von Stahllaschen und CFK-Lamellen (Fassung Januar 2002)"¹ erbracht werden.

Die qualifizierte Führungskraft nach "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch Ankleben von Stahllaschen und CFK-Lamellen (Fassung Januar 2002)"¹ muss während der entscheidenden Phasen auf der Baustelle anwesend sein und die begleitenden Kontrollen nach Abschnitt 4.8 und 4.9 durch das Baustellenfachpersonal nach "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch Ankleben von Stahllaschen und CFK-Lamellen (Fassung Januar 2002)"¹ durchführen lassen und selbst stichprobenartig überprüfen.

Die Herstellung der Klebeverbindung darf nur von Baustellenfachpersonal nach "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch Ankleben von Stahllaschen und CFK-Lamellen (Fassung Januar 2002)"¹ ausgeführt werden.

4.2 Erfassen des Ist-Zustandes des zu verstärkenden Bauteils

Folgende für die rechnerischen Nachweise und für die Ausführung relevanten Eigenschaften des zu verstärkenden Bauteils sind zu erfassen und zu bewerten.:

- Die Oberflächenzugfestigkeit des Betons ist im Bereich der Klebeflächen an jedem zu verstärkenden Bauteilabschnitt gemäß DIN 1048-2:1991-06, Abschnitt 6, zu prüfen und die Ergebnisse sind nach DIN 1048-2, Anhang A, auszuwerten. Die Prüfflächen müssen mit dem für die Ausführung vorgesehenen Verfahren vorbereitet worden sein. Vor dem Aufkleben der Prüfstempel ist die Prüffläche durch eine Ringnut, die etwa 1/5, mindestens aber 1/10 des Prüfstempeldurchmessers in den Beton eingreift, zu begrenzen. Der Mittelwert μ der Grundgesamtheit der Oberflächenzugfestigkeit gilt als Rechenwert f_{ctm} nach Abschnitt 2.1 der Anlage 2.
- Die Betondruckfestigkeit jedes zu verstärkenden Bauteilabschnitts ist gemäß DIN 1048-2:1991-06 und -4:1991-06 am Bauwerk zu bestimmen.
- Stahlart, Lage und Erhaltungszustand der vorhandenen Bewehrung sowie die Karbonatisierungstiefen sind festzustellen.
- Lage, Verlauf und Breite von Rissen sind zu erfassen.

¹ erhältlich beim Deutschen Institut für Bautechnik



4.3 Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil

Der Beton muss mindestens der Betonfestigkeitsklasse B 15 entsprechen.

Die Oberflächenzugfestigkeit der Betondeckung muss so sein, dass nach Vorbereitung der Betonklebefläche ein Rechenwert der Oberflächenzugfestigkeit von $f_{ctm} \geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ bei Unebenheiten $\leq 5 \text{ mm}$ erreicht wird. Größere Unebenheiten bis zu 30 mm müssen abgetragen oder mit Instandsetzungsmörtel nach Abschnitt 2.1.5 ausgeglichen werden.

Im Bereich der Klebefläche muss die Betondeckung mindestens 10 mm betragen.

Die Erfüllung der Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil ist vor Beginn der Maßnahmen zu prüfen und zu dokumentieren.

4.4 Anforderungen an Stahlteile

Für Stahlteile ist Stahl der Sorte S 235J2 nach DIN EN 10025-2:2005-04 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 12 944-4:1998-07 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 18 800-7:1983-05 (kleiner Eignungsnachweis) sind.

Schweißarbeiten an verklebten Laschenbügeln sind nicht zulässig.

Die Stahllaschenbügel sind nach dem Einbau gemäß Korrosionsschutzklasse III nach DIN EN ISO 12 944-4:1998-07 zu schützen. Für Sonderbelastungen müssen die Korrosionsschutzsysteme auf den Anwendungsfall abgestimmt werden.

4.5 Anforderungen an CFK-Werkstoff, CFK-Lamellen, Klebstoff, Primer und Instandsetzungsmörtel

Es dürfen nur die in Abschnitt 2.1 angegebenen Klebstoffe sowie zugehörige Primer verwendet werden.

Für den Ausgleich von Unebenheiten der vorbereiteten Betonoberfläche darf nur der in Abschnitt 2.1.5 angegebene Reaktionsharzmörtel verwendet werden.

Die "MC-DUR CFK-Lamellen" nach Abschnitt 2.1.1 dürfen nicht abgekantet oder scharfen Querpressungen ausgesetzt werden. Sie dürfen, falls erforderlich, auf der Baustelle mit einer geeigneten Schere passend geschnitten werden. Der kleinste Biegedurchmesser, der bei der Handhabung der CFK-Lamellen nicht unterschritten werden darf, beträgt 0,90 m.

Die "MC-DUR CFK-Lamellen" müssen - sofern sie in bewitterten Außenbereichen angewendet werden sollen - einen doppelten Schutzanstrich nach Abschnitt 2.1.6 erhalten.

In Bereichen, in denen die Gefahr einer mechanischen Beschädigung nach dem Einbau nicht auszuschließen ist, müssen die Lamellen gegen mechanische Verletzungen geschützt werden.

4.6 Oberflächenvorbereitung für die Betonbauteile

Risse im Beton, die zu Korrosion der Bewehrung führen können, sind zu verpressen.

Die zu verklebende Oberfläche des Betons muss z.B. durch Druckluftstrahlen mit festem Strahlmittel, Kugelstrahlen, Druckwasserstrahlen, mit Nadelpistole oder Stockgerät (inkl. Nacharbeitung) für die Verklebung vorbereitet werden bis der Grobzuschlag ($> 8 \text{ mm}$) sichtbar wird.

Die zu verklebende Betonoberfläche muss staubfrei sowie frei von losen Teilen sein. Weiterhin muss die Betonoberfläche trocken, im Sinne der DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandhaltung von Betonbauteilen": Oktober 2001, Teil 2, sein.



Die zu verklebende Oberfläche des Betons soll möglichst ebenflächlich sein, hierfür ist erforderlichenfalls der Instandsetzungsmörtel nach Abschnitt 2.1.5 zu verwenden.

4.7 Klebarbeiten

Die Bauprodukte dürfen in Abhängigkeit von der Verarbeitungstemperatur nur innerhalb des Zeitraums nach Anlage 3 verwendet werden.

Primerflächen der Stahllaschen müssen vor dem Verkleben angeschliffen und entstaubt sein.

Die "MC-DUR CFK-Lamellen" besitzen auf der Primär-Klebeseite eine Abreißfolie. Diese wird unmittelbar vor dem Auftragen des Klebstoffes abgezogen. Zusätzliche Reinigungsarbeiten mit dem Reinigungsmittel nach Abschnitt 2.1.5 sind nur erforderlich, wenn die Lamellen auf der Primär-Klebeseite verschmutzt wird oder fettig ist.

Während der Klebarbeiten darf die Temperatur von Luft und Beton den Mindestwert nach Anlage 3 für den Klebstoff nicht unterschreiten. Die Temperatur der Bauteile muss 3 K höher sein als die Taupunkttemperatur der Luft.

Die relative Luftfeuchte beim Verkleben darf nicht mehr als 75 % betragen.

Das Mischen der Komponenten des Klebstoffes nach Abschnitt 2.1.2 muss mechanisch mit niedrigtourigen (< 300 U/min) Mischgeräten erfolgen. Die Komponenten müssen sorgfältig so lange gemischt werden, bis eine homogene und schlierenfreie Klebmasse vorliegt. Die Mischung ist umzutopfen. Das fertige Gemisch darf keine Knollen oder dergleichen enthalten und muss einen gleichmäßigen Farbton aufweisen.

Auf den Betonuntergrund ist eine Spachtelung mit dem Klebstoff nach Abschnitt 2.1.4 aufzubringen. Der Klebstoff ist ca. 2 mm dick dachförmig, in Form eines gleichschenkligen Profils mit Überhöhung in der Mitte auf die CFK-Lamelle bzw. Stahllasche aufzutragen; diese ist vorsichtig und gleichmäßig anzudrücken. Der Klebstoff darf dabei nur gleichmäßig mit einem leichten Bauch aus der Fuge gedrückt werden, so dass eine Mindestklebstoffdicke von 1 mm verbleibt. Der Anpressdruck muss so aufgebracht werden, dass die Lamellen streng eben bleiben. Innerhalb der ausnutzbaren Verarbeitungszeit nach Anlage 3, Tabelle 1, müssen der Klebstoff auf die Bauteile aufgetragen und die Bauteile in ihrer endgültigen Lage fixiert sein. Die Bauteile dürfen nach dem Fixieren keine Erschütterungen und Bewegungen erleiden.

Bei Verstärkung mit Schublaschen ist eine Unterstützung für die Dauer der Aushärtung nach Anlage 3 erforderlich. Wird davon abgewichen, kann durch Haftzugversuche nach Abschnitt 4.8.3 der Nachweis geführt werden, dass Betonbruch erreicht wird, oder nach Abschnitt 4.8.4, dass volle Aushärtung erreicht wurde.

Sollen CFK-Lamellen mehrlagig miteinander verklebt werden, so ist nach erfolgter Aushärtung der ersten bereits verklebten Lamelle deren Oberseite mit dem Reiniger nach Abschnitt 2.1.7 zu reinigen und zu aktivieren. Sofern auch diese Seite mit einem Abreißgewebe ausgestattet ist, muss dieses entfernt werden. Weiter Vorbereitungen sind in diesem Fall nicht erforderlich.

Die Belastung der Konstruktion darf bei einer mittleren Bauwerkstemperatur von 20 °C frühestens zwei Tage nach Beendigung der Klebarbeiten erfolgen. Bei niedrigeren oder höheren Bauteiltemperaturen sowie Unsicherheiten über die Aushärtung des Klebstoffes sind die Erhärtungsnachweise gemäß Abschnitt 4.8.4 bei den auftretenden Temperaturen maßgebend.

4.8 Prüfungen während der Ausführung

4.8.1 Überprüfung der Voraussetzungen

Der Bauausführende hat sich davon zu überzeugen, dass

- a) CFK-Lamellen, Klebstoff und Primer mit dem dieser Zulassung entsprechenden Ü-Zeichen gekennzeichnet sind,
- b) das Verbrauchsdatum noch nicht abgelaufen ist,
- c) die in den Abschnitten 4.1 bis 4.7 genannten Bedingungen eingehalten sind.



4.8.2 Prüfung der Oberflächenzugfestigkeit des Betons und des Ausgleichmörtels

Auf der gemäß Abschnitt 4.6 vorbehandelten Betonfläche wird an mindestens fünf Stellen die Oberflächenzugfestigkeit des Betons gemäß DIN 1048-2:1991-06, Abschnitt 6, mit Ringnut ermittelt (siehe Abschnitt 4.2).

Sofern der Instandsetzungsmörtel nach 2.1.5 verwendet wird, sind im Randbereich der Ausgleichsschicht je m² eine bzw. bei größeren Flächen drei Prüfungen durchzuführen. Die Auswertung erfolgt gemäß Abschnitt 4.2.

4.8.3 Prüfung der Haftung des Klebstoffes auf Beton, Instandsetzungsmörtel, CFK und Stahl

Zur Bestimmung der Belastbarkeit der Klebverstärkung ist die Haftung des Klebstoffes auf der Baustelle zu prüfen. Die Beurteilung der Klebung erfolgt durch fünf Abreißversuche mit aufgeklebten Prüfstempeln. Es sind mindestens fünf Abschnitte der CFK-Lamelle mit dem zugelassenen Klebstoff auf den Beton oder Instandsetzungsmörtel nach Abschnitt 2.1.5 und hierauf Prüfstempel Ø 50 mm zu kleben. Die Abreißprüfung nach Klebstoffhärtung muss Betonbruch ergeben.

4.8.4 Erhärtungsprüfung und Prüfung des Klebstoffes auf Stahl, Primer und auf CFK

Zur Überprüfung der Belastbarkeit der Klebverstärkung und der Haftung von Klebstoff auf Primer und Stahl bei Raumtemperatur von 20 °C sind mindestens drei Prüfstempel Ø 20 mm auf eine Stahlplatte mit einer Dicke von ≥ 15 mm oder ein vergleichbar steifes Stahlprofil zu kleben und abzuziehen. Bei Prüfung nach 48 Stunden muss die Haftzugfestigkeit von 14 N/mm² erreicht werden. Die Stahlplatte ist wie die Laschenbügel vorzubehandeln (ggf. einschließlich Primerung). Soll die Haftung auf CFK mit überprüft werden, ist ein Abschnitt einer CFK Lamelle dazwischen zu kleben.

4.8.5 Kontrolle nach der Ausführung

Die Ebenheit der Zuglamellen nach dem Verkleben ist sofort nach der Entfernung der gegebenenfalls verwendeten Unterstützung zu überprüfen. Dabei darf auf einer Prüfstrecke von 30 cm die Abweichung von einer ebenen Fläche nicht mehr als $\Delta h = 1$ mm betragen.

Einsinnige Krümmungen, welche die gezogene Lamelle gegen den Beton drücken, sind nicht zu beanstanden.

Die Laschenbügel sind nach der Aushärtung der Verklebung auf Hohlräume abzuklopfen. Hohlräume müssen durch Epoxidharzsysteme nach der DAfStb Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen" mit leichtem Druck gefüllt werden.

4.9 Überwachung der Ausführung

4.9.1 Allgemeines

Für die Überwachung der Ausführung gilt die DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 3, Abschnitt 2. Neben der Überwachung durch das ausführende Unternehmen besteht eine Überwachungspflicht durch eine dafür Überwachungsstelle. Gemäß "Verzeichnis der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen"², Teil V, sind folgende Stellen vom Deutschen Institut für Bautechnik anerkannt³:

Materialprüfanstalt für das Bauwesen an der TU München
Theresienstraße 90
80333 München



² Die aktualisierte Fassung wird jährlich in einem Sonderheft der Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik veröffentlicht.

³ Die Anerkennung als Überwachungsstelle ist beim Deutschen Institut für Bautechnik zu beantragen.

Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Beethovenstraße 52
38106 Braunschweig

Gütegemeinschaft Erhaltung von Bauwerken e.V.
Kurfürstenstraße 130
10785 Berlin

Die Voraussetzungen gemäß Abschnitt 4.9.2 sowie die Vollständigkeit der Überwachung durch den Bauausführenden sind im Abstand von drei Jahren durch die Überwachungsstelle zu kontrollieren, die die Bescheinigung über die Eignung des Betriebes gemäß "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch Ankleben von Stahllaschen und CFK-Lamellen (Fassung Oktober 2002)" erteilt hat.

4.9.2 Voraussetzungen

Der ausführende Betrieb muss seine Eignung zur bestimmungsgemäßen Herstellung von Verstärkungen von Betonbauteilen durch Ankleben von CFK-Lamellen durch eine geltende Bescheinigung gemäß "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch Ankleben von Stahllaschen und CFK-Lamellen (Fassung Oktober 2002)"¹ nachweisen.

Der Betrieb muss über eine qualifizierte Führungskraft und über Baustellenfachpersonal gemäß "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch Ankleben von Stahllaschen und CFK-Lamellen (Fassung Oktober 2002)"¹ verfügen.

4.9.3 Aufzeichnungen

Jeder ausführende Betrieb hat eine Liste der ausgeführten Bauobjekte zu führen und der Überwachungsstelle auf Verlangen vorzulegen. Die Liste muss mindestens folgende Angaben enthalten:

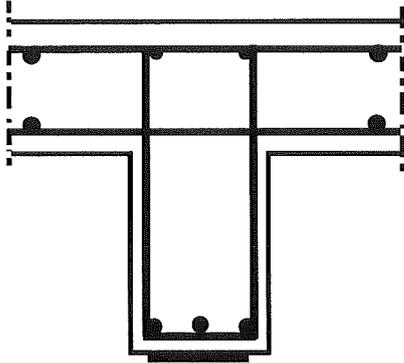
1. Name, Ort und Art des Bauobjektes
2. Anzahl und Abmessungen der Lamellen
3. Aufsteller und Prüfer der statischen Berechnung, Verstärkungsgrad
4. Zeitpunkt der Verstärkung
5. Eigenschaften von Beton und Betonstahl nach Abschnitt 4.2
6. Art und Bezeichnung der verbrauchten Klebstoffe, Primer, Instandsetzungsmörtel und Haftbrücke
7. Name des Bauleiters und des Kolonnenführers, der Klebearbeiten an Beton bereits ausgeführt hat (SIVV-Schein)
8. Ergebnisse der folgenden Kontrollen bzw. Prüfungen:
 - Lufttemperatur und Bauteiltemperatur
 - relative Luftfeuchten
 - ggf. Haftzugfestigkeit des Primers
 - Oberflächenzugfestigkeit des Betons
 - Haftzugfestigkeit von Mörtelschichten
 - Erhärtungsprüfungen des Klebstoffes auf Beton und CFK
 - Erhärtungsprüfungen des Klebstoffes auf Stahl
 - Ebenheit der Lamellen
 - Ergebnisse der Überprüfung und eventuelle Ausbesserung nach Abschnitt 4.8.5, letzter Absatz.

Häusler

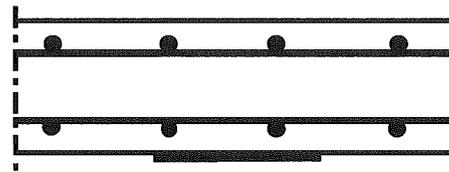


Verstärkung ohne Schublaschen

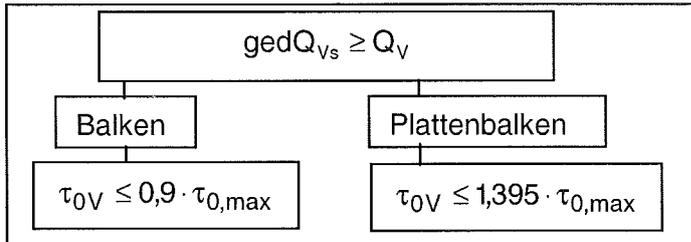
Balken / Plattenbalken



Platte



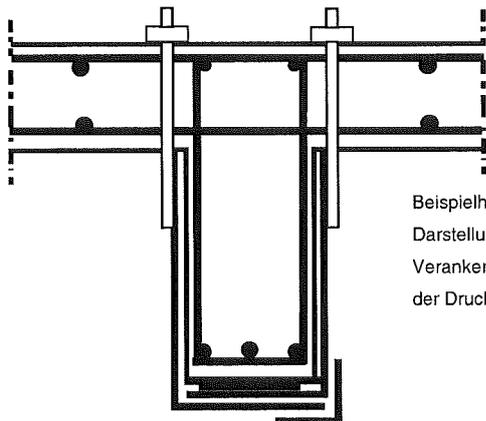
$$\tau_{0V} \leq \begin{cases} \tau_{011} \text{ (Zeile 1b)} \\ \tau_{0,max} \text{ nach Anlage 2} \end{cases}$$



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

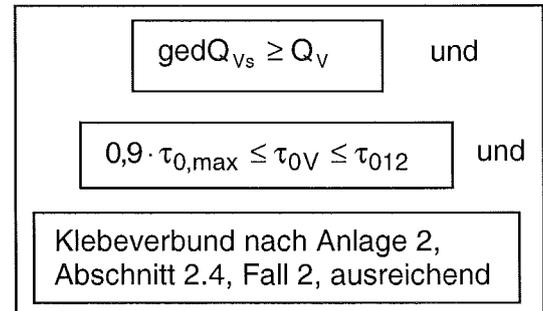
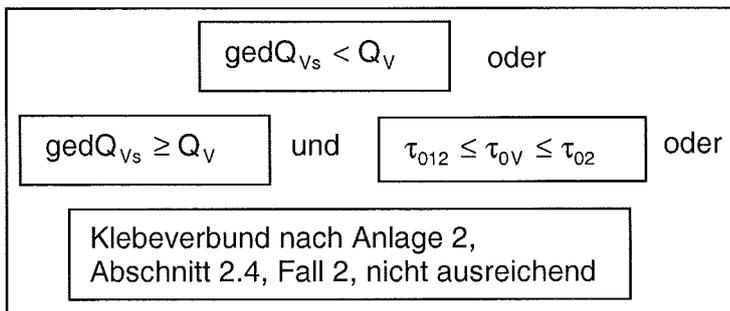
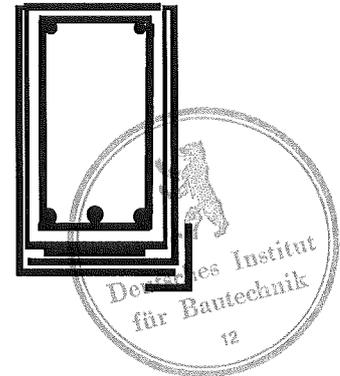
Verstärkung mit Schublaschen aus Stahl S 235J2 nach DIN 10 025-2:2005-04

Fall 1 Balken / Plattenbalken



Beispielhafte Darstellung der Verankerung in der Druckzone

Fall 2 Balken



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 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, 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 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_i . Zum Größtwert $T_{k,max}$ gehört die Verankerungslänge $l_{i,max}$.

Beide sind wie folgt zu ermitteln:

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

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

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

$f_{cm,cube}$ 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_i 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 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 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_I 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_I vom Auflagertrand beginnend nachzuweisen.

Für dieses Zwischenrisselement ist der Spannungszuwachs vorh $\Delta\sigma_L^1$ in der CFK-Lamelle zu ermitteln. Die Spannungen σ_L^1 sowie der Spannungszuwachs 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 3 vorgenommen werden darf.).

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

2.4.1.1 Bestimmung des Rissbildes

Das Versatzmaß v_I darf vereinfachend wie folgt ermittelt werden:

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

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 – 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:

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

→ **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

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

2.4.1.3 Bestimmung des Verbundwiderstands

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

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

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

$f_{cm,cube}$ 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 1045:1988-07 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 1045:1988-07, 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 1045: 1988-07, Tabelle 13, Zeile 1b

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

mit

β_W Betondruckfestigkeitsklasse – entspricht der Nennfestigkeit des β_{WN} nach DIN 1045:1988-07

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 $a_{r,\text{mod}}$ eingesetzt werden:

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

mit:

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



ϵ_L Rechenwert der Lamellendehnung im verstärkten Zustand

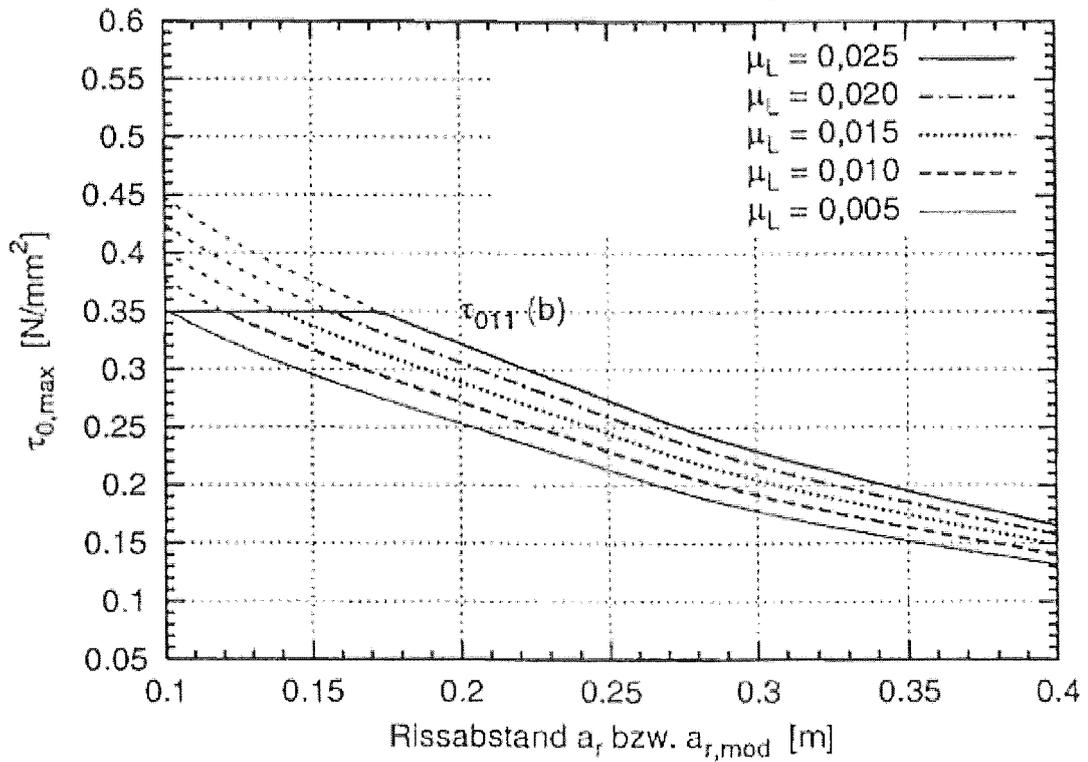


Diagramm 1: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\epsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 15 \frac{N}{mm^2}$

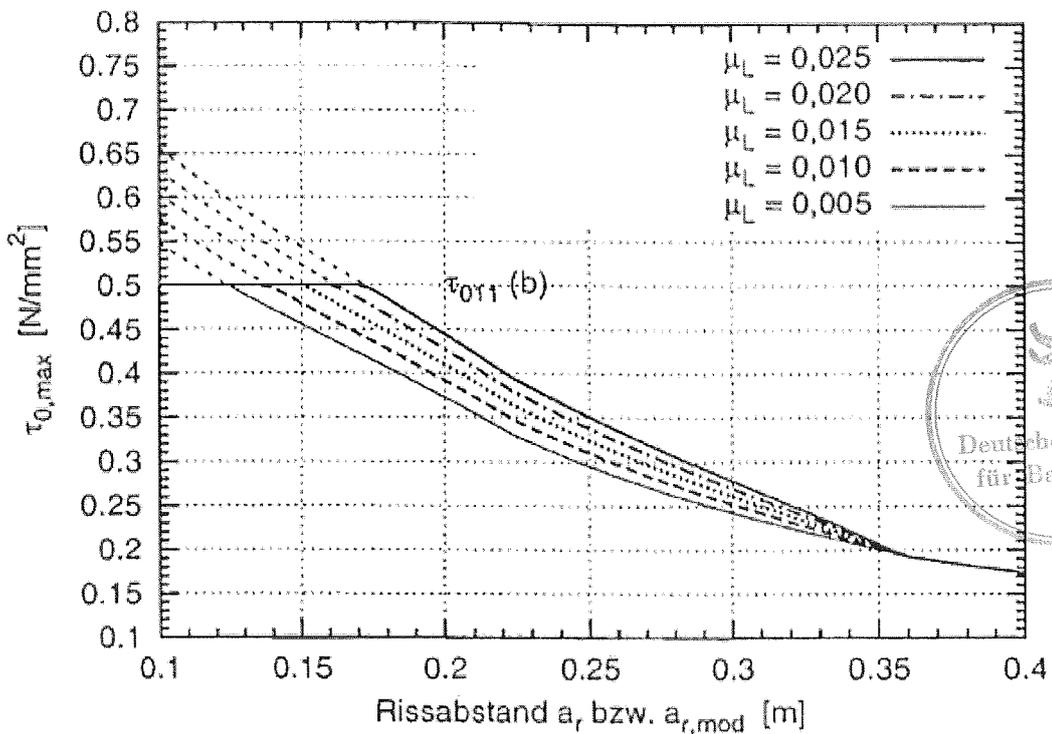


Diagramm 2: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\epsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 25 \frac{N}{mm^2}$



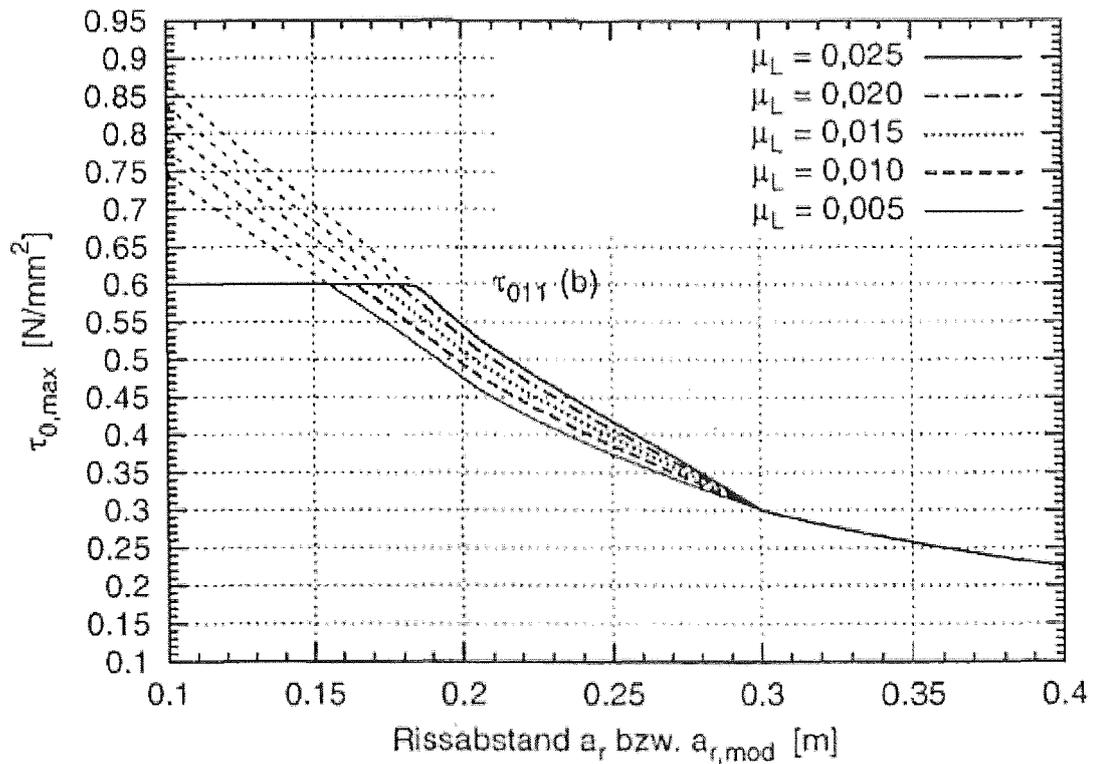


Diagramm 3: : Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\epsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 35 \frac{N}{mm^2}$

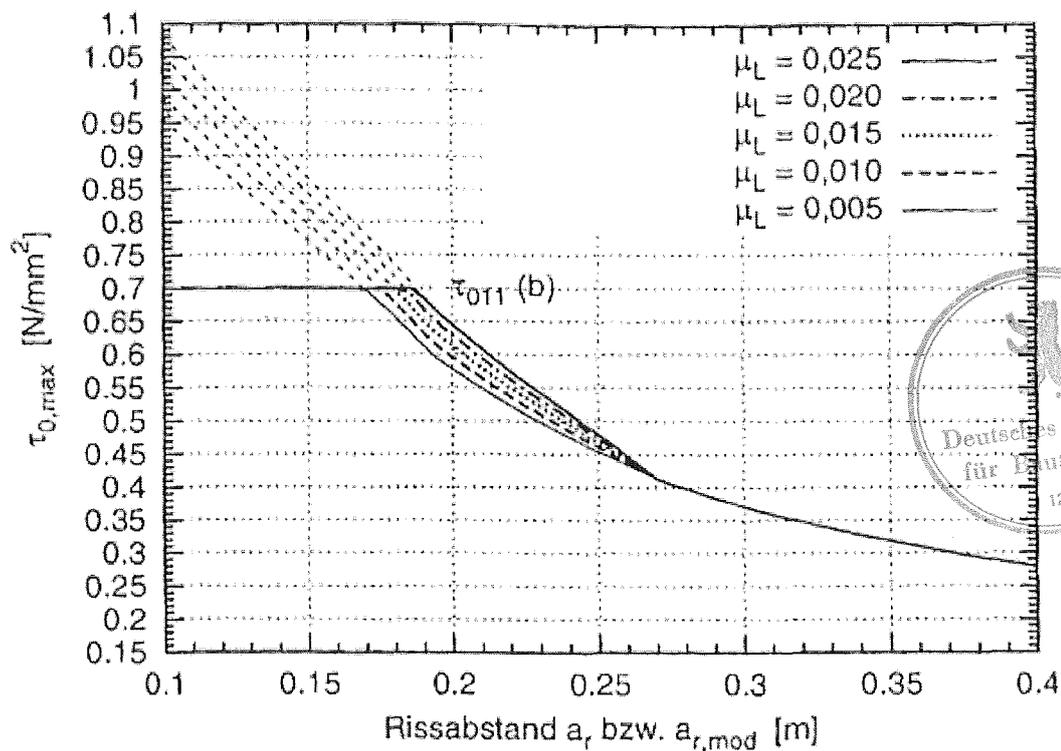
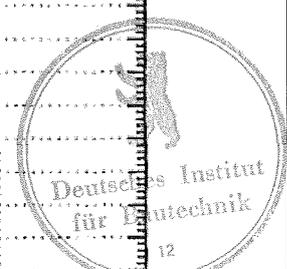


Diagramm 4: : Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\epsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 45 \frac{N}{mm^2}$



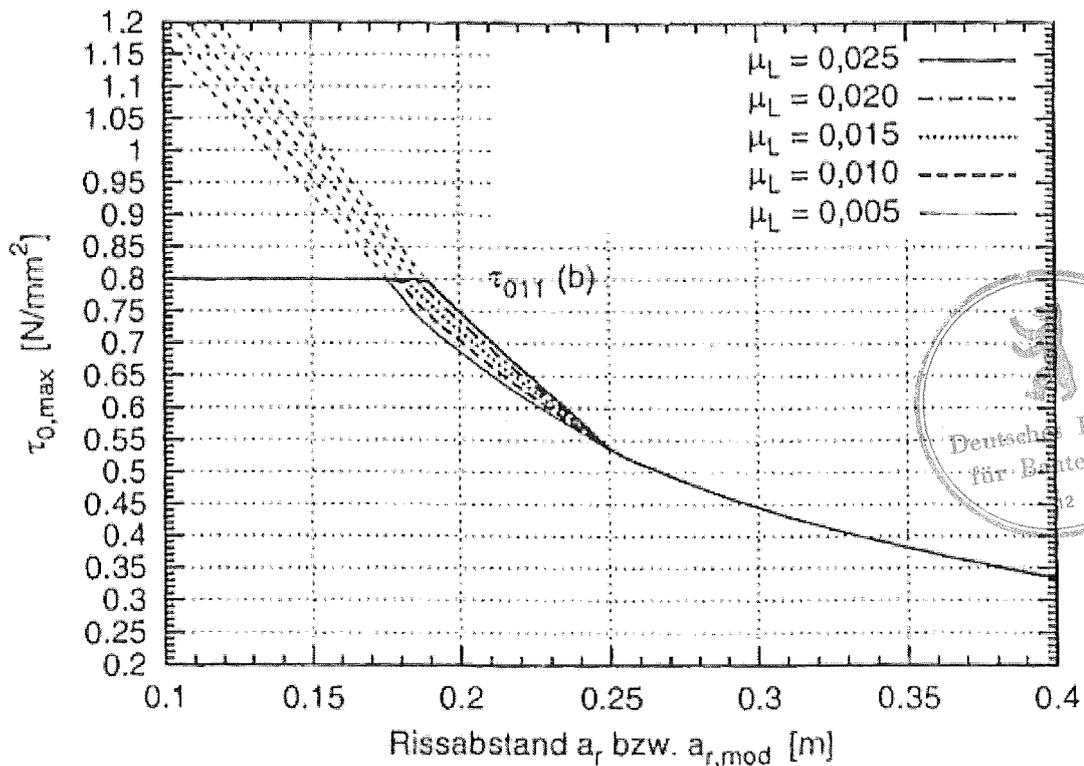


Diagramm 5: Grenzwert $\tau_{0,max}$ für $\varepsilon_L = 8,5\text{‰}$, $\beta_W = 55 \frac{N}{mm^2}$

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

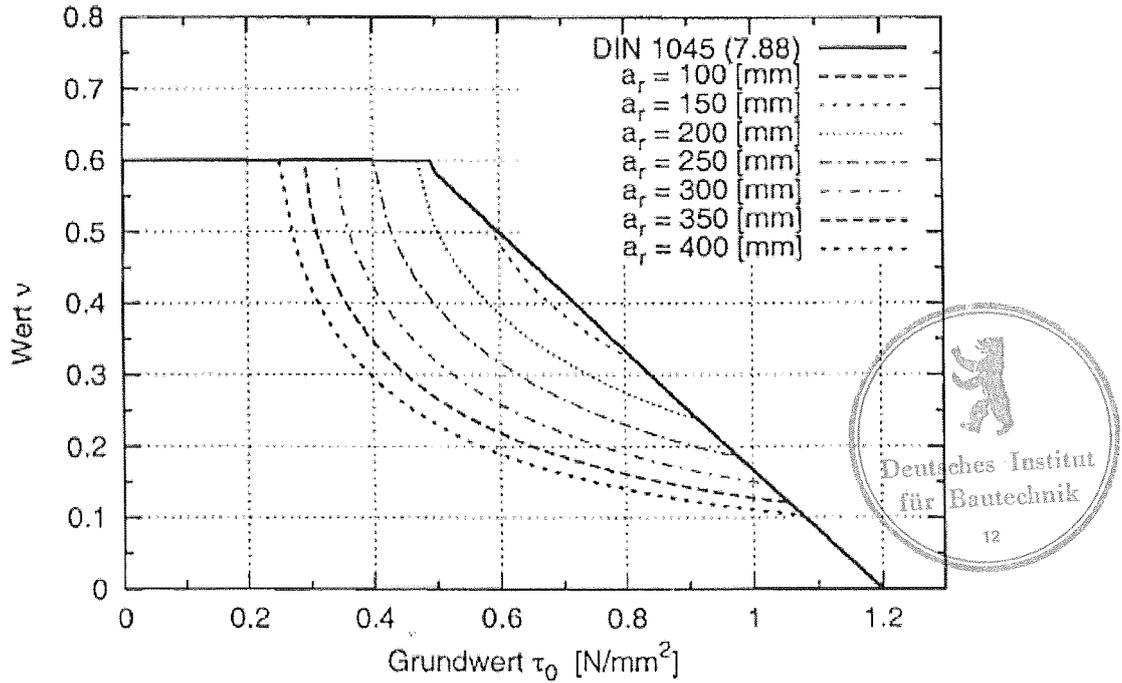


Diagramm 6: Beiwert ν für $\epsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 15 \frac{N}{mm^2}$

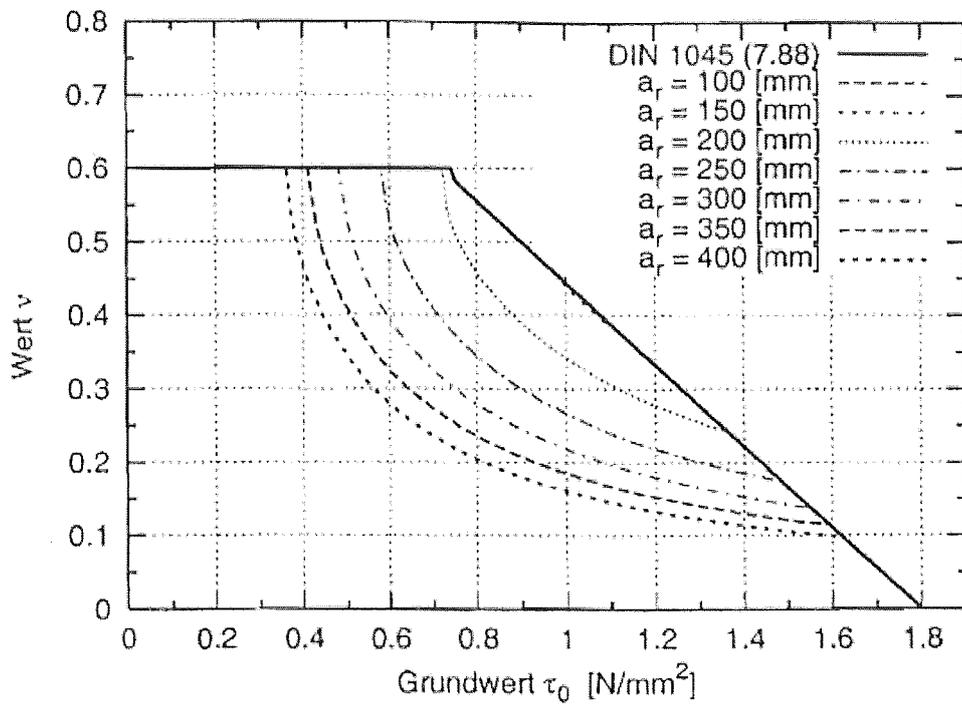


Diagramm 7: Beiwert ν für $\epsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 25 \frac{N}{mm^2}$

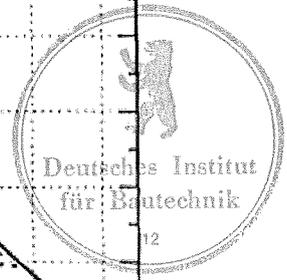
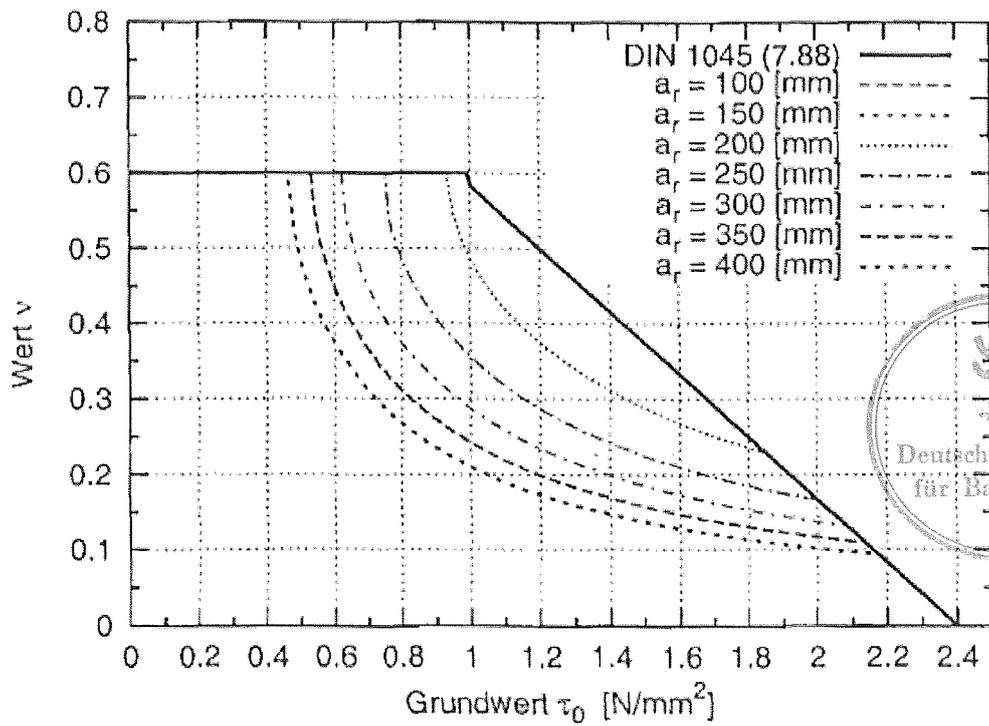


Diagramm 8: Beiwert ν für $\varepsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 35 \frac{N}{mm^2}$

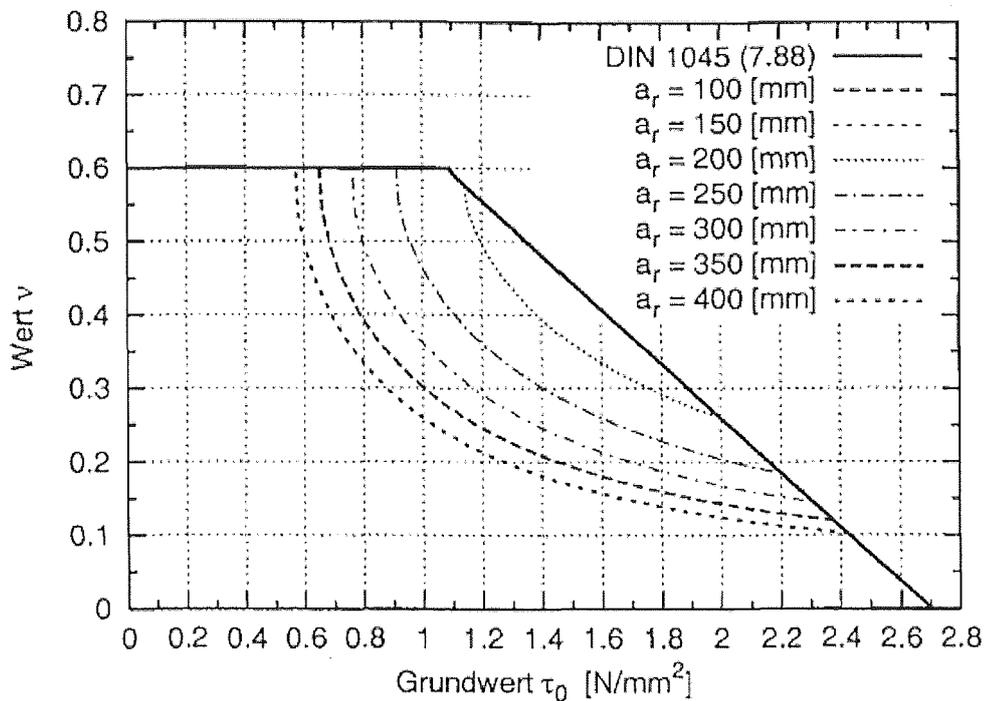


Diagramm 9: Beiwert ν für $\varepsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 45 \frac{N}{mm^2}$

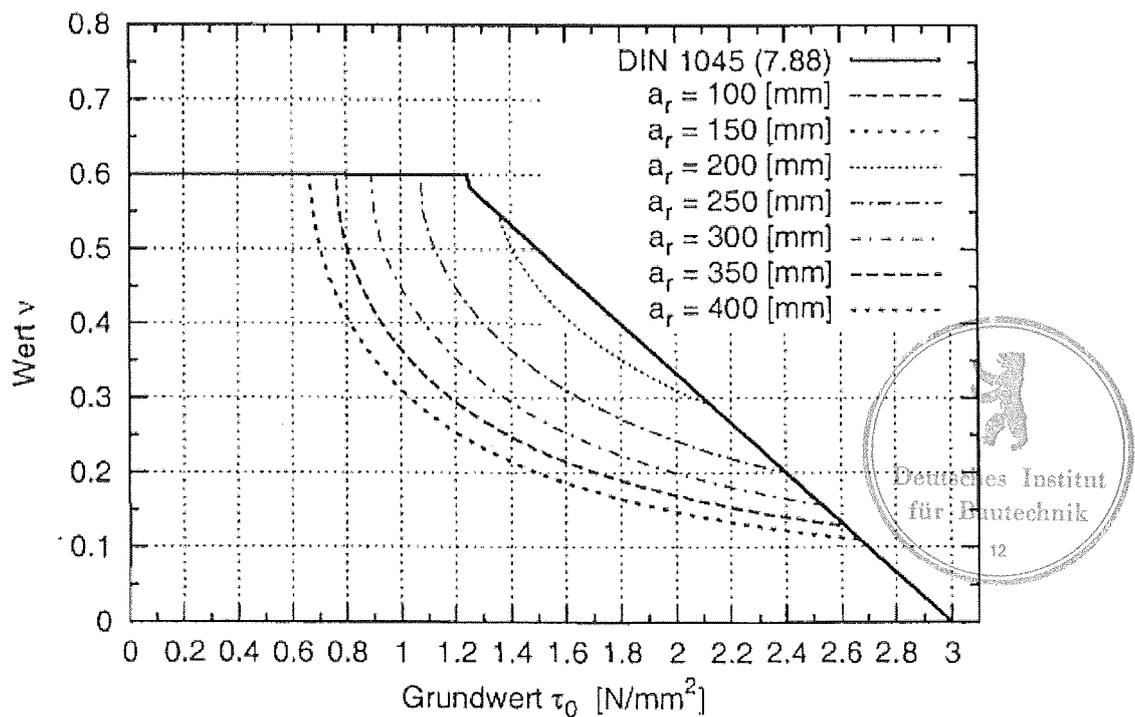


Diagramm 10: Beiwert ν für $\epsilon_L = 8,5\%$, $\beta_W = 55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

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 Schubbereich 1 gemäß DIN 1045:1988-07, Abschnitte 17.5.5.2 und für den Schubbereich 2 nach dieser Anlage nachzuweisen.

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 τ_{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 $ged Q_{Vs}$ 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.

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

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

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

$f_{cm,cube}$ 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 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).



MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG
Fachbereich Oberflächenschutz

**Bemessung
CFK-Lamellen
DIN 1045:1988-07**

Anlage 2, Blatt 15 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-63
vom 12. Juni 2008

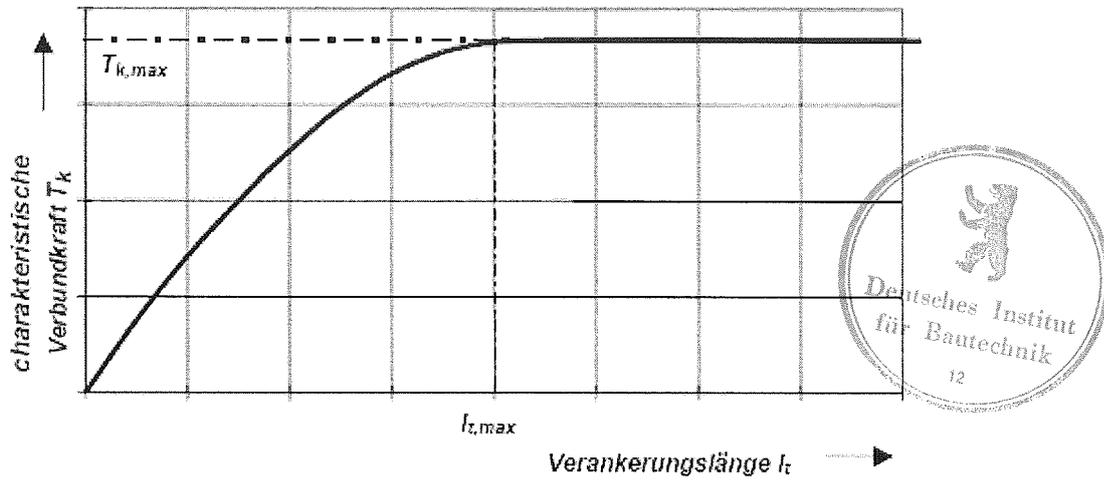


Bild 1: Zusammenhang zwischen der charakteristischen Verbundbruchkraft und der Verankerungslänge (Qualitativ)

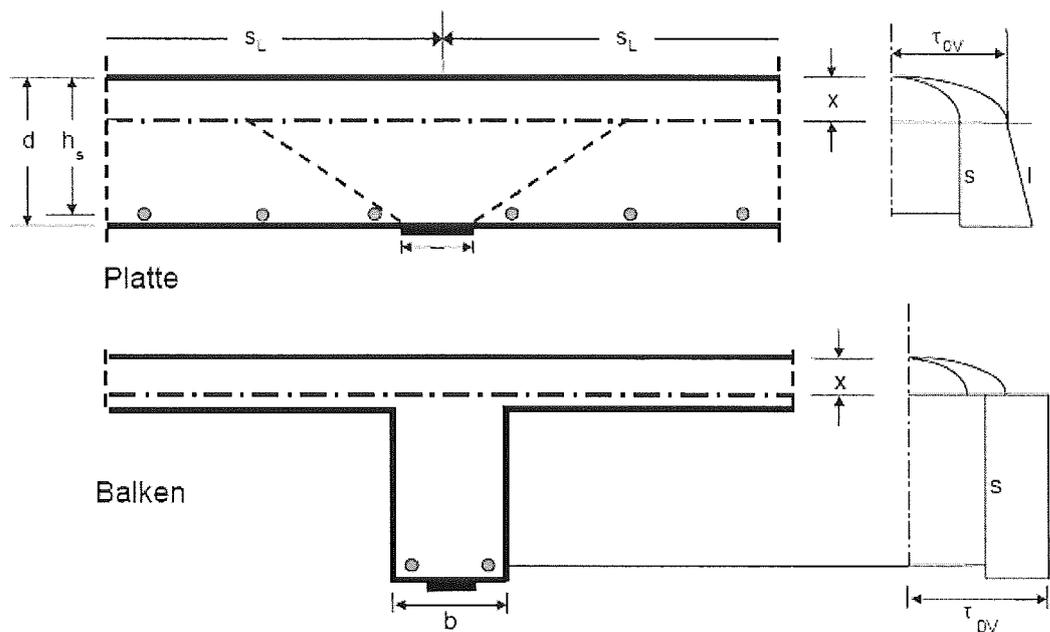


Bild 2: Schubspannungen des verstärkten Bauteils im Gebrauchszustand

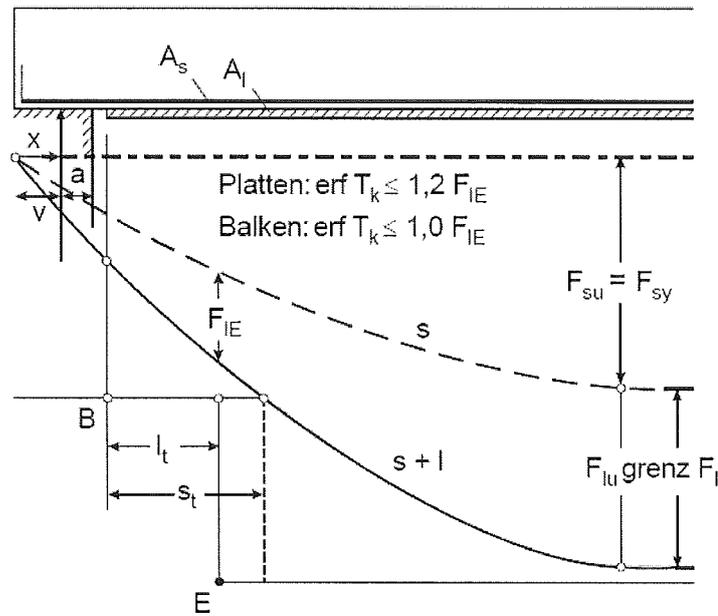


Bild 3: Zugkraftdeckung und Lamellenverankerung an Endauflagern

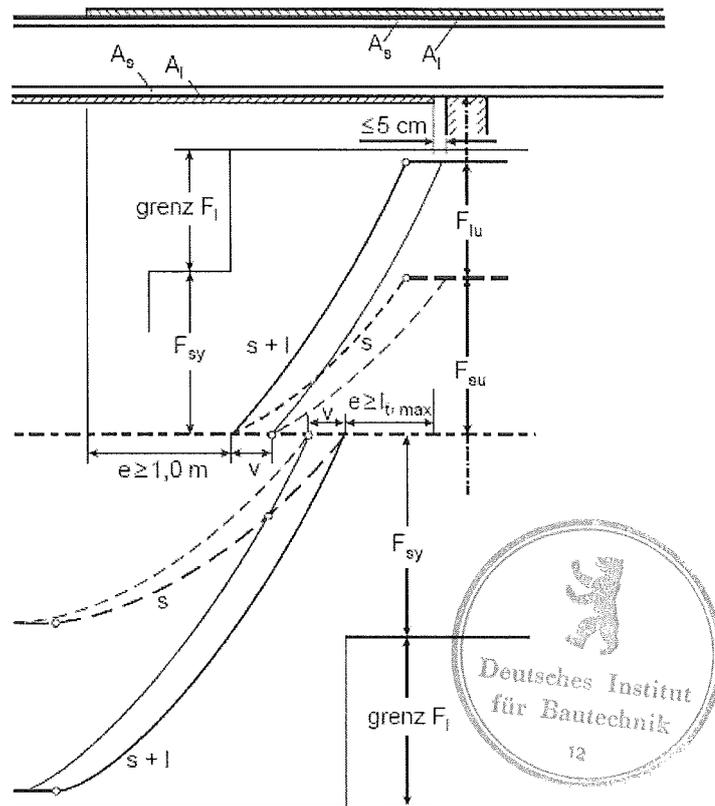
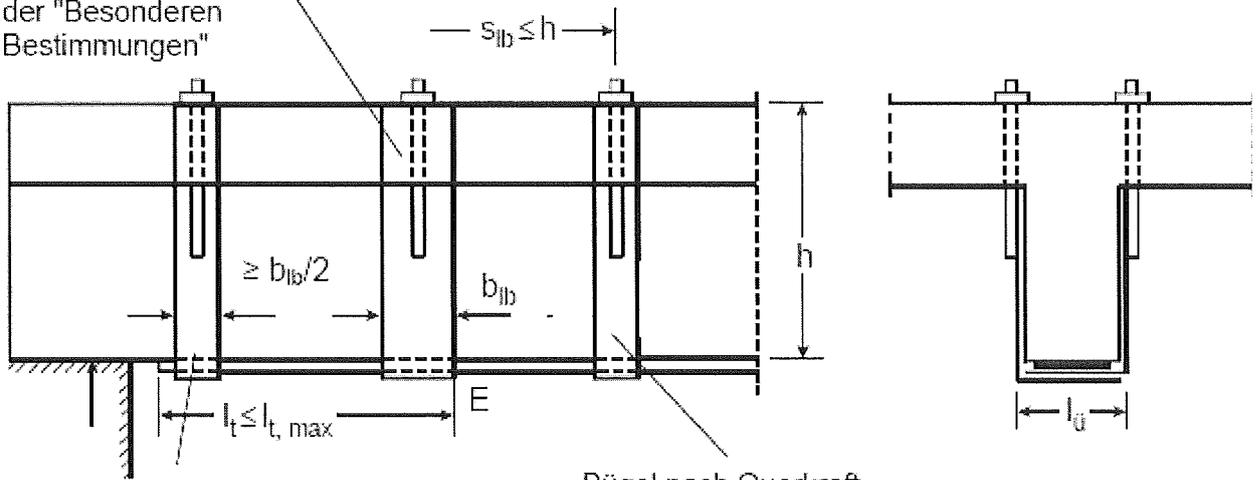


Bild 4: Lamellenverankerung an Innenauflegern

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)

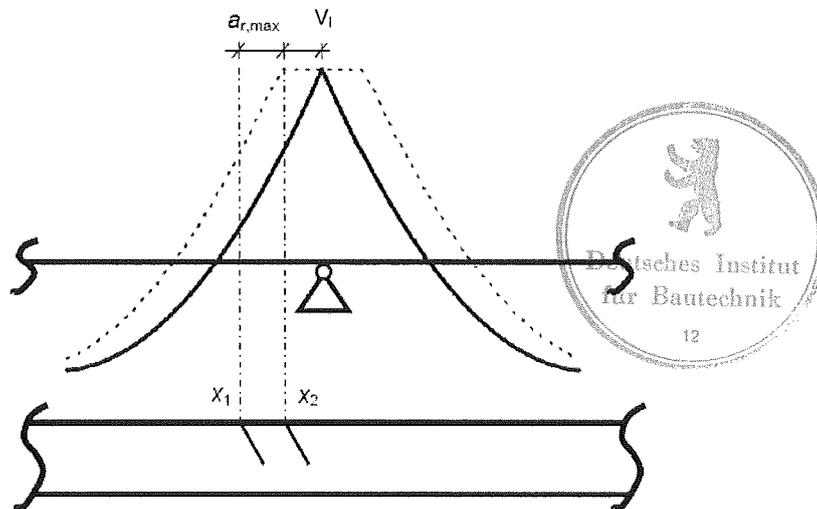
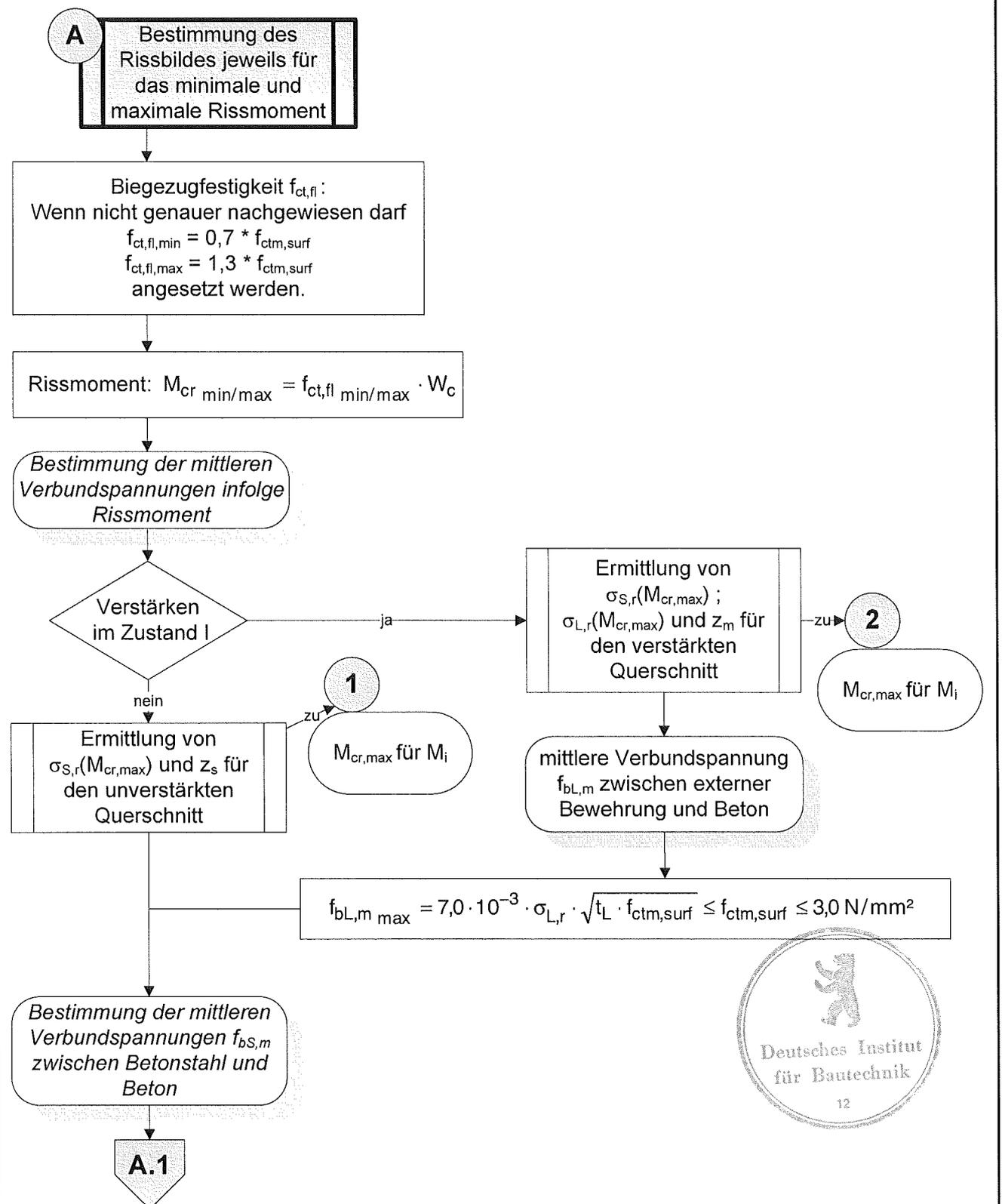


Bild 6: Lage des betrachteten Zwischenrisselements

Flussdiagramme zur Ermittlung des Rissabstandes a_r :

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



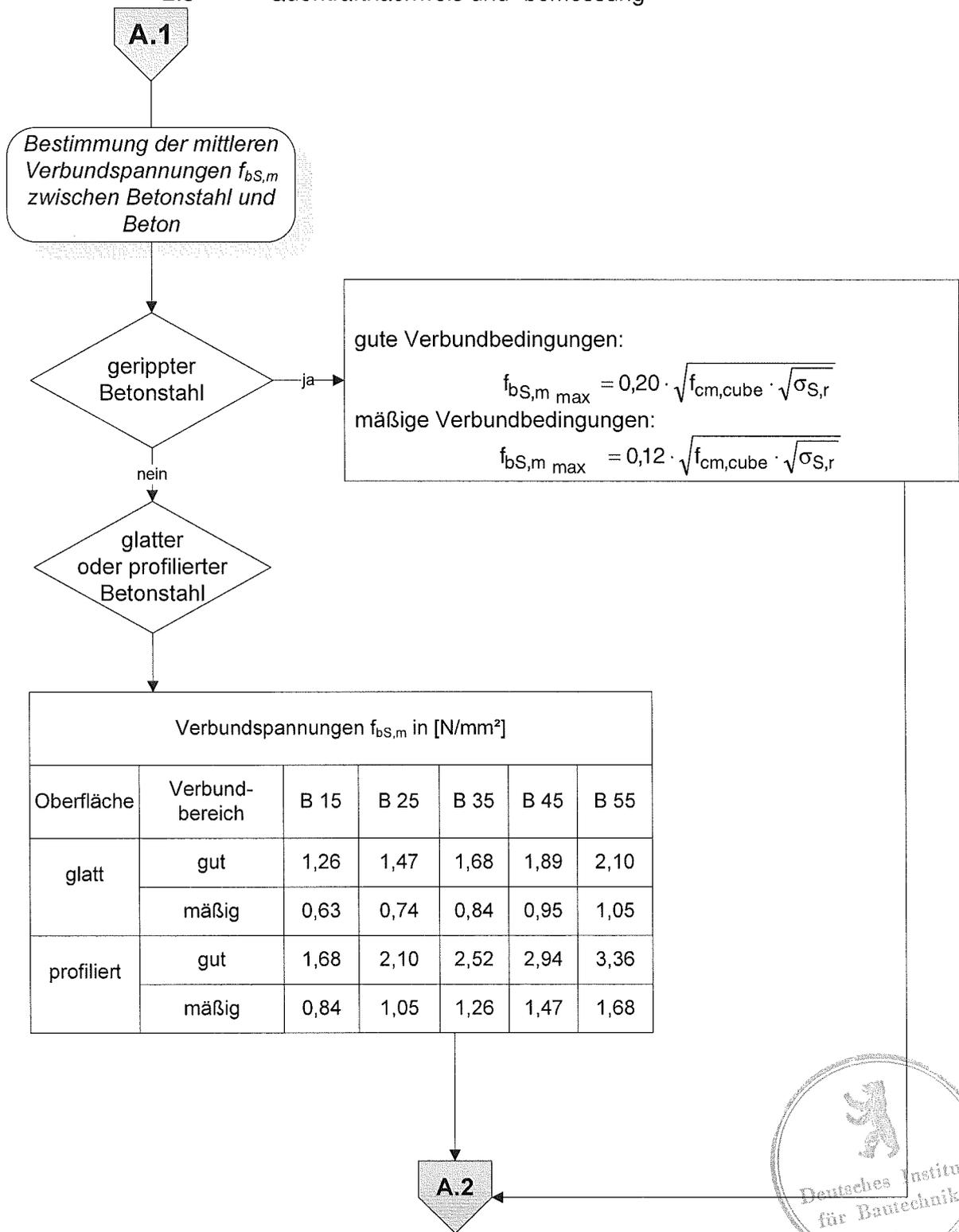

MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG
 Fachbereich Oberflächenschutz

**Bemessung
 CFK-Lamellen
 DIN 1045:1988-07**

Anlage 2, Blatt 19 / 26
 zur allgemeinen
 bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-63
 vom 12. Juni 2008

Teilschema A.1 für die Nachweise nach den Abschnitten

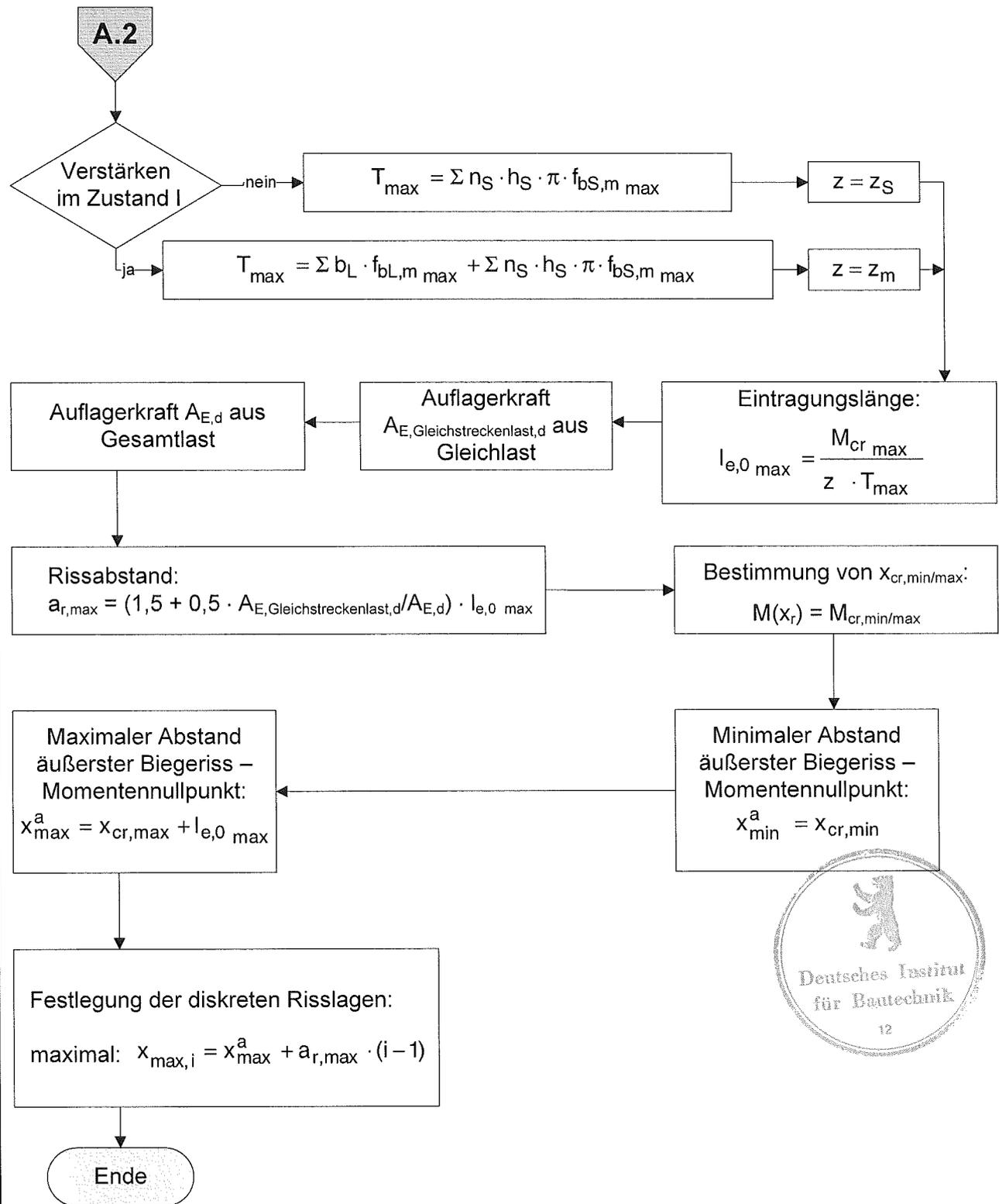
2.4.1.1 – Nachweis der Verbundtragfähigkeit über Innenstützen (Bestimmung des Rissbildes) und
 2.5 – Querkraftnachweis und -bemessung



→

 MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG Fachbereich Oberflächenschutz	<p align="center">Bemessung CFK-Lamellen DIN 1045:1988-07</p>	<p align="center">Anlage 2, Blatt 20 / 26 zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-63 vom 12. Juni 2008</p>
---	--	--

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

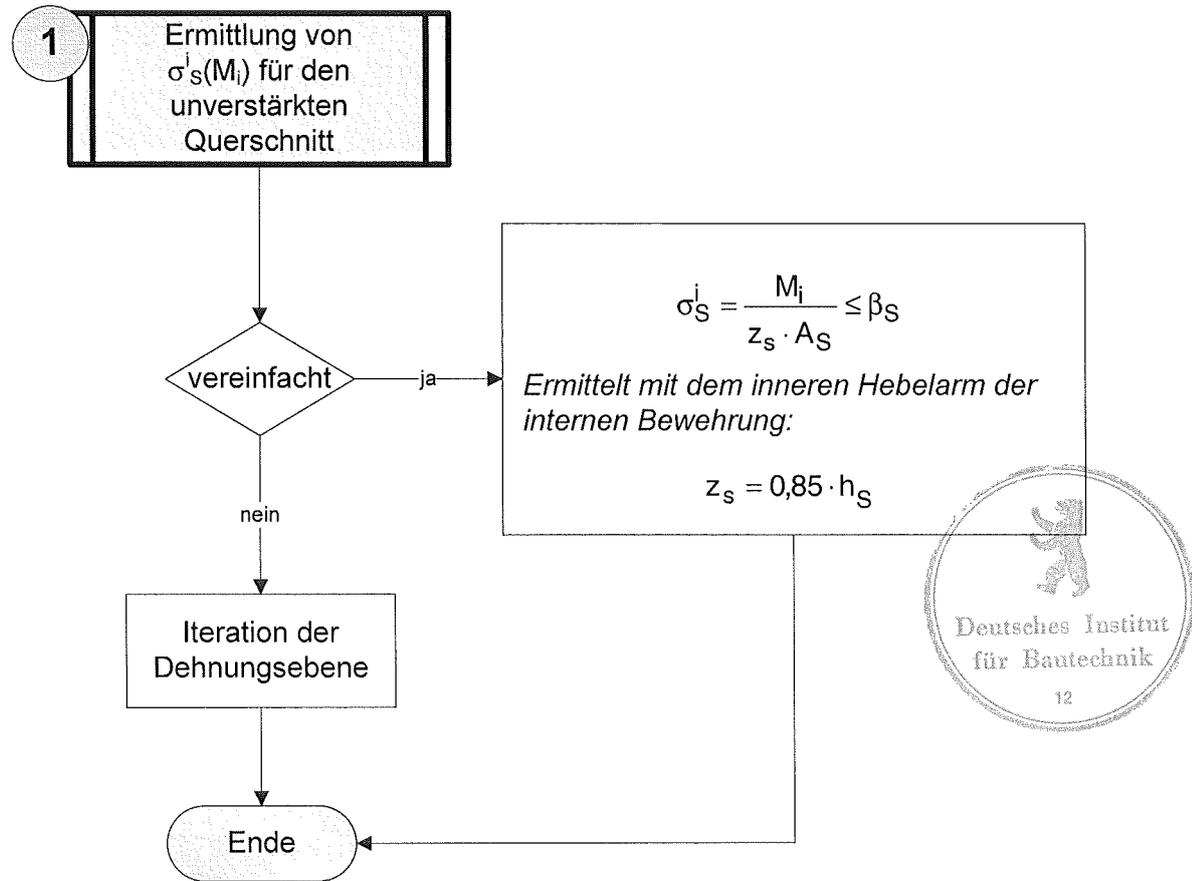



MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG
Fachbereich Oberflächenschutz

**Bemessung
CFK-Lamellen
DIN 1045:1988-07**

Anlage 2, Blatt 21 / 26
zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-63
vom 12. Juni 2008

- **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



→ **Teilschema 2** für den Nachweis Abschnitt 2.5 - Querkraftnachweis und -bemessung

2

Ermittlung von $\sigma'_S(M_i)$
und $\sigma'_L(M_i)$ für den
verstärkten Querschnitt

vereinfacht

ja

$$\sigma'_S = \frac{M_i}{z_m} \cdot \frac{h_S \cdot E_S}{h_L \cdot E_L \cdot A_L + h_S \cdot E_S \cdot A_S} \leq \beta_S$$

Ermittelt mit dem mittleren inneren Hebelarm von
interner und externer Bewehrung:

$$z_m = 0,85 \cdot \frac{h_L \cdot E_L \cdot A_L + h_S \cdot E_S \cdot A_S}{E_L \cdot A_L + E_S \cdot A_S}$$

nein

Iteration der
Dehnungsebene

$$\sigma'_L = \left(\frac{M_i}{z_m} - (A_S \cdot \beta_S) \right) / A_L$$

$\sigma'_S = \beta_S$

ja

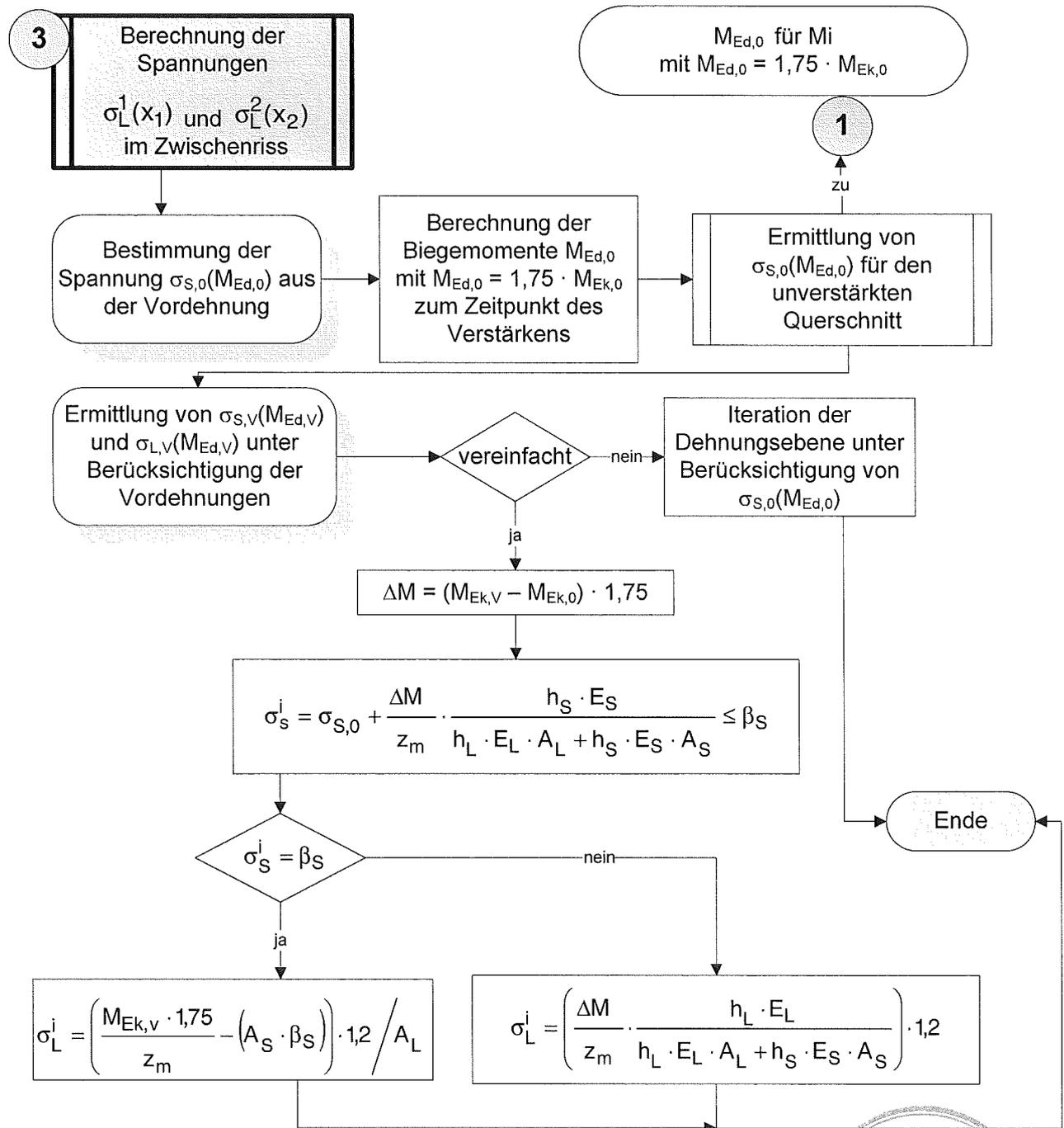
nein

$$\sigma'_L = \frac{M_i}{z_m} \cdot \frac{h_L \cdot E_L}{h_L \cdot E_L \cdot A_L + h_S \cdot E_S \cdot A_S}$$

Ende



→ **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
 $f_{ct,fl,min}$ - Biegezugfestigkeit (unterer Wert) 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

- $T_{min/max}$ - minimaler und 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
 $M_{cr,min}, M_{cr,max}$ - minimales und maximales Rissmoment
 $l_{e,0}$ - Eintragungslänge unter Wirkung des Rissmoments

$a_{r,min}$, $a_{r,max}$ - minimaler und maximaler Rissabstand

$x_{cr,min}$, $x_{cr,max}$ - Abstand der Stelle, an der bei minimaler und maximaler Biegezugfestigkeit die Risschnittgröße erreicht wird, zum Momentennullpunkt

x_{min}^a , x_{max}^a - minimaler und maximaler Abstand des äußersten Biegerisses zum Momentennullpunkt

$x_{min,i}$, $x_{max,i}$ - minimaler und maximaler Abstand der diskreten Rislagen

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



Tabelle 1: Verarbeitungszeit und Unterstützungsdauer für den Klebstoff "MC-DUR 1280"

Temperatur [°C]	ausnutzbare Verarbeitungszeit [min]	Unterstützungsdauer [h]
≥ 8	≤ 60	30
≤ 20	≤ 45	20
≤ 30	≤ 20	15

Maximale Dauertemperatur nach der Aushärtung 40°C



Tabelle 1: Werkseigene Produktionskontrolle für "MC-DUR CFK-Lamellen"

Prüfung		Häufigkeit
1	Eingangskontrolle der Herstellererklärungen der angelieferten Werkstoffe	jede Lieferung
2	Sichtkontrolle auf Fehlstellen	laufend
3	Statischer E-Modul der Lamelle in Längsrichtung in Anlehnung an DIN EN 2561:1995-11	eine Prüfung je Charge, mindestens aber alle 1000 m
4	Glasübergangspunkt nach DIN EN 61006	
5	Lamellenzugfestigkeit in Anlehnung an DIN EN 2561:1995-11	
6	Bruchdehnung in Anlehnung an DIN EN 2561:1995-11	

Fremdüberwachung für "MC-DUR CFK- Lamellen"

Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrolle und alle Prüfungen 3 bis 6 stichprobenartig; Überprüfung des Glasübergangspunktes mittels thermomechanischer und DSC Analyse nach DIN EN 61006

Tabelle 2: Werkseigene Produktionskontrolle des Klebers, des Primers und der Haftbrücke

Prüfverfahren	Häufigkeit	Grenzwerte
1 Topfzeit des angerührten Klebstoffes bei 23°C	jede Fertigungs-Charge	Mindestwerte 18 Minuten
2 Haftzugfestigkeit eines auf einem Stahlträger geklebten Stahlstempels mit Ø 20 mm und einer Dicke von 25 mm	je 3 Proben*/Charge nach 48 h bei RT. zu prüfen	Mindestwerte 14 N/mm ²
* mit und ohne Primer		

Fremdüberwachung des Klebers, des Primers und der Haftbrücke

Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrolle zweimal jährlich und stichprobenartige Kontrolle der Prüfungen 1 und 2

Tabelle 3: Werkseigene Produktionskontrolle für Instandsetzungsmörtel "MC-DUR Parat 09"

An den Komponenten	Prüfverfahren	Grenzwerte	Häufigkeit
1. Epoxidäquivalent	DIN 16 945	710-840 g/Mol	jede Charge
2. Aminzahl	DIN 16 945	150-165 mg KOH/g	jede Charge
3. Infrarot Spektrum	DIN 51 451		jede Charge
An dem Festmörtel			
4. Biegezugfestigkeit nach 2 d Lagerung C	DIN EN 196-1	≥ 20 N/mm ²	jede 3. Charge

Fremdüberwachung für Instandsetzungsmörtel "MC-DUR Parat 09"

Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrolle und alle Prüfungen 1 bis 4 stichprobenartig



 MC-Baucheemie Müller GmbH & Co. KG Fachbereich Oberflächenschutz	Übereinstimmungsnachweis "MC-DUR CFK-Lamellen", Klebstoff "MC-DUR 1280", Primer "Colusal VL" und Instandsetzungsmörtel "MC-DUR Parat 09"	Anlage 4 zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-63 vom 12. Juni 2008
--	---	--