

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

Deutsches Institut für Bautechnik
ANSTALT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

Zulassungsstelle für Bauprodukte und Bauarten
Bautechnisches Prüfamt

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

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

Datum: 29. Januar 2009 Geschäftszeichen: I 15-1.36.1-7/05

Zulassungsnummer:
Z-36.12-73

Geltungsdauer bis:
31. Januar 2011

Antragsteller:

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

Zulassungsgegenstand:

**Verstärken von Stahlbetonbauteilen durch in Schlitze verklebte Kohlefaserlamellen
Carboplus nach DIN 1045-1:2008-08**



Der oben genannte Zulassungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich zugelassen.
Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung umfasst 19 Seiten und vier Anlagen.
Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ersetzt die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
Nr. Z-36.12-60 vom 14. Januar 2004. Der Gegenstand ist erstmals am 14. Januar 2004
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

Zulassungsgegenstand ist ein Verfahren zur Verstärkung von Bauteilen aus Stahlbeton. Im Bereich der Betondeckung der Zugzone des zu verstärkenden Bauteils werden dabei Schlitzte eingeschnitten, in die jeweils eine kohlenstofffaserverstärkte Epoxidharzlamelle (CFK-Lamelle), genannt **Carboplus**[®] Lamelle, mit Hilfe eines Epoxidharzklebstoffs eingeklebt wird.

1.2 Anwendungsbereich

Die schubfest in die Schlitzte im Bauteil eingeklebten **Carboplus**[®] Lamellen dürfen zum Nachweis der Tragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen herangezogen werden.

Den Lamellen dürfen planmäßig nur Zugkräfte zugewiesen werden. In Abhängigkeit von der Größe der Querkraftbeanspruchungen (s. Anlage 2, Abschnitt 2.4) müssen die CFK-Lamellen zusätzlich durch Laschenbügel aus Stahl oder durch schubfest aufgeklebte Kohlenstofffaserlamine (siehe Abschnitt 2.1.3) umschlossen werden.

Der Beton muss den Betonfestigkeitsklasse C12/15 bis C45/55 nach DIN 1045-2¹ entsprechen.

Durch die in Schlitzte eingeklebten CFK-Lamellen dürfen vorwiegend ruhend und nicht vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile gemäß DIN 1055-100², Abschnitt 3.1.2.4.2 und 3.1.2.5.1 verstärkt werden. Für nicht vorwiegend ruhende Belastung sind, falls zusätzliche äußere Schubbewehrung erforderlich ist, nur in der Druckzone verankerte Laschenbügel ohne geklebt Übergreifungsstöße zulässig.

Die in Schlitzte verklebten CFK-Lamellen dürfen ungeschützt nur in den Expositionsklassen X0, XC1 (hier nur für trockene Umgebungsbedingungen) oder XC3 nach DIN 1045-1³, Tabelle 3, eingesetzt werden. Außerdem dürfen die mit in Schlitzte verklebten CFK-Lamellen verstärkten Bauteile im Bereich der CFK-Lamellen nicht direkter Sonneneinstrahlung bzw. wechselnder oder dauerhafter Durchfeuchtung ausgesetzt werden. Wo erforderlich sind Oberflächenschutzsysteme entsprechend der DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 2⁴, Abschnitt 5, unter Verwendung von Bauprodukten nach DIN V 18026⁵ bzw. DIN EN 14978-3⁶ oder andere geeignete Schutzschichten vorzusehen.

Bei der Anwendung unter der Expositionsklasse XC4 nach DIN 1045-1³, Tabelle 3, ist durch das Aufbringen geeigneter Schutzschichten sicherzustellen, dass das Bauteil im Bereich der in Schlitzte verklebten CFK-Lamellen keiner wechselnden oder dauernden Durchfeuchtung und keinem "schwachen" chemischen Angriff nach DIN 4030-2⁷ ausgesetzt ist.

Die aufgeklebten Schubverstärkungen dürfen eingesetzt werden, wenn die Bauteiltemperaturen die Werte nach Tabelle 1 nicht überschreiten.

Für in Schlitzte verklebte CFK-Lamellen dürfen die Festigkeitswerte des Klebstoffs nach Tabelle 4.1 nur angesetzt werden, wenn die Bauteiltemperaturen im Bereich der Klebeflächen die maximalen Bauteiltemperaturen nach Tabelle 1 für den Klebstoff nicht überschreiten. Findet ein Instandsetzungsmörtel nach Tabelle 3, 4. Spalte Anwendung, gelten die Festigkeiten nach Tabelle 4.1 nur, wenn die Bauteiltemperaturen im Bereich des Instandsetzungsmörtels die maximalen Bauteiltemperaturen nach Tabelle 1 für den Instandsetzungsmörtel nicht überschreiten.



Tabelle 1: Maximale Bauteiltemperaturen für aufgeklebte Schubverstärkungen bzw. im Bereich der eingeschlitzte verklebten CFK-Lamellen bei Anwendung der Klebstofffestigkeiten nach Tabelle 4.1

Verwendete Komponenten	Hersteller	Gem. Zulassung	Maximale Bauteiltemperatur
Alle Komponenten aus Tabelle 3, erste Zeile	MC Bauchemie	Z-36.12-63	40 °C
Sikadur 30 DUE (s. Tabelle 3, zweite Zeile, zweite Spalte)	Sika	Z 36.12-29	40 °C
Verwendung von Stahlflaschen geprimert mit Icosit 277 ⁸ Stahlflaschenprimer (s. Tabelle 3, zweite Zeile, dritte Spalte)	Sika	Z 36.12-29	24 °C
Instandsetzungsmörtel Sikadur 41 (s. Tabelle 3, zweite Zeile, vierte Spalte)	Sika	Z 36.12-29	38 °C

2 Bestimmungen für die Bauprodukte

2.1 Eigenschaften und Zusammensetzung der Carboplus[®] Lamellen

2.1.1 Lamellen Carboplus[®]

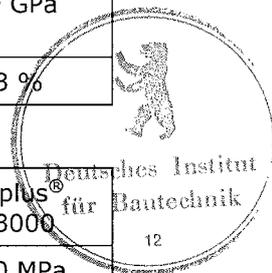
Die Lamellen müssen pultrudierte, 1,0 bis 3,0 mm dicke und 10 bis 30 mm breite Lamine aus Epoxidharz mit ≥ 68 Vol.% Verstärkung durch unidirektionale Kohlenstofffasern sein. Die **Carboplus[®]** Lamellen mit Nenndicken $\leq 2,5$ mm müssen die in Tabelle 2.1 und mit Nenndicken von 3 mm die in Tabelle 2.2 aufgeführten Eigenschaften erfüllen.

Tabelle 2.1: Eigenschaften der Lamellen mit einer **Nenndicke $\leq 2,5$ mm**

Bezeichnung der Lamelle	Carboplus [®] 160/2400	Carboplus [®] 160/2800	Carboplus [®] 200/3000
Zugfestigkeit in Faserrichtung f_{Lk}	≥ 2350 MPa	≥ 2830 MPa	≥ 2950 MPa
Elastizitätsmodul in Faserrichtung E_{Lk}	≥ 160 GPa	≥ 164 GPa	≥ 200 GPa
Elastizitätsmodul in Faserrichtung E_{Lm}	≥ 170 GPa	≥ 170 GPa	≥ 210 GPa
Bruchdehnung ϵ_{Lk}	$\geq 1,3$ %	$\geq 1,65$ %	$\geq 1,3$ %

Tabelle 2.2: Eigenschaften der Lamellen mit einer **Nenndicke = 3 mm**

Bezeichnung der Lamelle	Carboplus [®] 160/2400	Carboplus [®] 160/2800	Carboplus [®] 200/3000
Zugfestigkeit in Faserrichtung f_{Lk}	≥ 2300 MPa	≥ 2730 MPa	≥ 2800 MPa
Elastizitätsmodul in Faserrichtung E_{Lk}	≥ 160 GPa	≥ 160 GPa	≥ 200 GPa
Elastizitätsmodul in Faserrichtung E_{Lm}	≥ 170 GPa	≥ 163 GPa	≥ 205 GPa
Bruchdehnung ϵ_{Lk}	$\geq 1,3$ %	$\geq 1,6$ %	$\geq 1,3$ %



Dabei sind f_{Lk} , E_{Lk} , ε_{Lk} die charakteristischen Werte der Materialkennwerte und E_{Lm} ist der Mittelwert des Elastizitätsmoduls.

Die in Schlitzte eingeklebten **Carboplus**[®] Lamellen müssen entweder auf den beiden zu verklebenden Seiten werksmäßig aufgeraute und entfettete Oberflächen besitzen, die mit Abreißgeweben geschützt sind oder sie müssen, sofern die Oberflächen nicht werksmäßig aufgeraut sind, unmittelbar vor der Verklebung angeschliffen und mit dem Reinigungsmittel nach Abschnitt 2.1.4 gereinigt werden.

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

2.1.2 Klebstoff, Primer für Stahlflaschenbügel und Instandsetzungsbeton bzw. -mörtel, Beton, Spritzbeton

Carboplus[®] Lamellen dürfen in Verbindung mit den Komponenten eines in der folgenden Tabelle angegebenen, allgemein bauaufsichtlich zugelassenen Systems, bestehend aus Klebstoff, Primer für Stahlflaschen und Instandsetzungsmörtel, verwendet werden:

Tabelle 3: Zugelassene Komponenten des Klebesystems

Zulassung Nr.	Klebstoff	Primer	Instandsetzungsmörtel	Reiniger
Z-36.12-63	MC-DUR 1280	Colusal VL	MC-DUR 1000 Parat 09 in Verbindung mit der Haftbrücke MC-DUR 1009 HB	MC Reinigungsmittel U
Z-36.12-29	Sikadur 30 DUE	Icosit 277 ⁸ Stahlflaschenprimer	Sikadur 41	Sika Colma Reiniger



Für den Ausgleich von klein- oder großflächigen Unebenheiten der Betonoberfläche bzw. von Fehlstellen im Klebebereich dürfen neben den in Tabelle 2 genannten Instandsetzungsmörteln auf Reaktionsharzbasis auch Instandsetzungsbetone bzw. -mörtel nach Bauregelliste A Teil 2, lfd. Nr. 2.23, der Beanspruchungsklasse M3 (s. DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 2: Bauprodukte und Anwendung⁴, Abschnitt 4.2), Beton nach DIN 1045-2¹ oder Spritzbeton nach DIN 18551⁹ unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklasse verwendet werden. Dabei muss der Verbund zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht nach Anlage 2, Abschnitt 2.6, nachgewiesen werden

2.1.3 Laschenbügel und Ankerschrauben

Sofern zusätzliche Schublaschen erforderlich sind, müssen diese aus Stahl der Sorten S 235J2 oder S 235 JR nach DIN EN 10025-2¹⁰ bestehen. Unter folgenden Voraussetzungen darf der Stahl der Sorte S 235 JR analog des Einsatzbereiches der Sorte S 235 J2 verwendet werden:

- Stahlflaschendicke $t_L \leq 20$ mm
- Verwendung bei vorwiegend ruhend beanspruchten Bauteilen
- die nominellen Streckgrenze im Blech im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist auf 80% zu begrenzen

Ankerschrauben müssen die Festigkeit 4.6, 5.6 oder 10.9 besitzen.

Bei Bauteilen ohne rechnerische Querkraftbewehrung können die Laschenbügel entsprechend Anlage 2, Abschnitt 2.4 durch schubfest verklebte Kohlenstofffasergewebe oder -gelege mit gesonderter allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung ersetzt werden.

In Verbindung mit den Klebstoffen nach Tabelle 3, 2. Spalte müssen die gestrahlten Stahlflächen zum Korrosionsschutz durch die zugehörigen Epoxidharz Primer nach Tabelle 3, 3. Spalte beschichtet werden. Der Primer ist vollflächig und zweilagig aufzubringen. Dabei ist die Verweildauer zwischen dem Auftrag beider Primerschichten und die Aushärtezeiten nach Anlage 3, Tabelle 4 zu beachten.

2.1.4 Reinigungsmittel für Lamellen bzw. Laschenbügel

Sofern die **Carboplus**[®] Lamellen nicht mit Abreißgeweben versehen sind, die unmittelbar vor dem Verkleben abgezogen werden, müssen sie vor der Verklebung mit einem Reiniger gem. Tabelle 3 gereinigt werden.

Das Reinigungsmittel wird auch zum Reinigen der Laschenbügel verwendet.

2.2 Herstellung, Verpackung, Transport, Lagerung, Kennzeichnung der Lamellen

2.2.1 Herstellung

Die **Carboplus**[®] Lamellen müssen in Herstellerwerken 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 Durchlauftemperung erfolgen.

Die Lamellen sind unverwechselbar mit der Typenbezeichnung gem. Tabelle 2 zu kennzeichnen.

Die Lamellen dürfen nach der Herstellung nur mit einem Durchmesser von $\geq 0,60$ m aufgerollt werden. Die **Carboplus**[®] Lamellen müssen vor dem Aufrollen ausreichend ausgehärtet sein.

2.2.2 Verpackung, Transport, Lagerung

Die **Carboplus**[®] Lamellen müssen verpackt und gegen Witterung und Verschmutzung geschützt transportiert und gelagert werden. Die **Carboplus**[®] Lamellen dürfen nur mit einem Durchmesser von $\geq 0,60$ m aufgerollt transportiert und gelagert werden.

2.2.3 Kennzeichnung

Die **Carboplus**[®] Lamellen nach Abschnitt 2.1.1 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.

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

Die Kennzeichnung des Klebstoffs, des Primers und des Instandsetzungsmörtels nach Abschnitt 2.1.2, Tabelle 3, erfolgt nach der dafür gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung.

2.3 Übereinstimmungsnachweis

2.3.1 Allgemeines

2.3.1.1 Lamellen

Die Bestätigung der Übereinstimmung der **Carboplus**[®] Lamellen nach Abschnitt 2.1.1 mit den Bestimmungen dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung bzw. mit den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Angaben zum Harz und zu den Kohlenstofffasern muss für jedes Herstellerwerk 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.

2.3.1.3 Stahlteile

Der Hersteller der Stahlflasche und Stahlflaschenbügel muss sich davon überzeugen, dass die für das Vormaterial in DIN EN 10025-2¹⁰ geforderten Eigenschaften durch die CE-Kennzeichnung belegt sind.

2.3.2 Werkseigene Produktionskontrolle

In jedem Herstellwerk der Produkte nach Abschnitt 2.1.1 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.

Die werkseigene Produktionskontrolle im Herstellerwerk der **Carboplus**[®] Lamellen muss mindestens die im Folgenden aufgeführten Maßnahmen einschließen:

- Eingangskontrolle der Herstellererklärungen für die Kohlenstofffasern und das Harz-Härter-System
- Aufbau der Kohlenstofffaserlamellen 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 im Herstellwerk der

Carboplus[®] Lamellen sind aufzuzeichnen und auszuwerten. Die Aufzeichnungen müssen mindestens folgende Angaben enthalten:

- Bezeichnung des Bauprodukts
- Art der Kontrolle oder Prüfung
- Datum der Herstellung und der Prüfung des Bauprodukts
- 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 **Carboplus**[®] Lamellen ist die werkseigene Produktionskontrolle durch eine Fremdüberwachung regelmäßig zu überprüfen, mindestens jedoch zweimal jährlich.

Im Rahmen der Fremdüberwachung ist eine Erstprüfung der **Carboplus**[®] Lamellen durchzuführen. Die Probenahme und Prüfung obliegen jeweils der anerkannten Überwachungsstelle.



Im Rahmen der Fremdüberwachung sind die Prüfungen nach Anlage 4 durchzuführen. Die Ergebnisse müssen die dort angegebenen Anforderungen erreichen.

Für die Stahlteile muss sich der Fremdüberwacher davon überzeugen, dass eine Überprüfung der CE-Kennzeichnung der Ausgangsmaterialien vorgenommen und aufgezeichnet wird.

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 Abmessungen des Schlitzes

Die Tiefe des Schlitzes im Beton ist so auszulegen, dass die Lamelle unter Berücksichtigung des Ausgleichs von Unebenheiten vollständig im Schlitz eingebettet werden kann. Die größte zulässige Schlitztiefe ergibt sich nach Gleichung (1). Für die Festlegung der statischen Nutzhöhe ist die maximale Schlitztiefe unter Berücksichtigung der halben Lamellenbreite maßgebend (siehe Anlage 2, Abschnitt 2.1). Die Breite des Schlitzes darf die Grenzwerte nach Gleichung (2) nicht über- bzw. unterschreiten.

$$t_s \leq c - \Delta c \quad (1)$$

$$t_L + 1 \text{ mm} \leq b_s \leq t_L + 3 \text{ mm} \quad (2)$$

In den Gleichungen (1) und (2) bedeuten:

b_s Breite des Schlitzes in mm

t_s Tiefe des Schlitzes in mm

t_L Dicke der einzelnen CFK-Lamelle in mm

c vorhandene Betondeckung der Bewehrung in mm

Δc Vorhaltemaß in mm:

$$\Delta c = \Delta c_{\text{Gerät}} + \Delta c_{\text{Schnitt}} + \Delta c_{\text{Bauteil}} \quad (3)$$

mit:

$\Delta c_{\text{Gerät}}$ gerätespezifische Fehlergrenze nach DBV-Merkblatt 'Betondeckung'¹¹ bzw. nach Herstellerangaben, mindestens jedoch 1 mm

$\Delta c_{\text{Schnitt}}$ Vorhaltemaß für die Schnitttiefe, mindestens 2 mm

$\Delta c_{\text{Bauteil}}$ bei Platten darf $\Delta c_{\text{Bauteil}} = 0$ mm gesetzt werden, bei allen anderen Bauteilen soll für $\Delta c_{\text{Bauteil}}$ mindestens 2 mm angenommen werden.

$\Delta c_{\text{Bauteil}}$ kann entfallen, wenn durch geeignete Maßnahmen, z. B. die stichprobenartige Überprüfung der Betondeckung durch punktuelltes Freilegen der Bewehrung, die Genauigkeit der Betondeckungsmessung erhöht werden kann.



3.1.2 Randabstände

3.1.2.1 Gerade verlegte CFK-Lamellen

Zum freien Bauteilrand muss ein Mindestabstand a_r eingehalten werden, der dem größeren Wert nach den Gleichungen (4) und (5) entspricht.

$$a_r \geq 2 \cdot b_L \quad (4)$$

$$a_r \geq d_g \quad (5)$$

In den Gleichungen (4) und (5) bedeuten:

b_L Breite der CFK-Lamelle

d_g Größtkorndurchmesser der Gesteinskörnung

Für eine Anordnung der CFK-Lamellen an beiden Seiten eines freien Randes nach Bild 1 muss ein Mindestrandabstand einer der beiden Lamellen nach Gleichung (6) eingehalten werden.

$$a_r \geq 4 \cdot b_L \quad (6)$$

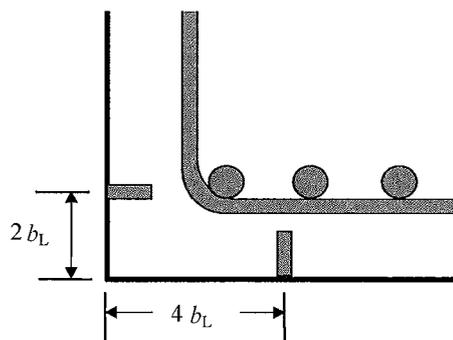


Bild 1: Randabstände bei Anordnung von Lamellen zu beiden Seiten einer Kante

3.1.2.2 Gekrümmt verlegte CFK-Lamellen

Bei Platten und Balken, die im Bereich der Krümmung der CFK-Lamellen nicht mit Laschenbügeln zur Aufnahme der Umlenkkräfte ausgestattet sind, muss in Richtung des Krümmungsmittelpunkts mindestens ein Randabstand von 150 mm bestehen. In allen anderen Fällen gilt Abschnitt 3.1.2.1. Der Krümmungsradius der eingeklebten Lamellen muss mindestens 2 m betragen.

3.1.3 Achsabstände

Für die Mindestachsabstände a_L von Zuglamellen gelten folgende Regelungen:

$$a_L \geq d_g \quad (7)$$

$$\text{für } a_s > 2 \cdot d_s \text{ gilt } a_L \geq b_L \quad (8)$$

d_s Durchmesser der parallel zu den CFK-Lamellen verlaufenden Betonstahlbewehrung

a_s lichter Abstand zwischen zwei Stäben der parallel zu den CFK-Lamellen verlaufenden Bewehrung

Für lichte Abstände der Betonstahl-Längsbewehrung kleiner als $2d_s$ sind die Mindestachsabstände der Zuglamellen nach Bild 2 einzuhalten.



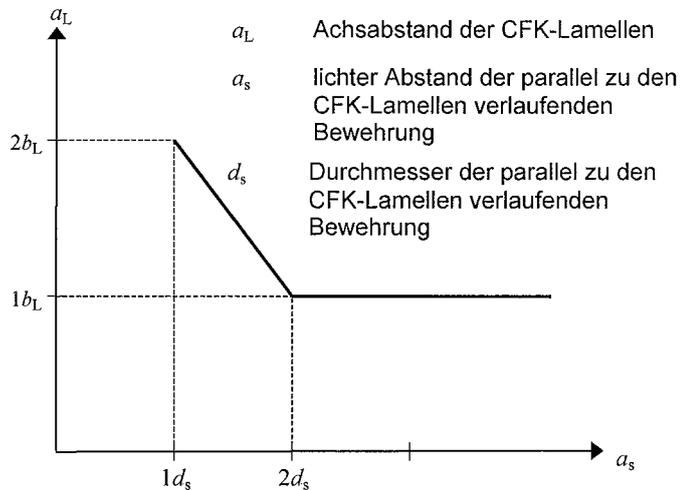


Bild 2: Mindestachsabstände der Zuglamellen

Für die maximalen Achsabstände a_L von Zuglamellen gelten folgende Regelungen:

$$a_L \leq 0,2 l_0 \quad (9)$$

$$a_L \leq 4 h \quad (10)$$

l_0 Abstand der Momentennullpunkte in mm, bei Kragarmen: $l_0 = 2 l_k$

h Bauteildicke in mm

3.1.4 Verbügelung der Lamellenendverankerung

Der Verankerungsbereich der CFK-Lamellen ist bei Balken mit einem Laschenbügel oder schubfest verklebten Kohlefasergeweben bzw. -gelegen nach einer gesonderten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zu umschließen. Der Bügel darf höchstens 50 mm vom Lamellenende entfernt angebracht werden (Bild 3). Die Bemessung des Laschenbügels hat entsprechend Anlage 2, Abschnitt 2.4.3 zu erfolgen.

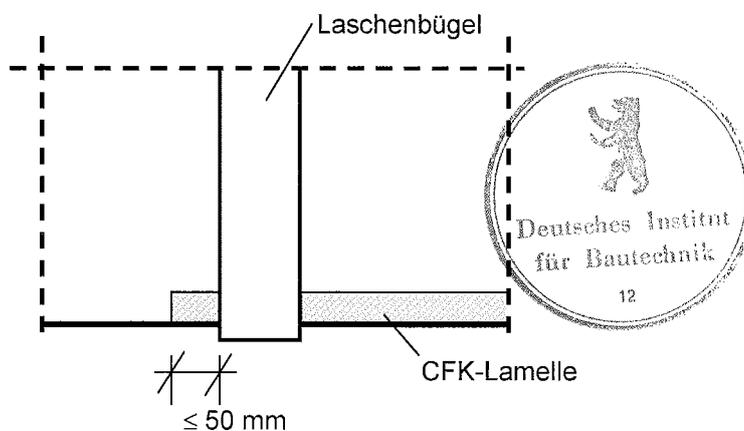


Bild 3: Anordnung des Laschenbügels am Lamellenende

3.1.5 Zugkraftdeckung

Für jedes Bauteil sind die versetzte Zugkraftlinie und die Zugkraftdeckungsline für den Grenzzustand der Tragfähigkeit darzustellen (siehe Anlage 2, Abschnitt 2.3 und Bild 2). Ein Einschneiden der versetzten Zugkraftlinie ist nicht gestattet.

3.1.6 Laschenbügelbewehrung aus Stahl

Bei Bauteilen, die von oben nicht zugänglich sind, darf die Verankerung der Laschenbügel in der Druckzone durch für den vorgesehenen Verwendungszweck zugelassene Verbundanker erfolgen. Der Achsabstand benachbarter, in der Druckzone verankerter Laschenbügel darf nicht größer als die Steghöhe sein. Bezüglich des Ermüdungsnachweises der Verankerungselemente siehe Anlage 2, Abschnitt 2.7.

Bei nicht in der Druckzone verankerten Laschenbügeln (Fall 2 nach Anlage 2, Abschnitt 2.4) darf der Abstand benachbarter Bügel nicht größer als die halbe Steghöhe sein.

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

Bei Laschenbügeln, die durch einen geklebten Übergreifungsstoß geschlossen werden, ist die erforderliche Übergreifungslänge nach den Gleichungen (13), (14) und (15) von Anlage 2 mit $f_{ctm,surf} = 3,0 \text{ MPa}$ zu bemessen. Die gewählte Übergreifungslänge l_b muss mindestens der Breite b_L der Zuglamelle bzw. bei Anordnung mehrerer Zuglamellen deren gesamten Breite entsprechen.

3.2 Bemessung

Für die Bemessung gelten die Anlagen 1 und 2.

Die zur Ermittlung der Verbundtragfähigkeit erforderlichen charakteristischen Festigkeitskennwerte der Klebstoffe nach Gleichung (4) von Anlage 2 können ohne genaueren Nachweis den Zeilen 1 und 2 der Tabelle 4.1 entnommen werden, wenn die maximalen Bauteiltemperaturen im Bereich der in Schlitze verklebten CFK-Lamellen nach Tabelle 1 eingehalten werden. Findet ein Instandsetzungsmörtel nach Tabelle 3, 4. Spalte Anwendung, gelten die den Zeilen 1 und 2 der Tabelle 4.1 angegebenen Festigkeiten nur, wenn die maximale Bauteiltemperatur im Bereich des Instandsetzungsmörtels nach Tabelle 1 eingehalten wird.

Unter den zuvor genannten Voraussetzungen für die Einhaltung der maximalen Bauteiltemperatur können von Tabelle 4.1, Zeilen 1 und 2 abweichende Kennwerte nach dem Eignungsnachweis entsprechend Abschnitt 4.8.5 verwendet werden. Dabei dürfen die Maximalwerte gemäß den Zeilen 3 und 4 der Tabelle 4.1 nicht überschritten werden.

Tabelle 4.1: Charakteristische Festigkeitskennwerte nach Anlage 2, Gleichung 4 der zu verwendenden Klebstoffe bei Einhaltung der maximalen Anwendungstemperaturen nach Tabelle 1

Zeile	Anmerkung	Kennwert	MC-DUR 1280	Sikadur 30 DUE
1	ohne genaueren Nachweis	Zugfestigkeit $f_{kt,k}$	16 MPa	14 MPa
2		Druckfestigkeit $f_{kc,k}$	70 MPa	65 MPa
3	nur mit Eignungsnachweis nach Abschnitt 4.8.5 bei einer Prüftemperatur von 50 °C	Zugfestigkeit $f_{kt,k,max}$	27 MPa	21 MPa
4		Druckfestigkeit $f_{kc,k,max}$	85 MPa	75 MPa



Bezüglich der Bemessung und Anordnung zusätzlicher Querkraftbewehrung in Form von Laschenbügeln gelten die Anlagen 1 und 2.

Platten dürfen nur bis $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$ (s. Anlage 1) mit eingeschlitzte verklebten **Carboplus®** Lamellen verstärkt werden.

3.3 Brandverhalten

Die **Carboplus**[®] Lamellen sind normalentflammbar (Baustoffklasse DIN 4102¹²-B2).

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 in jedem Einzelfall durch ein Prüfzeugnis oder durch ein Gutachten einer hierfür anerkannten Prüfstelle der Nachweis geführt wird, dass die CFK-Lamellen und Laschenbügel im Brandfall durch Zusatzmaßnahmen hinreichend gegen Erwärmung geschützt sind.

4 Ausführung

4.1 Allgemeines

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

4.2 Erfassen des Ist-Zustandes des zu verstärkenden Bauteils

Die folgenden für den rechnerischen Nachweis und für die Ausführung relevanten Eigenschaften des zu verstärkenden Bauteils sind zu erfassen und zu bewerten:

- Sofern die Betonfestigkeitsklasse nicht bekannt ist, muss sie gemäß DIN 1048-2¹³ und DIN 1048-4¹⁴ an jedem zu verstärkenden Bauteilabschnitt bestimmt werden.
- Stahlart, Lage, Erhaltungszustand und Betondeckung der vorhandenen Bewehrung sowie Karbonatisierungstiefen und ggf. Schadstoffgehalte wie z. B. Chloride sind festzustellen. Die Betondeckung der vorhandenen Bewehrung ist kontinuierlich zu messen und zu dokumentieren. Die Bestimmung der Betondeckung darf nur von qualifiziertem Personal nach der "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitze verklebte CFK-Lamellen"¹⁵ ausgeführt werden. Die Messung der Betondeckung ist vor Ort durch geeignete Maßnahmen zu kalibrieren.
- Lage, Verlauf und Breite von Rissen sind zu erfassen, wenn die Rissbreite die Anforderungen der Tabelle 18, DIN 1045-1³ überschreitet.

Zusätzlich gilt bei Anordnung von aufgeklebter, nicht in der Druckzone verankerte Schubbewehrung oder Ausgleichsschichten nach Abschnitt 2.1.3:

- Auch wenn die Betonfestigkeitsklasse bekannt ist, muss sie gemäß DIN 1048-2¹³ und DIN 1048-4¹⁴ an jedem zu verstärkenden Bauteilabschnitt wie oben angegeben (s. erster Anstrich) bestimmt werden.
- Die Oberflächenzugfestigkeit des Betons im Bereich der Klebeflächen ist gemäß DIN 1048-2¹³, Abschnitt 6, zu prüfen und die Ergebnisse nach DIN 1048-2¹³, Anhang A, auszuwerten. Der Mittelwert μ der Grundgesamtheit der Oberflächenzugfestigkeit gilt als Rechenwert f_{ctm} nach Abschnitt 6.3. Die Prüfflächen müssen mit dem für die Ausführung vorgesehenen Verfahren vorbereitet worden sein.

4.3 Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil

Der Beton muss den Betonfestigkeitsklasse C12/15 bis C45/55 nach DIN 1045-2¹ entsprechen.

Die nach Abschnitt 3.1.1 mindestens erforderliche Betondeckung der inneren Bewehrung muss vorhanden sein.

Die nach der Ausführung der Verstärkungsmaßnahme vorhandene Betondeckung muss darüber hinaus DIN 1045-1³, Abschnitt 6.3, entsprechen. Andernfalls sind die Auswirkungen auf den Korrosionsschutz der inneren Bewehrung sowie die Auswirkungen auf die Standsicherheit und insbesondere die Verankerung der Bewehrung entsprechend der DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 1¹⁶, Abschnitt 6 zu prüfen und ggf. Korrosionsschutzmaßnahmen vorzusehen.



Für den Ausgleich von klein- oder großflächigen Unebenheiten der Betonoberfläche bzw. von Fehlstellen im Klebepbereich dürfen neben den in der Tabelle 3 in Abschnitt 2.1.2 genannten Instandsetzungsmörteln auf Reaktionsharzbasis auch Instandsetzungsbetone bzw. -mörtel nach Bauregelliste A Teil 2, lfd. Nr. 2.23, der Beanspruchungsklasse M3 (s. DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 2: Bauprodukte und Anwendung⁴, Abschnitt 4.2). Beton nach DIN 1045-2¹ oder Spritzbeton nach DIN 18551⁹ unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklasse verwendet werden. Die dafür erforderlichen mittleren Rautiefen der Oberfläche des Altbetons können Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 5: Erforderliche Rautiefen R_t mit dem Sandverfahren nach DIN EN 1766¹⁷ bei großflächigem Ausgleich der Oberfläche

Ausgleich der Oberfläche mit	Mittlere Rautiefe R_t [mm]
Beton, ohne Haftbrücke	2,5
Beton, mit Haftbrücke	1,0
Spritzbeton	1,0

Die Höhe der Reprofilierung bzw. die Ausbruchtiefe muss mindestens dem dreifachen Größtkorndurchmesser des Instandsetzungsbetons bzw. -mörtels entsprechen. Im Fall eines großflächigen Ausgleichs der Oberfläche sowie bei kleinflächigen Fehlstellen im Verankerungsbereich der Lamellen ist ein rechnerischer Nachweis des Verbundes zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht nach Abschnitt 2.6 der Anlage 2 zu führen sowie die Verbundfestigkeit nach Abschnitt 4.8.2 zu ermitteln.

Bei Anwendung von geklebten und nicht in der Druckzone verankerter Schubbewehrung muss die Oberflächenzugfestigkeit der Betondeckung nach Vorbereitung im Bereich der Klebeflächen einen Rechenwert von $f_{ctm} \geq 1,5$ MPa bei Unebenheiten ≤ 5 mm erreichen. Größere Unebenheiten müssen abgetragen oder mit einem Instandsetzungsmörtel auf Reaktionsharzbasis gemäß Tabelle 2 in Abschnitt 2.1.2 oder einem Instandsetzungsbeton bzw. -mörtel nach Bauregelliste A Teil 2, lfd. Nr. 2.23, der Beanspruchungsklasse M3⁴ Beton nach DIN 1045-2¹ oder Spritzbeton nach DIN 18551⁹ unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklasse ausgeglichen werden. Die Betondeckung im Bereich der Klebeflächen muss 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

Das Material der Stahllaschen und der Ankerschrauben sowie deren Korrosionsschutz vor dem Ankleben müssen den Angaben nach Abschnitt 2.1.3 entsprechen.

In Verbindung mit den Klebstoffen nach Tabelle 3, 2. Spalte sind stets Stahlflächen, die vor dem Auftrag des Primers den Vorbereitungsgrad Sa 2½ nach DIN EN ISO 12944-4¹⁸ aufweisen und zweifach mit dem zugehörigen Primer nach Tabelle 3, 3. Spalte geschützt sind, zu verwenden. Die geprimerten Stahlteile sind bis zur Verklebung vor Verschmutzung zu schützen. Es dürfen nur Stahllaschenbügel mit entsprechend Anlage 3, Tabelle 4, ausgehärtetem Primer angeklebt werden.

Schweißarbeiten dürfen nur von Werken vorgenommen werden, die im Besitz eines Nachweises entsprechend DIN 18800-7¹⁹ (Kleiner Eignungsnachweis) sind.

Schweißarbeiten an verklebten Laschenbügeln sind nicht zulässig.

Die Stahllaschenbügel sind nach dem Einbau mit einem Korrosionsschutz mindestens der Korrosivitätskategorie C3 nach DIN EN ISO 12944-5²⁰ zu schützen. Für Sonderbelastungen müssen die Korrosionsschutzsysteme auf den Anwendungsfall abgestimmt werden.



4.5 Anforderungen an CFK-Lamellen

Die **Carboplus**[®] Lamellen nach Abschnitt 2.1.1 dürfen nicht abgekantet oder scharfen Querpressungen ausgesetzt werden. Sie dürfen, falls erforderlich, auf der Baustelle nur senkrecht zur Faserrichtung passend geschnitten werden. Der kleinste Biegedurchmesser, der bei der Handhabung der CFK-Lamellen nicht unterschritten werden darf, beträgt 0,60 m.

Die Bauprodukte dürfen nur innerhalb des auf der Packung angegebenen Zeitraumes und der angegebenen Verarbeitungstemperatur verwendet werden.

4.6 Vorbereitung der Bauteile

Risse im Beton, die zur Korrosion der Bewehrung führen können, sind nach der DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 2⁴, Abschnitt 6 mit Produkten nach DIN V 18028²¹ abzudichten.

Die Betondeckung im Bereich der in Schlitzte zu verklebenden Lamellen muss nachgewiesen und dokumentiert werden. Die erforderliche Betondeckung richtet sich unter Berücksichtigung der Abschnitte 3.1.1 und 4.3 sowie in Abhängigkeit von der Expositions-klasse nach DIN 1045-1³, Abschnitt 6.3.

In das Betonbauteil werden Schlitzte senkrecht zur Bauteiloberfläche geschnitten. Hierbei sind die Randbedingungen nach Abschnitt 3.1.1 einzuhalten. Die Schlitzte müssen staubfrei und frei von losen Teilen sein. Minderfeste, nicht tragfähige Schichten auf den Schnittflächen sind zu entfernen. Der maximale Feuchtegehalt im Schlitzbereich darf in Abhängigkeit vom verwendeten Klebstoff die Werte nach Anlage 3 nicht überschreiten. Die Ermittlung der Feuchtegehalte und Witterungsbedingungen erfolgt gem. DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 2⁴, Abschnitt 2.3.5 ff.

Die zu verklebende Oberfläche des Betons im Bereich der Laschenbügel muss z. B. durch Sandstrahlen, Kugelstrahlen, Druckwasserstrahlen, mit Nadelpistole oder Stockgerät für die Verklebung vorbereitet werden, bis der Grobzuschlag (≥ 8 mm) sichtbar wird. Sie muss staubfrei, frei von losen Teilen und trocken sein.

Vor dem Ausgleich von klein- oder großflächigen Unebenheiten der Betonoberfläche bzw. von Fehlstellen im Klebebereich mit Materialien nach Abschnitt 2.1.2 muss die Betonoberfläche tragfähig, staubfrei und frei von losen Teilen sein. Dies bedarf einer geeigneten Untergrundvorbereitung nach der DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen". Die dort in Teil 2⁴ vorgegebenen Grenztemperaturen und -feuchten für die Luft und das Bauteil sind in Abhängigkeit vom jeweilig zu verwendenden Material einzuhalten.

Bei großflächig aufzubringenden Ausgleichsschichten aus Beton oder Spritzbeton muss die Oberfläche eine Abschnitt 4.3, Tabelle 5, entsprechende mittlere Rautiefe aufweisen.

4.7 Klebearbeiten

4.7.1 Allgemeine Anforderungen

Während der Klebearbeiten darf die Temperatur von Luft, Beton und Klebstoff den Mindestwert nach Anlage 3, Tabellen 1 oder 2 dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung in Abhängigkeit vom verwendeten Klebstoff nicht unterschreiten. Die Temperatur der Bauteile muss 3 K höher sein als die Taupunkttemperatur der Luft.

Die relative Luftfeuchte beim Verkleben darf die Werte gem. Anlage 3, Tabelle 3 in Abhängigkeit vom verwendeten Klebstoff nicht überschreiten.

Der maximale Feuchtigkeitsgehalt im Schlitzbereich darf die Angaben nach Anlage 3, Tabelle 3 in Abhängigkeit vom verwendeten Klebstoff nicht überschreiten.



Das Mischen der Komponenten muss mechanisch mit niedrigtourigen Mischgeräten ≤ 300 U/min erfolgen. Die Komponenten müssen sorgfältig so lange gemischt werden, bis eine homogene und schlierenfreie Klebstoffmasse vorliegt. Die Mischung ist umzutopfen. Das fertige Gemisch darf keine Knollen oder dergleichen enthalten und es muss einen gleichmäßigen Farbton aufweisen. Es dürfen keine wesentlichen Luftmengen eingemischt werden, die die mechanischen Eigenschaften des Klebstoffes nach Tabelle 3 beeinträchtigen.

Die Belastung der Konstruktion darf bei einer mittleren Bauwerkstemperatur von 20 °C i.d.R. 2 Tage nach Beendigung der Klebearbeiten erfolgen. Bei niedrigeren Temperaturen oder Unsicherheiten über die Aushärtung des Klebstoffes sind die Erhärtungsnachweise gemäß Abschnitt 4.8.5 maßgebend. Bei höheren Temperaturen ist eine geringere Wartezeit möglich, wenn die in der Bemessung angesetzten charakteristischen Klebstoffkennwerte (Haftzug- und Druckfestigkeit) nach Abschnitt 4.8.5 nachgewiesen werden.

4.7.2 Verklebung der Carboplus® Lamellen in Schlitz

- (1) Der Beton ist nach Abschnitt 4.6 einzuschlitzen und die Schlitzlöcher sind zu reinigen. Die **Carboplus®** Lamellen müssen für die Verklebung frei von Verschmutzungen (Staub, Öle, Fette u.a. von Fingerabdrücken) sein. Sofern die Lamellen auf den beiden zu verklebenden Seiten werksmäßig aufgeraute, entfettete und mit Abreißgewebe geschützte Oberflächen besitzen, sind die Gewebe unmittelbar vor der Verklebung zu entfernen. Wenn die Oberflächen nicht werksmäßig aufgeraut, gereinigt und geschützt sind, müssen sie unmittelbar vor der Verklebung angeschliffen und mit dem Reinigungsmittel nach Abschnitt 2.1.4 gereinigt werden.
- (2) Die Klebstoffe nach Tabelle 3, 2. Spalte sind wie in Abschnitt 4.7.1 beschrieben anzurühren und in die Schlitzlöcher einzubringen. Die Lamelle ist vorsichtig in die Mitte des Schlitzes einzudrücken und muss vollständig vom Schlitz aufgenommen werden. Im Regelfall soll die CFK-Lamelle bündig mit der Betonoberfläche abschließen. Ein Abweichen hiervon ist nach Abschnitt 4.6 nur im Rahmen des Ausgleichs von Unebenheiten der Betonoberfläche möglich. Der aus dem Schlitz quellende Klebstoff ist zu entfernen. Innerhalb der ausnutzbaren Verarbeitungszeit nach Anlage 3 müssen der Klebstoff in die Schlitzlöcher eingefüllt und die **Carboplus®** Lamellen eingedrückt sein.
- (3) Die eingeklebte Lamelle benötigt während der Aushärtung keine Sicherung. In Bereichen, in denen die Gefahr einer mechanischen Beschädigung nach dem Einbau nicht auszuschließen ist, müssen die Lamellen gegen mechanische Verletzungen geschützt werden.

4.7.3 Verklebung der Laschenbügel aus Stahl

Bei ggf. zu verklebenden Laschenbügel aus Stahl müssen die Oberflächen im Kleberebereich den Anforderungen nach Abschnitt 4.4 genügen.

Die Primerflächen der Stahllaschen müssen vor dem Verkleben leicht angeschliffen, entstaubt und mit Reinigungsmittel gereinigt werden²².

Der Klebstoff muss in Form eines gleichschenkligen Profils mit Überhöhung in der Mitte auf die Stahllaschen aufgetragen werden. Die Laschenbügel müssen innerhalb der Verarbeitungszeit des Klebstoffes nach Anlage 3 in ihrer endgültigen Lage festgehalten sein.

Der Anpressdruck für das Aufbringen der Stahlschublasche sollte nur so groß sein, dass der Klebstoff entlang des ganzen Umfangs der Laschenbügel geringfügig herausgedrückt wird. Die zu verklebenden Stahlschublaschen dürfen nach dem Fixieren bis zur Aushärtung des Klebstoffes keine Erschütterungen und Bewegungen gegenüber der Bauteiloberfläche erleiden.

Die Unterstützung der Laschenbügel aus Stahl darf je nach vorliegender Temperatur erst nach Erreichen der in Anlage 3, Tabellen 1 oder 2 in Abhängigkeit vom verwendeten Klebstoff angegebenen Unterstützungsdauer entfernt werden. Wird davon abgewichen, kann durch Haftzugversuche nach Abschnitt 4.8.3 der Nachweis geführt werden, dass Betonbruch erreicht wird.



4.8 Prüfungen während der Ausführung

4.8.1 Überprüfung der Voraussetzungen

Der Bauausführende hat sich davon zu überzeugen, dass

- a) CFK-Lamellen mit dem dieser Zulassung entsprechenden Ü-Zeichen sowie Klebstoff, Primer und Instandsetzungsmörtel nach Abschnitt 2.1.2 mit dem jeweiligen Ü-Zeichen der in Tabelle 1 angegebenen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung 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 Oberflächenzugfestigkeit von Beton beim Verkleben von Laschenbügeln

Bei Verklebungen von Laschenbügeln, die in der Druckzone verankert sind und bei großflächigen Ergänzungen der Oberfläche mit Materialien nach Abschnitt 2.1.2 wird auf der gemäß Abschnitt 4.6 vorbehandelten Fläche die Oberflächenzugfestigkeit des Betons oder Betonersatzsystems gemäß DIN 1048-2¹⁴, Abschnitt 6, mit Ringnut ermittelt. Der Prüfaufwand wird entsprechend der DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 3²³, Anhang A, Zeile 4, festgelegt. Bei nicht in der Druckzone verankerten Schublaschen richtet sich der Prüfaufwand nach Abschnitt 4.2, letzter Absatz.

Bei Herstellung von Ausgleichsschichten im Verankerungsbereich entsprechend Tabelle 3 in Anlage 2 ist der Verbund in der Fuge zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht nachzuweisen. Die Prüfung der Verbundfestigkeit erfolgt im Haftzugversuch gemäß DIN 1048-2¹⁴, Abschnitt 6 im Randbereich der Betonerfüllung. Die herzustellende Ringnut wird bis in den Altbeton geführt. Aufgrund der erhöhten Anforderungen an die Tragfähigkeit der Ergänzung ist folgender Prüfaufwand vorzusehen:

- mindestens 5 Prüfungen je Verstärkungsobjekt bzw.
- mindestens 1 Prüfung je angefangene 50 m verklebter Lamelle im Bereich der Ausgleichsschicht

Die Prüfung muss bei Ausgleichsschichten im Verankerungsbereich nach Definition der Tabelle 3 in Anlage 2 einen Bruch im Altbeton ergeben.

Bei sonstigen kleinflächigen Ausgleichsschichten muss die Verbundfestigkeit $f_{tm} \geq 1,5 \text{ MPa}$ betragen. Die Prüfhäufigkeit ist in der DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 3²³ geregelt.

4.8.3 Verbund des Klebstoffes mit Beton, ggf. Ausgleichsschichten und Stahl mit Primer

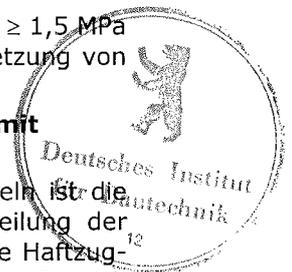
Zur Bestimmung der Belastbarkeit der Klebeverstärkung mit Stahllaschenbügeln ist die Haftung des Klebstoffes auf der Baustelle am Bauteil zu prüfen. Die Beurteilung der Klebung erfolgt durch fünf Haftzugversuche mit aufgeklebten Prüfstempeln. Die Haftzugprüfung muss Betonbruch ergeben. Sofern Instandsetzungsbeton bzw. -mörtel im Bereich der Laschenbügel zur Anwendung kommt, erfolgt die Haftzugprüfung am System Beton - Ausgleichsschicht - Klebstoff.

4.8.4 Prüfung des Klebstoffes auf Stahl und Primer

Zur Überprüfung der Belastbarkeit der Schublaschen der Klebeverstärkung und der Haftung von Klebstoff auf Primer und Stahl bei Raumtemperatur von 20 °C sind mindestens 3 Prüfstempel $\varnothing 20 \text{ mm}$ auf eine Sa 2½ gestrahlte Stahlplatte mit einer Dicke von $\geq 15 \text{ mm}$ oder ein vergleichbar steifes Stahlprofil zu kleben und abzuziehen. Bei Prüfung nach 48 Stunden muss die Haftzugfestigkeit nach Tabelle 4.1, Zeile 1 erreicht werden. Die Stahlplatte ist wie die Laschenbügel vorzubehandeln, ggf. einschließlich Primerung.

4.8.5 Erhärtungsprüfung des Klebstoffes

Zur Überprüfung der mechanischen Eigenschaften des verwendeten Klebstoffes (siehe Tabelle 3, Abschnitt 3.2) müssen in Versuchen die charakteristischen Werte der Zugfestigkeit sowie der Druckfestigkeit nachgewiesen werden.



Die Ermittlung der Zugfestigkeit erfolgt im Haftzugversuch mit Prüfstempeln \varnothing 20 mm, die auf eine Sa 2½ gestrahlten Stahlplatte mit einer Dicke \geq 15 mm verklebt und nach einer Erhärtungszeit von 7 Tagen geprüft werden

Die Druckfestigkeit ist an Prismen entsprechend DIN EN 196-1²⁴ nach einer Erhärtungszeit von 7 Tagen zu bestimmen. Der erforderliche Prüfumfang ist in Tabelle 6 festgelegt. Zur Bestimmung der charakteristischen Festigkeiten bei dauerhaften Anwendungstemperaturen bis 40 °C (s. Tabelle 4.1) ist eine Prüftemperatur von 50 °C einzuhalten.

Tabelle 6: Erforderlicher Umfang der Erhärtungsprüfungen des Klebstoffs

Kenngroße	Erforderlicher Prüfumfang
Zugfestigkeit im Haftzugversuch	mind. 6 Prüfungen je verwendeter Klebstoffcharge bzw. je 6 Klebetage
Druckfestigkeit	mind. 6 Prüfungen je verwendeter Klebstoffcharge bzw. je 3 Klebetage

Aus den Prüfergebnissen werden die charakteristischen Werte wie folgt ermittelt:

$$\begin{aligned} f_{Kc,k} &= f_{Kc,m} - k_n \times \sigma_{Kc} \\ f_{Kt,k} &= f_{Kt,m} - k_n \times \sigma_{Kt} \end{aligned} \quad (11),$$

wobei

$f_{Kc,m}, f_{Kt,m}$ die Mittelwerte der Druck- und Haftzugfestigkeit des Klebstoffs,

$f_{Kc,k}, f_{Kt,k}$ die charakteristischen Werte der Druck- und Haftzugfestigkeit des Klebstoffs,

k_n Faktor nach DIN EN 1990, Tabelle D1 (s. Tabelle 7),

σ_{Kc}, σ_{Kt} Standardabweichung der Druck- und Haftzugfestigkeit des Klebstoffs ist.

Tabelle 7: Werte k_n nach DIN EN 1990, Tabelle D1

n	6	8	10	20	30	∞
k_n	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Können die im Standsicherheitsnachweis angesetzten Materialkennwerte nicht erreicht werden, muss dies nachträglich in der Bemessung berücksichtigt werden.

4.8.6 Kontrolle nach der Ausführung

Die volle Einbettung in den Schlitz muss überprüft werden. Verbundlose Bereiche der Lamelle von mehr als 5% der Lamellenquerschnittsfläche müssen nachträglich in der Bemessung berücksichtigt werden.

Die Stahllaschenbügel sind nach der Aushärtung der Verklebung auf Hohlräume abzuklopfen. Hohlräume müssen durch druckloses Verfüllen mit Rissfüllstoffen auf Epoxydharzbasis gem. DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 2⁴, Abschnitt 6, bzw. nach DIN V 18028²¹ gefüllt werden.

4.9 Überwachung der Ausführung

4.9.1 Allgemeines

Für die Überwachung der Ausführung gilt die Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen" des DAfStb, Teil 3²³, Abschnitt 2. Neben der Überwachung durch das ausführende Unternehmen besteht eine Überwachungspflicht durch eine besteht eine Überwachungspflicht durch eine der im "Verzeichnis der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen"²⁵, Teil V, lfd. Nr. 7, aufgeführten Überwachungsstellen²⁶.



4.9.2 Voraussetzung

Die Verstärkungsarbeiten dürfen nur von Betrieben ausgeführt werden, die ihre Eignung vor Beginn der Arbeiten nachgewiesen haben. Die Eignung des ausführenden Betriebes muss durch einen Eignungsnachweis nach der "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitze verklebte CFK-Lamellen"¹⁵ erbracht werden.

Die qualifizierte Führungskraft nach der "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitze verklebten CFK-Lamellen"¹⁵ muss während der entscheidenden Phasen auf der Baustelle anwesend sein und die begleitenden Kontrollen nach Abschnitt 4.8 durch das Baustellenfachpersonal nach "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitze verklebte CFK-Lamellen"¹⁵ durchführen lassen und selbst stichprobenartig überprüfen.

Die Herstellung der Klebeverbindung darf nur von Baustellenfachpersonal nach der "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitze verklebte CFK-Lamellen"¹⁵ ausgeführt werden.

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 gegebenenfalls der 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. Prüfung der Haftzugfestigkeit des Primers
 - ggf. Prüfung Oberflächenzugfestigkeit des Betons nach Abschnitt 4.8.2
 - ggf. Prüfung der Verbundfestigkeit von Ausgleichsschichten nach Abschnitt 4.8.2
 - ggf. Prüfung der Verbundfestigkeit des Klebstoffes auf Beton bzw. Ausgleichsschichten nach Abschnitt 4.8.3
 - ggf. Prüfung der Haftung des Klebstoffes auf Stahl und Primer nach Abschnitt 4.8.3



- Erhärtungsprüfungen des Klebstoffes nach Abschnitt 4.8.5
- Ergebnisse der Überprüfung und eventuelle Ausbesserung nach Abschnitt 4.8.5, letzter Absatz
- Ergebnisse der Überprüfung und eventuelle Ausbesserung nach 4.8.6, letzter Absatz

Häusler

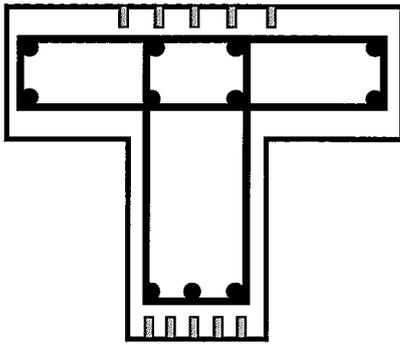


1	DIN 1045-2:2007-01	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
2	DIN 1055-100:2001-03	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessung
3	DIN 1045-1:2008-08	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion
4	DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“, Teil 2: Bauprodukte und Anwendung, Oktober 2001	
5	DIN V 18026:2006-06	Oberflächenschutzsysteme für Beton aus Produkten nach DIN EN 1504-2:2005-01
6	DIN 14879-3:2007-08	Beschichtungen und Auskleidungen aus organischen Werkstoffen zum Schutz von industriellen Anlagen gegen Korrosion durch aggressive Medien – Teil 3: Beschichtungen für Bauteile aus Beton
7	DIN 4030-2: 2008-06	Beurteilung Betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben
8	Wird auch unter der Bezeichnung SIKACor 277 gehandelt.	
9	DIN 18551:2005-01	Spritzbeton - Anforderungen, Herstellung, Bemessung und Konformität
10	DIN EN 10025-2:2005-04	Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle; Deutsche Fassung EN 10025-2:2004
11	DBV-Merkblatt "Betondeckung und Bewehrung", Fassung 2002, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V., Berlin	
12	DIN 4102-1:1998-05	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
13	DIN 4102-1 Berichtigung 1 :1998-08	Berichtigung zu DIN 4102-1 : 1998-05
14	DIN 1048-1:1991-06	Prüfverfahren für Beton
15	DIN 1048-2:1991-06	Prüfverfahren für Beton, Festbeton in Bauwerken und Bauteilen
16	"Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitze verklebte CFK-Lamellen " (Januar 2004)	
17	DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze, Oktober 2001	
18	DIN EN 1766:2000-03	Prüfverfahren: Referenzbeton für Prüfungen
19	DIN EN ISO 12944-4:1998-07	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme Teil 4: Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitung
20	DIN 18800-7:1983-05	Stahlbauten - Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation
21	DIN EN ISO 12944-5:1998-07	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme Teil 5: Beschichtungssysteme
22	DIN V 18028:2006-06	Rissfüllstoffe nach DIN EN 1504-5:2005-03 mit besonderen Eigenschaften
23	Die in den Ursprungszulassungen der Stahlflaschenprimer Z-36.12-29 und Z-36.12-63 angegebene Möglichkeit des Abschleifens des Primers auf den Klebeflächen der Stahlflaschen darf nicht angewendet werden.	
24	DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung, Oktober 2001	
25	DIN EN 196-1:1995-05	Prüfverfahren für Zement - Teil 1: Bestimmung der Festigkeit; Deutsche Fassung EN 196-1:1994
26	Die aktualisierte Fassung wird jährlich in einem Sonderheft der Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik veröffentlicht.	
27	Die Anerkennung als Überwachungsstelle ist beim Deutschen Institut für Bautechnik zu beantragen.	

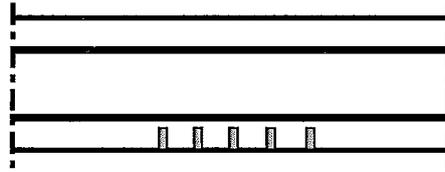
Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$$

Balken / Plattenbalken



Platte



Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,ct} \leq V_{Ed} \leq V_{Rd,02}$$

$V_{Ed} \leq V_{Rd,sy}$ und $V_{Ed} \leq V_{Rd,lim}$ und $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$: auf zusätzliche Querkraftbewehrung kann verzichtet werden

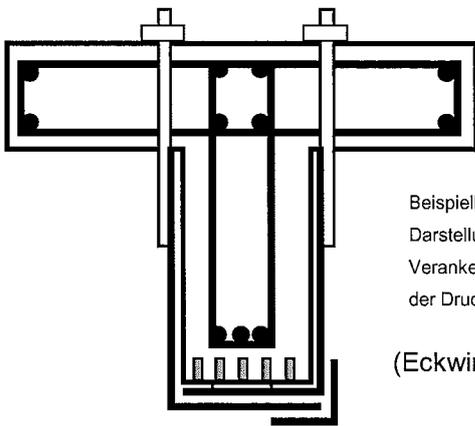
In der Druckzone verankerte Laschenbügel bei

- $V_{Rd,sy} < V_{Ed}$
- nicht vorwiegend ruhenden Einwirkungen
- $V_{Rd,sy} \geq V_{Ed}$ und $V_{Ed} \geq V_{Rd,lim}$ wenn der Nachweis der Verankerung der Laschenbügel über Klebeverbund nicht erfüllt werden kann (s. Anlage 2, Abschnitt 2.4)

Über Klebeverbund verankerte Laschenbügel bei

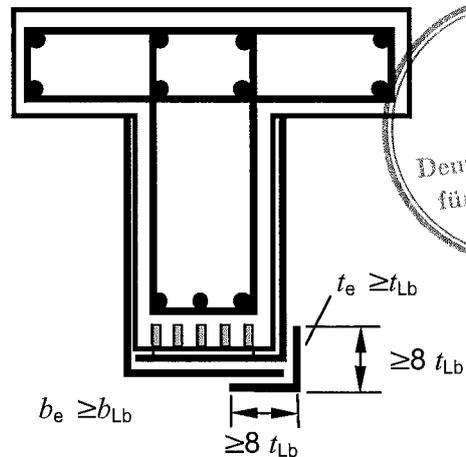
- $V_{Rd,sy} \geq V_{Ed}$ und $V_{Ed} \geq V_{Rd,lim}$ mit Nachweis der Verankerung über Klebeverbund (s. Anlage 2, Abschnitt 2.4)

Balken / Plattenbalken



Beispielhafte Darstellung der Verankerung in der Druckzone

(Eckwinkel wie rechts)



BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

Bemessung in Schlitze eingeklebter CFK-Lamellen

Übersicht über die Bemessung für Querkräfte

Anlage 1

zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung
Z-13.12-73

vom 29. Januar 2009

1. Allgemeines

Alle erforderlichen Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sind für das verstärkte Bauteil unter Berücksichtigung des Ist-Zustandes zu erbringen. Es gelten die entsprechenden Abschnitte in DIN 1045-1¹.

2. Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

2.1 Biegung ohne Längskraft

Es gilt DIN 1045-1¹, 10.2 mit folgenden zusätzlichen Festlegungen:

Die Spannungsdehnungslinie der CFK-Lamelle kann linear angenommen werden. Sie wird beschrieben durch die charakteristischen Werte der Zugfestigkeit f_{Lk} und des Elastizitätsmoduls E_{Lk} nach Abschnitt 2.1.1 der "Besonderen Bestimmungen". Der Bemessungswert der Zugfestigkeit f_{Ld} ist nach Gleichung (1) zu ermitteln.

$$f_{Ld} = \frac{f_{Lk}}{\gamma_L} \quad (1)$$

In Gleichung (1) bedeuten:

f_{Lk} charakteristischer Wert der Zugfestigkeit der CFK-Lamelle

γ_L Teilsicherheitsbeiwert für die CFK-Lamelle

= 1,2 für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen

= 1,0 für außergewöhnliche Bemessungssituationen

Die Randdehnung der CFK-Lamelle darf den Wert $\epsilon_{Ld,max}$ nach Gleichung (2) nicht überschreiten.

$$\epsilon_{Ld,max} \leq k_E \cdot \frac{f_{Lk}}{E_{Lk} \cdot 1,5} \quad (2)$$

Der Abminderungsfaktor k_E ist mit 0,8 anzunehmen.

Der Rechenwert der vorhandenen Betondruckfestigkeit ist nach Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" festzulegen.

Die statische Nutzhöhe d_L der CFK-Lamellen ist nach Gleichung (3) anzunehmen (Bild 1).

$$d_L = h - \left(t_s - \frac{b_L}{2} \right) \quad (3)$$

In Gleichung (3) bedeuten:

h Bauteilhöhe in mm

c für die Schlitztiefe maßgebende Betondeckung in mm

Δc Vorhaltemaß für die Schlitztiefe in mm nach Abschnitt 3.1.1 der „Besonderen Bestimmungen“

b_L Breite der Lamelle in mm



t_s Tiefe des Schlitzes in mm nach Abschnitt 3.1.1 der „Besonderen Bestimmungen“
 $\leq c - \Delta c$

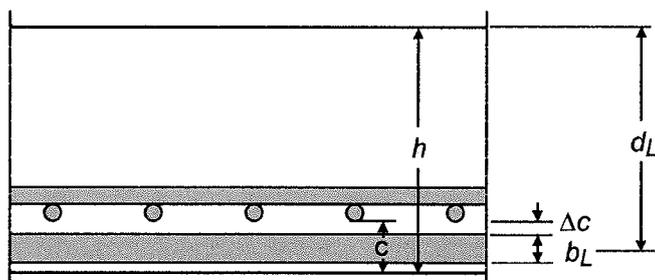


Bild 1: Ermittlung der statischen Nutzhöhe der CFK Lamellen

Der zur Berechnung der Verbundtragfähigkeit erforderliche charakteristische Wert der Schubtragfähigkeit $\tau_{k,k}$ des Klebstoffs kann nach Gleichung (4) ermittelt werden. Die charakteristischen Werkstoffwerte des Epoxidharzklebstoffes sind nach Abschnitt 3.2 der "Besonderen Bestimmungen" anzunehmen.

$$\tau_{k,k} = \sqrt{\left(2 \cdot f_{Kt,k} - 2 \cdot \sqrt{f_{Kt,k}^2 + f_{Kc,k} \cdot f_{Kt,k}} + f_{Kc,k}\right) \cdot f_{Kt,k}} \quad (4)$$

In Gleichung (4) bedeuten:

$f_{Kt,k}$ charakteristische Zugfestigkeit des Epoxidharzklebstoffes in MPa in Abhängigkeit von der maximalen Anwendungstemperatur nach Tabelle 4.1 bzw. 4.2

$f_{Kc,k}$ charakteristische Druckfestigkeit des Epoxidharzklebstoffes in MPa in Abhängigkeit von der maximalen Anwendungstemperatur nach Tabelle 4.1 bzw. 4.2

2.2 Biegebemessung

Innerhalb der Grenzdehnungen nach DIN 1045-1¹, 10.2 sowie Abschnitt 2.1 dieser Anlage darf im Grenzzustand der Tragfähigkeit die volle Mitwirkung der vorhandenen Bewehrung und der CFK-Lamellen angenommen werden. Der Dehnungszustand der vorhandenen Bewehrung von Stahlbetonbauteilen zum Zeitpunkt der Klebung darf hierfür unter Annahme des gerissenen Zustandes ermittelt werden.

2.3 Nachweis der Verbundtragfähigkeit, Zugkraftdeckung

Die Zugkraftdeckung ist für den Grenzzustand der Tragfähigkeit über die gesamte Bauteillänge nachzuweisen (Bild 2). Hierfür ist die Zugkraftlinie unter Berücksichtigung des Versatzmaßes nach DIN 1045-1¹, 13.2.2 (3) bzw. 13.3.2 (1) zu ermitteln. Unterschiedliche Dehnungen der einzelnen Bewehrungslagen sowie Abstufungen des Betonstahlquerschnittes sind zu berücksichtigen.

Die über Verbundwirkung zwischen CFK-Lamelle und Betonbauteil zu verankernde Lamellenzugkraft ist für Verbundlängen l_b bis 115 mm nach Gleichung (5), für größere Verbundlängen nach Gleichung (6) zu bestimmen.

$$\text{Für } l_b \leq 115 \text{ mm: } F_{b,k} = b_L \cdot \tau_{k,k} \cdot \sqrt{a_r} \cdot l_b \cdot (0,4 - 0,0015 \cdot l_b) \cdot \frac{E_{Lk}}{E_{Lm}} \quad (5)$$

$$\text{Für } l_b > 115 \text{ mm: } F_{b,k} = b_L \cdot \tau_{k,k} \cdot \sqrt{a_r} \cdot \left(26,2 + 0,065 \cdot \tanh\left(\frac{a_r}{70}\right) \cdot (l_b - 115)\right) \cdot \frac{E_{Lk}}{E_{Lm}} \quad (6)$$

In den Gleichungen (5) und (6) bedeuten:



BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

**Bemessung in
Schlitze eingeklebter
CFK-Lamellen**

Anlage 2 Seite 2

zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-73
vom 29. Januar 2009

- $F_{b,k}$ Charakteristische Verbundtragfähigkeit in N
- b_L Breite der CFK-Lamelle in mm
- $\tau_{K,k}$ Charakteristische Schubfestigkeit des Klebstoffs nach Abschnitt 2.1 in MPa
- a_r Abstand der Lamellenlängsachse zum freien Bauteilrand in mm, a_r darf höchstens mit 150 mm angesetzt werden.
- l_b Verbundlänge in mm
- $E_{L,k}$ charakteristischer Wert des E-Moduls der CFK-Lamellen nach Abschnitt 2.1 der „Besonderen Bestimmungen“
- $E_{L,m}$ Mittelwert des E-Moduls der CFK-Lamellen nach Abschnitt 2.1 der „Besonderen Bestimmungen“

Der Bemessungswert der Verbundtragfähigkeit ergibt sich nach Gleichung (7).

$$F_{b,d} = \frac{F_{b,k}}{\gamma_b} \leq k_e \cdot f_{Ld} \cdot A_L \quad (7)$$

In Gleichung (7) bedeutet:

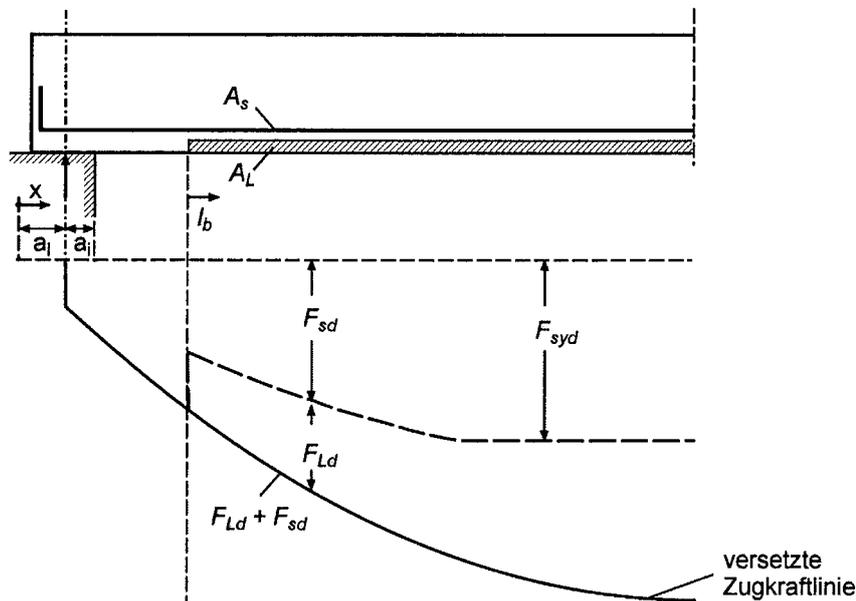
- γ_b Teilsicherheitsbeiwert für die Verbundtragfähigkeit
 = 1,3 für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen
 = 1,05 für außergewöhnliche Bemessungssituationen

In Bild 2 bedeuten:

- F_{sd} Bemessungswert der Zugkraft in der Betonstahlbewehrung infolge der einwirkenden Schnittgrößen
- F_{Ld} Bemessungswert der Zugkraft in den CFK-Lamellen infolge der einwirkenden Schnittgrößen
- F_{syd} Bemessungswert der Zugkraft in der Betonstahlbewehrung bei Erreichen der Streckgrenze
- $F_{Ld,max}$ Bemessungswert der von den CFK-Lamellen maximal aufnehmbaren Zugkraft
- A_s Querschnitt der Betonstahlbewehrung
- A_L Querschnitt der CFK-Lamellen
- a_i Versatzmaß nach DIN 1045-1¹, 13.2.2 bzw. 13.3.2
- a_i Abstand zwischen der Auflagervorderkante und der rechnerischen Auflagerlinie nach DIN 1045-1¹, Bild 7



a) Ermittlung der Zugkraftanteile (exemplarisch)



b) Nachweis der Zugkraftdeckung durch Betonstahl und Klebarmierung

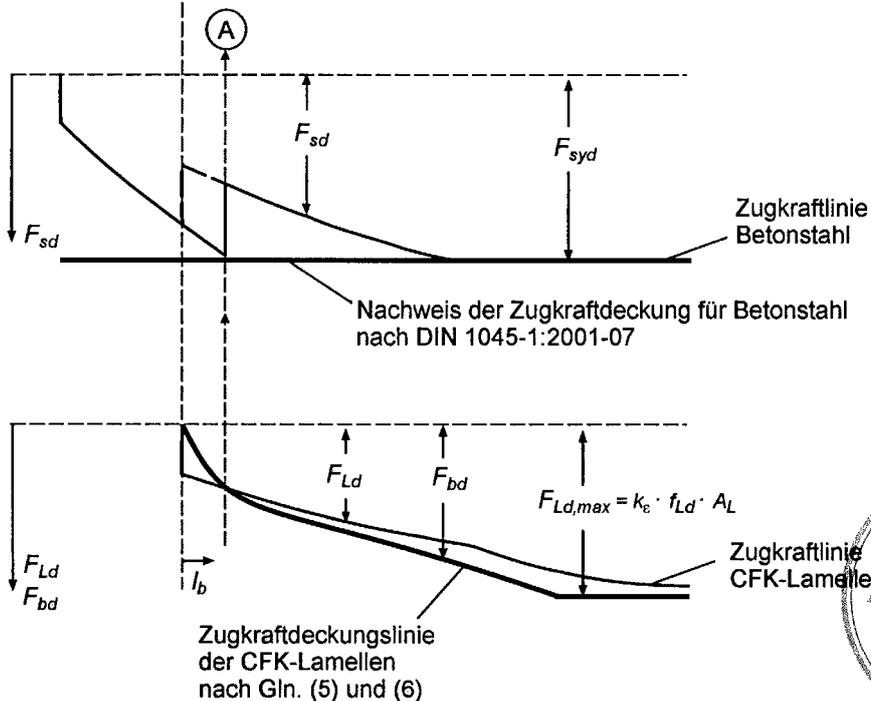


Bild 2: Ermittlung der Zugkraftanteile und Nachweis der Zugkraftdeckung

In jedem Querschnitt des verstärkten Bauteils muss sichergestellt sein, dass der Bemessungswert des Bauteilwiderstandes größer ist als der Bemessungswert der einwirkenden Schnittgröße im verstärkten Zustand. Die Teilzugkräfte der Bewehrungsstränge sind unter der Annahme einer ebenen Dehnungsverteilung zu ermitteln. Der Zugkraftdeckungsnachweis kann nach Bild 2 unter Beachtung der relevanten Bestimmungen nach DIN 1045-1¹, 13.2.2 und 13.3.2 geführt werden. Insbesondere ist der Nachweis der Zugkraftdeckung durch die vorhandene Betonstahlbewehrung in den

Bereichen, in denen die CFK-Lamellen nicht angerechnet werden können (nach Bild 2 vereinfachend bis zum Punkt A) nach DIN 1045-1¹ zu führen.

2.4 Querkraftnachweis und -bemessung

Es gelten die Regelungen nach DIN 1045-1¹ mit den folgenden zusätzlichen Festlegungen.

2.4.1 Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

Für Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung gilt DIN 1045-1¹, 10.3.3. In $V_{Rd,ct}$ nach DIN 1045-1¹, Abschnitt 10.3.3, Gleichung (70) darf bei der Ermittlung des Bewehrungsgrades auch die in Schlitze eingeklebte CFK-Bewehrung berücksichtigt

werden. Dabei ist $\rho_1 = \frac{A_s + \frac{E_s d_s}{E_L d_L} A_L}{b_w d}$ mit

d statische Nutzhöhe der Betonstahl und der in Schlitze verklebten

Bewehrung $d = \frac{E_s A_s d_s + E_L A_L d_L}{E_s A_s + E_L A_L}$ in mm,

d_s statische Nutzhöhe der Betonstahlbewehrung in mm,

d_L statische Nutzhöhe in Schlitze verklebten Bewehrung in mm,

A_s Querschnittsfläche des Betonstahls in der Zugzone des Querschnitts in mm²

A_L Querschnittsfläche der in Schlitze verklebten Lamellen in der Zugzone des Querschnitts in mm²

E_s Elastizitätsmodul des Betonstahls in der Zugzone des Querschnitts in mm²

E_L Elastizitätsmodul der in Schlitze verklebten Lamellen in der Zugzone des Querschnitts in mm²

b_w die kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Zugzone des Querschnitts in mm

Gleichung (70a) nach DIN 1045-1¹, Abschnitt 10.3.3 gilt nicht. Sofern der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft V_{Ed} den Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}$ an keiner Stelle überschreitet, kann auf die Anordnung zusätzlicher äußerer Querkraftbewehrung verzichtet werden.

2.4.2 Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

Für Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung gilt DIN 1045-1¹, 10.3.4. mit der Abweichung, dass $V_{Ed} \leq V_{Rd,02}$. Dabei ist $V_{Rd,02} = \overline{\gamma_E} \cdot \tau_{02} \cdot b_w \cdot z_m$ mit

$\overline{\gamma_E}$ als gemittelter Sicherheitsbeiwert für die Einwirkungen²,

τ_{02} nach Tabelle 1 (aus DIN 1045³, Tabelle 13) und

z_m als mittlerer Hebelarm der Biegezugbewehrung (näherungsweise darf $z_m = 0,85 d$ gesetzt werden)

Tabelle 1 τ_{02} nach DIN 1045³ (Werte für C16/20, C25/30 und C40/50 linear interpoliert)

	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55
τ_{02} [MPa]	1,00	1,5	1,80	2,0	2,40	2,70	2,8	3,00

Zusätzliche äußere Querkraftbewehrung, die die Zugzone einschließlich der CFK-Lamellen umschließt, ist anzuordnen. Ausnahmen hiervon werden in 2.4.3 angegeben. Für die Ermittlung des von der vorhandenen Querbewehrung abgedeckten Querkraftanteils $V_{Rd,sy}$ gilt DIN 1045-1¹, 10.3.4, die Gleichungen (75) bzw. (77). Der Bemessungswert des durch



die zusätzliche äußere Querkraftbewehrung in Form von Laschenbügeln aufnehmbaren Querkraftanteils $V_{Rd,Ly}$ darf für eine Stahlspannung entsprechend dem Bemessungswert der Streckgrenze f_{Lyd} nach Gleichung (8) ermittelt werden.

$$f_{Lyd} = \frac{f_{Lyk}}{\gamma_s} \quad (8)$$

In Gleichung (8) bedeuten:

f_{Lyk} charakteristischer Wert der Streckgrenze der Laschenbügel

γ_s Teilsicherheitsbeiwert entsprechend DIN 1045-1¹

Dem Querkraftnachweis ist eine für einbetonierte und angeklebte Bewehrung einheitliche Druckstrebenneigung θ in den Grenzen nach DIN 1045-1¹, 10.3.4 (3) zugrunde zu legen.

Der Bemessungswert der durch zusätzliche äußere Querkraftbewehrung (Laschenbügel) abzudeckenden Querkraft $V_{Ed,L}$ ist nach Gleichung (9) zu bestimmen.

$$V_{Ed,L} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\eta_B - 1}{\eta_B} \cdot V_{Ed} \\ V_{Ed} - V_{Rd,sy} \end{array} \right. \quad (9)$$

In Gleichung (9) bedeuten:

η_B Biegeverstärkungsgrad

$$= \frac{M_{Ed,V}}{M_{Rd,0}}$$

$M_{Ed,V}$ Bemessungswert der Schnittkraft aus den Einwirkungen im verstärkten Zustand

$M_{Rd,0}$ Bemessungswert des Bauteilwiderstands im unverstärkten Zustand

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

Fall 1:

Der Bemessungswert der durch die innere Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft $V_{Rd,sy}$ ist kleiner als der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft V_{Ed} ($V_{Rd,sy} < V_{Ed}$):

Äußere Querkraftbewehrung in Form angeklebter Laschenbügel aus Stahl ist stets anzuordnen. Diese müssen die Zugzone umschließen und in der Druckzone verankert werden. Bei vorwiegend ruhender Beanspruchung darf die in der Druckzone zu verankernde Zugkraft auf 2/3 ihres Rechenwertes abgemindert werden, sofern die Laschenbügel über die Steghöhe verklebt werden.

Fall 2:

Der Bemessungswert der durch die innere Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft $V_{Rd,sy}$ ist gleich oder größer als der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft V_{Ed} ($V_{Rd,sy} \geq V_{Ed}$):

Überschreitet bei Balken und Plattenbalken der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft den Wert $V_{Rd,lim}$ nach Gl. (10) nicht ($V_{Ed} \leq V_{Rd,lim}$) kann auf die Anordnung zusätzlicher Querkraftbewehrung verzichtet werden.

In allen anderen Fällen ist zusätzliche Querkraftbewehrung in Form von Laschenbügeln anzuordnen. Auf die Verankerung der Laschenbügel in der Druckzone kann verzichtet werden, sofern die auf sie entfallende Querkraft $V_{Ed,L}$ über Klebeverbund an das Betonbauteil übertragen werden kann. Die Laschenbügel sind hierfür über die vorhandene Steghöhe zu verkleben.



Der Nachweis des Verbundes der Schublaschen mit dem Beton erfolgt nach Gleichung (12). Dabei darf für die rechnerische Verankerungslänge l_t höchstens die Hälfte der vorhandenen Klebelänge entlang des Steges angesetzt werden.

$$F_{Lb,d} \leq \frac{0,5 \cdot T_k}{\gamma_c} \quad (12)$$

In Gleichung (12) bedeuten:

$F_{Lb,d}$ Bemessungswert der auf einen Schenkel des Laschenbügels entfallenden Zugkraft

T_k charakteristische Verbundbruchkraft

γ_c Teilsicherheitsbeiwert für Beton nach DIN 1045-1¹, 5.3.3

Die charakteristische Verbundbruchkraft T_k ist nach den Gleichungen (13) bis (15) zu berechnen.

$$T_k = T_{k,max} \cdot \frac{l_t}{l_{t,max}} \cdot \left(2 - \frac{l_t}{l_{t,max}} \right) \leq T_{k,max} \quad (13)$$

$$T_{k,max} = 0,24 \cdot b_{Lb} \cdot \sqrt{E_{Lb} \cdot t_{Lb}} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm,surf}} \quad (14)$$

$$l_{t,max} = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{E_{Lb} \cdot t_{Lb}}{f_{cm} \cdot f_{ctm,surf}}} \quad (15)$$

In den Gleichungen (13) bis (15) bedeuten:

T_k charakteristische Verbundbruchkraft in N

$T_{k,max}$ Maximalwert der charakteristischen Verbundbruchkraft für $l_t \geq l_{t,max}$ in N

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

l_t höchstens die Hälfte der vorhandenen Verankerungslänge in mm

b_{Lb} Breite des Laschenbügels in mm

t_{Lb} Dicke des Laschenbügels in mm

E_{Lb} Elastizitätsmodul des Laschenbügels in MPa

f_{cm} Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons in MPa

$f_{ctm,surf}$ Rechenwert der Oberflächenzugfestigkeit des Betons MPa

Der Rechenwert $f_{ctm,surf}$ der Oberflächenzugfestigkeit des Betons für die Bemessung geklebter und nicht in der Druckzone verankerter Laschenbügel ist gemäß Abschnitt 4.2 der "Besonderen Bestimmungen" zu ermitteln. Er darf maximal mit $f_{ctm,surf} = 3$ MPa angesetzt werden.

Hinsichtlich Anordnung und zulässiger Abstände der Bügel vgl. Abschnitt 3.1.4 der „Besonderen Bestimmungen“. Aufgeklebte und nicht in der Druckzone verankerte Laschenbügel können durch schubfest aufgeklebte Kohlenstofffaserlamine entsprechend einer hierfür erteilten, geltenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ersetzt werden.

2.4.3 Verbügelung der Lamellenendverankerung

Übersteigt V_{Ed} den Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}$ von Bauteilen ohne Querkraftbewehrung nach DIN 1045-1¹, 10.3.3, ist in jedem Fall eine Verbügelung des Endverankerungsbereichs der CFK-Lamellen vorzusehen. Der nach Abschnitt 3.1.4 der



BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

**Bemessung in
Schlitze eingeklebter
CFK-Lamellen**

Anlage 2 Seite 7

zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-73
vom 29. Januar 2009

„Besonderen Bestimmungen“ anzuordnende Laschenbügel ist für den Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft nach Gl. (16) auszulegen.

$$F_{Lb,d} = F_{Ld}^* \cdot \tan\theta \quad (16)$$

Hierbei entspricht F_{Ld}^* dem Bemessungswert der fiktiven Zugkraft der verankerten CFK-Lamellen an deren Ende, die unter der Annahme einer ebenen Dehnungsverteilung und starren Verbundes sowie unter Berücksichtigung des Versatzmaßes zu berechnen ist. In Gleichung (16) entspricht θ der dem Querkraftnachweis zugrunde liegenden Druckstrebenwinkel gemäß DIN 1045-1¹, Gleichung (73). Die Verankerung des Bügels kann durch Klebeverbund oder Verankerung in der Druckzone entsprechend Fall 2 erfolgen. Der im Bereich der Endverankerung anzuordnende Laschenbügel kann auf die zur Aufnahme der Querkraft erforderlichen Laschenbügel angerechnet werden.

2.5 Schubkraft zwischen Balkensteg und Zuggurt

Der Anschluss der CFK-Lamellen in Zuggurten gegliederter Querschnitte ist gemäß DIN 1045-1¹, 10.3.5 nachzuweisen.

2.6 Nachweis des Verbundes zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht

Bei einem Ausgleich der Bauteiloberfläche im Bereich der CFK-Lamellen ist abhängig von Lage und Größe der Ausgleichsfläche die Schubkraftübertragung in der Fuge zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht für folgende Flächen rechnerisch nachzuweisen sowie nach Abschnitt 4.8.2 der „Besonderen Bestimmungen“ zu überprüfen.

Tabelle 3 Nachweise bei Ausgleich bzw. Ergänzung von Betonoberflächen

Ausgleichsflächen		Nachweise
großflächig	bei Einzelflächen mit $L > 50$ cm in Richtung der Lamellenlängsachse bzw. bei Ausgleichsschichten an einer Lamelle mit insgesamt $L > 20$ % der Einzellamellenlänge	Rechnerischer Nachweis des Verbundes zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht sowie Prüfung der Verbundfestigkeit im Haftzugversuch
kleinflächig	im Verankerungsbereich der Lamelle bis zu einem Abstand von 150 cm vom Lamellenende	
	sonstige Flächen	Prüfung der Verbundfestigkeit im Haftzugversuch

Die Schubbeanspruchung der Fuge ist aus der Zugkraftänderung der CFK-Lamellen zu bestimmen. Der Bemessungswert des über die Fuge zu übertragenden Längskraftanteils F_{cdj} ist dabei unter der Voraussetzung einer ebenen Dehnungsverteilung und unter Berücksichtigung des Versatzmaßes sowie von Vordehnungen der Betonstahlbewehrung zum Zeitpunkt der Verstärkung zu ermitteln. Sofern die vorhandene einbetonierte Bewehrung aus glattem Betonstahl besteht, ist das unterschiedliche Verbundverhalten der Bewehrungsstränge in angemessener Weise zu berücksichtigen.

Für den Nachweis der Schubkraftübertragung in der Fuge zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht gelten die Regeln nach DIN 1045-1¹, 10.3.6.



2.7 Nachweise bei nicht vorwiegend ruhenden Einwirkungen

Für die Nachweise gegen Ermüdung unter nicht vorwiegend ruhenden Einwirkungen gilt DIN 1045-1¹, 10.8. Der Ermüdungsnachweis der in Schlitzen verklebten CFK-Lamellen kann als erfüllt angesehen werden, wenn für die zugehörige Betonstahlbewehrung ein ausreichender Widerstand gegen Ermüdung nach DIN 1045-1¹, 10.8 nachgewiesen wird.

Für Laschenbügel aus Stahl, die ohne geklebte Übergreifungsstöße ausgeführt werden und in der Druckzone verankert sind, kann ein ausreichender Widerstand gegen Ermüdung angenommen werden, wenn unter der häufigen Einwirkungskombination die Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{Lb} = 80$ MPa nicht überschreitet⁴.

Die Ausführung von Laschenbügeln, die nur durch Klebeverbund verankert werden, ist bei nicht vorwiegend ruhenden Einwirkungen nicht zulässig.

Der Betriebsfestigkeitsnachweis von Stahlbauteilen (Bolzen, etc.) zur Verankerung der Laschenbügel in der Druckzone und von geschweißten Stößen hat nach DIN 18800-1⁵, Abschnitt 7.5.1, Element 741 zu erfolgen.

3 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

3.1 Grundlagen

Für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit kann die Spannungs-Dehnungs-Linie der CFK-Lamellen als linear angenommen werden. Die Nachweise sind auf Grundlage des charakteristischen Wertes des E-Moduls $E_{L,k}$ nach Abschnitt 2.1 der „Besonderen Bestimmungen“ zu führen.

3.2 Begrenzung der Lamellendehnungen

Die Randdehnung der CFK-Lamellen ist unter der seltenen Einwirkungskombination nach DIN 1055-100⁶: auf einen Wert von 2 ‰ zu beschränken. Werden im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit höhere Lamellendehnungen angestrebt, ist die Bauteilverformung zu begrenzen. Grenzwerte der Durchbiegung von Balken oder Platten sind im Einzelfall festzulegen. Hinweise hierzu enthält DIN 1045-1¹.

3.3 Begrenzung der Rissbreiten

Im Allgemeinen ist die Begrenzung der Rissbreiten durch die vorhandene Bewehrung nach DIN 1045-1, Abschnitt 11.2 einzuhalten. Sofern eine Mitwirkung der in Schlitzen verklebten CFK-Lamellen bei der Rissbreitenbegrenzung rechnerisch berücksichtigt werden soll, werden weitergehende Untersuchungen unter Einschluss experimenteller Ergebnisse sowie eines Gutachtens einer anerkannten Prüfstelle erforderlich.

3.4 Nachweis der Dauerhaftigkeit

Zusätzlich zum Verankerungsnachweis nach Gleichung (5) bzw. (6) muss nachgewiesen werden, dass die auftretenden Verankerungskräfte aus quasi-ständigen Lasten nach den Gleichungen (5) bzw. (6) unter Annahme folgender Kleberfestigkeiten aufgenommen werden:

$$f_{kta,k} = 0,5 * f_{kt,k}$$

$$f_{kca,k} = 0,5 * f_{kc,k}$$

$f_{kta,k}$ charakteristische Dauerzugfestigkeit des Epoxidharzklebstoffes in MPa

$f_{kca,k}$ charakteristische Dauerdruckfestigkeit des Epoxidharzklebstoffes in MPa




BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

**Bemessung in
Schlitze eingeklebter
CFK-Lamellen**

Anlage 2 Seite 9

zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung
Z-36.12-73
vom 29. Januar 2009

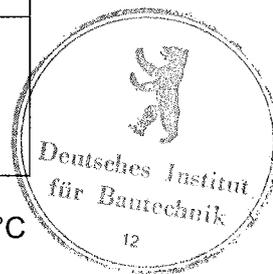
Tabelle 1: Verarbeitungszeit und Unterstützungsdauer für den Klebstoff Sikadur 30 DUE

Temperatur [°C]	Verarbeitungszeit [Min]	Unterstützungsdauer [h]
≥8	≤60	≥30
≤23	≤50	≥20
≤30	≤45	≥15

Maximale Dauertemperatur s. Tabelle 1 der "Besonderen Bestimmungen"

Tabelle 2: Verarbeitungszeit und Unterstützungsdauer für den Klebstoff MC-DUR 1280

Temperatur [°C]	Verarbeitungszeit [Min]	Unterstützungsdauer [h]
≥8	≤60	≥30
≤23	≤45	≥20
≤30	≤20	≥15



Maximale Dauertemperatur nach der Aushärtung 40 °C

Tabelle 3: Zulässige Feuchte des Untergrundes und der Luft für die Klebstoffe Sikadur 30 DUE und MC-DUR 1280

Klebstoff	Sikadur 30 DUE nach Z-36.12-29	MC DUR 1280 nach Z-36.12-63
zul. Feuchtegehalt des Untergrundes	4 M.-%	6 M.-%
zul. rel. Luftfeuchte	75 %	85 %

Tabelle 4: Aushärtezeit für die Primer nach den Besonderen Bestimmungen, Tabelle 3, 3. Spalte

Temperatur [°C]	Aushärtezeit bis zum Verkleben der geprimerten Stahllaschen [Tage]	
	Icosit 277 ¹ nach Z-36.12-29	Colusal VL nach Z-36.12-63
≥10	≥7 d	≥7 d
~ 23	≥3 d	≥3 d
≤30	≥2 d	≥2 d

Zwischen der Auftragung beider Primerschichten ist eine Verweildauer von mindestens 24 Stunden einzuhalten.

¹ Wird auch unter der Bezeichnung SIKACor 277 gehandelt

BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

**In Schlitze
verklebte Lamellen
Verarbeitungszeit und
Unterstützungsdauer für den
Klebstoff Sikadur 30 und
MC-DUR 1280**

Anlage 3
zur allgemeinen bauaufsichtlichen
Zulassung
Z-36.12-73

vom 29. Januar 2009

Werkseigene Produktionskontrolle für Carboplus® 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 ISO 527-5:1997-07	1 Prüfung je 1000 m
4	Glasübergangspunkt nach DIN EN 61.006	1 Prüfung je 1000 m
5	Lamellenzugfestigkeit in Anlehnung an DIN EN ISO 527-5:1997-07	1 Prüfung je 1000 m
6	Bruchdehnung	1 Prüfung je 1000 m

Fremdüberwachung

Alle Prüfungen 3 bis 6 stichprobenartig.



BILFINGER BERGER

Zentrales Labor für Baustofftechnik

**In Schlitze
verklebte Lamellen
Übereinstimmungsnachweis
CFK-Lamellen**

Anlage 4
zur allgemeinen bauaufsichtlichen
Zulassung
Z-36.12-

vom