

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

Zulassungsstelle für Bauprodukte und Bauarten

Bautechnisches Prüfamt

Eine vom Bund und den Ländern
gemeinsam getragene Anstalt des öffentlichen Rechts
Mitglied der EOTA, der UEAtc und der WFTAO

Datum:

09.08.2012

Geschäftszeichen:

I 43-1.36.1-6/12

Zulassungsnummer:

Z-36.12-73

Antragsteller:

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

Geltungsdauer

vom: **9. August 2012**

bis: **31. Januar 2013**

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 21 Seiten und vier Anlagen mit 13 Seiten. Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ersetzt die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-36.12-73 vom 25. März 2011. Der Gegenstand ist erstmals am 14. Januar 2004 unter der Zulassungsnummer Nr. Z-36.12-60 allgemein bauaufsichtlich zugelassen worden.

DIBt

I ALLGEMEINE BESTIMMUNGEN

- 1 Mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ist die Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Zulassungsgegenstandes im Sinne der Landesbauordnungen nachgewiesen.
- 2 Sofern in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Anforderungen an die besondere Sachkunde und Erfahrung der mit der Herstellung von Bauprodukten und Bauarten betrauten Personen nach den § 17 Abs. 5 Musterbauordnung entsprechenden Länderregelungen gestellt werden, ist zu beachten, dass diese Sachkunde und Erfahrung auch durch gleichwertige Nachweise anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union belegt werden kann. Dies gilt ggf. auch für im Rahmen des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) oder anderer bilateraler Abkommen vorgelegte gleichwertige Nachweise.
- 3 Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ersetzt nicht die für die Durchführung von Bauvorhaben gesetzlich vorgeschriebenen Genehmigungen, Zustimmungen und Bescheinigungen.
- 4 Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung wird unbeschadet der Rechte Dritter, insbesondere privater Schutzrechte, erteilt.
- 5 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.
- 6 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.
- 7 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 Bausatz zur Verstärkung von Bauteilen aus Beton- und Stahlbeton mit CFK-Lamellen, die in Schlitze geklebt werden. Im Bereich der Betondeckung der Zugzone des zu verstärkenden Bauteils werden dabei Schlitze eingeschnitten, in die jeweils eine kohlenstofffaserverstärkte Epoxidharzlamelle (CFK-Lamelle), genannt Carboplus[®] CFK-Lamelle, mit Hilfe eines Epoxidharzklebstoffs eingeklebt wird. Zu diesem Zweck dürfen die Carboplus[®] CFK-Lamelle mit folgenden Bausätzen kombiniert werden.

Bausatz 1 aus Carboplus[®] CFK-Lamelle nach Abschnitt 2.1.1 mit Komponenten nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77 (MC-Bauchemie Müller GmbH & Co.):

- Stahllaschenbügel und Ankerschrauben nach Abschnitt 2.1.3,
- Klebstoff "MC-DUR 1280" nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77, Abschnitt 2.1.2,
- Betonersatzsystem "MC-DUR 1000 Parat 09" nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77, Abschnitt 2.1.5,
- -Korrosionsschutz der vorhandenen Bewehrung und Haftbrücke "MC-DUR 1009 HB" für das Betonersatzsystem "MC-DUR 1000 Parat 09" nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77, Abschnitt 2.1.5,
- Primer "Colusal VL" nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77, Abschnitt 2.1.4,
- Reinigungsmittel "MC Reinigungsmittel U" nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77, Abschnitt 2.1.7,
- Schutzanstrich für die in Schlitze geklebte und aufgeklebte Bewehrung nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77, Abschnitt 2.1.4.

Bausatz 2 aus Carboplus[®] CFK-Lamelle nach Abschnitt 2.1.1 mit Komponenten nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-80 (Sika Deutschland GmbH):

- Stahllaschenbügel und Ankerschrauben nach Abschnitt 2.1.3,
- Klebstoff "Sikadur-30 DUE" nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-80, Abschnitt 2.1.2,
- Betonersatzsystem "Sikadur-41 DUE" nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-80, Abschnitt 2.1.5,
- Korrosionsschutz der vorhandenen Bewehrung "Sika MonoTop-601 Neu" nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-80, Abschnitt 2.1.5,
- Reinigungsmittel "Sika Colma Reiniger" nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-80, Abschnitt 2.1.7,
- Schutzanstrich "Sikagard-680 S Betoncolor" für die in Schlitze geklebte und aufgeklebte Bewehrung nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-80, Abschnitt 2.1.6.

Für eine Verstärkungsmaßnahme dürfen die Carboplus[®] CFK-Lamelle nur mit einem von beiden Bausätzen kombiniert werden.

1.2 Anwendungsbereich

Die schubfest in die Schlitze im Bauteil verklebten Carboplus® CFK-Lamellen dürfen zum Nachweis der Tragfähigkeit von Beton- und Stahlbetonbauteilen herangezogen werden.

Den Lamellen dürfen planmäßig nur Zugkräfte zugewiesen werden. In Abhängigkeit von der Größe der Querkraftbeanspruchungen müssen die CFK-Lamellen zusätzlich durch Stahllaschenbügel aus Stahl oder durch schubfest aufgeklebte Kohlenstofffaserlamine umschlossen werden.

Die Verstärkungen nach dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung dürfen an Beton- und Stahlbetonbauteilen aus Normalbeton der Festigkeitsklassen C20/25 bis C45/55 vorgenommen werden.

Durch die in Schlitze verklebten CFK-Lamellen dürfen vorwiegend ruhend und nicht vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile gemäß DIN 1055-100¹, Abschnitt 3.1.2.4.2 und 3.1.2.5.1 verstärkt werden. Für nicht vorwiegend ruhende Belastung muss innere Längszugbewehrung aus Betonstahl vorhanden sein. Falls zusätzliche äußere Schubbewehrung erforderlich ist, sind nur in der Druckzone verankerte Stahllaschenbügel ohne geklebte Übergreifungsstöße zulässig.

Die in Schlitze verklebten CFK-Lamellen dürfen ungeschützt nur bei geringer UV-Strahlung (keine direkte Sonneneinstrahlung und keine indirekte Sonneneinstrahlung durch Schnee- und Wasserflächen) verwendet werden. Ist abweichend davon mit starker UV-Strahlung (direkte Sonneneinstrahlung oder indirekte Sonneneinstrahlung durch Schnee- und Wasserflächen) zu rechnen, muss der Schutzanstrich für die geklebte Bewehrung nach Abschnitt 2.1.5 aufgebracht werden.

Die mit in Schlitze verklebten Carboplus® CFK-Lamellen verstärkten Bauteile dürfen ungeschützt nur den Expositionsklassen XC1 (trocken) und XC3 nach DIN 1045-1², Tabelle 3 zugeordnet sein. Gegebenenfalls ist durch das Aufbringen geeigneter Schutzschichten für die geklebte Bewehrung sicherzustellen, dass das Bauteil im Bereich der in Schlitze verklebten CFK-Lamellen nicht einer wechselnden oder dauernden Durchfeuchtung ausgesetzt ist.

Im Bereich der Lamellen darf die Bauteiltemperatur von 40 °C nicht überschritten werden.

Wird auf Betonoberflächen geklebt, die mit dem Betonersatzsystem Epoxidharzmörtel "Sikadur-41 DUE" instandgesetzt wurden, darf die Bauteiltemperatur 38 °C nicht überschreiten.

Nach Ablauf der Geltungsdauer der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung der Firmen MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. (Z-36.12-77) und Sika Deutschland GmbH (Z-36.12-80) dürfen die Komponenten dieser Zulassungen nicht mehr verwendet werden.

Die Verstärkungsarbeiten dürfen nur von Betrieben ausgeführt werden, die ihre Eignung entsprechend Abschnitt 4.1 nachgewiesen haben.

2 Bestimmungen für die Bauprodukte

2.1 Eigenschaften und Zusammensetzung

2.1.1 Carboplus® CFK-Lamellen

Die Lamellen müssen pultrudierte, unidirektionale Lamine aus epoxidharzgebundenen Kohlenstofffasern sein. Die Lamellendicke beträgt 1,0 bis 3,0 mm und die Lamellenbreite 10 bis 30 mm. Die Carboplus® CFK-Lamellen mit Nenndicken $\leq 2,5$ mm müssen die in Tabelle 1.1 und mit Nenndicke von 3 mm die in Tabelle 1.2 aufgeführten Eigenschaften erfüllen.

¹ DIN 1055-100:2001-03 Einwirkungen auf Tragwerke Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessung

² DIN 1045-1:2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 1: Bemessung und Konstruktion

Tabelle 1.1: Eigenschaften der Lamellen mit einer Nenndicke $\leq 2,5$ mm

Bezeichnung der Lamelle		Carboplus® 160/2400	Carboplus® 160/2800	Carboplus® 200/3000
Gehalt an Kohlenstofffasern		$\geq 68\%$	$\geq 68\%$	$\geq 68\%$
Zugfestigkeit (charakteristischer Wert)	f_{Lk}	≥ 2350 MPa	≥ 2830 MPa	≥ 2950 MPa
Elastizitätsmodul in Faserrichtung (Mittelwert)	E_{Lm}	≥ 170 GPa	≥ 170 GPa	≥ 210 GPa
Elastizitätsmodul in Faserrichtung(charakteristischer Wert)	E_{Lk}	≥ 160 GPa	≥ 164 GPa	≥ 200 GPa
Bruchdehnung in Faserrichtung (charakteristischer Wert)	ϵ_{Luk}	$\geq 1,3 \%$	$\geq 1,65 \%$	$\geq 1,3 \%$

Tabelle 1.2: Eigenschaften der Lamellen mit einer Nenndicke von 3 mm

Bezeichnung der Lamelle		Carboplus® 160/2400	Carboplus® 160/2800	Carboplus® 200/3000
Gehalt an Kohlenstofffasern		$\geq 68\%$	$\geq 68\%$	$\geq 68\%$
Zugfestigkeit (charakteristischer Wert)	f_{Lk}	≥ 2300 MPa	≥ 2730 MPa	≥ 2800 MPa
Elastizitätsmodul in Faserrichtung (Mittelwert)	E_{Lm}	≥ 170 GPa	≥ 163 GPa	≥ 205 GPa
Elastizitätsmodul in Faserrichtung(charakteristischer Wert)	E_{Lk}	≥ 160 GPa	≥ 160 GPa	≥ 200 GPa
Bruchdehnung in Faserrichtung (charakteristischer Wert)	ϵ_{Luk}	$\geq 1,3 \%$	$\geq 1,6 \%$	$\geq 1,3 \%$

Zusammensetzung und Eigenschaften des Harzes und der Kohlenstofffasern müssen den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Angaben entsprechen.

2.1.2 Klebstoff, Primer für Stahlflaschenbügel und Instandsetzungsbeton bzw. -mörtel, Haftbrücke und Korrosionsschutz für die vorhandene Bewehrung, Beton, Spritzbeton

Carboplus® CFK-Lamellen dürfen in Verbindung mit den Komponenten eines in Tabelle 2 angegebenen, allgemein bauaufsichtlich zugelassenen Bausatzes, bestehend aus Klebstoff, Primer für Stahlflaschenbügel, Instandsetzungsmörtel und Reiniger für CFK-Lamellen, verwendet werden. Die Komponenten des Bausatzes nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77 (siehe Tabelle 2) dürfen sowohl zum Verkleben der Carboplus® CFK-Lamellen in Schlitze des Betonbauteils als auch zum Ankleben von Stahlflaschenbügeln verwendet werden. Die Komponenten des Bausatzes nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-80 (siehe Tabelle 2) dürfen nur zum Verkleben der Carboplus® CFK-Lamellen in Schlitze des Betonbauteils verwendet werden.

Tabelle 2: Zugelassene Komponenten des Klebesystems

Zulassung Nr.	Klebstoff	Primer	Instandsetzungsmörtel, Haftbrücke und Korrosionsschutz für die vorhandene Bewehrung	Reiniger
Z-36.12-77	"MC-DUR 1280"	"Colusal VL"	"MC-DUR 1000 Parat 09" in Verbindung mit der Haftbrücke und Korrosionsschutz für die vorhandene Bewehrung "MC-DUR 1009 HB"	"MC Reinigungsmittel U"
Z-36.12-80	"Sikadur-30 DUE"		"Sikadur-41 DUE" und Korrosionsschutz für die vorhandene Bewehrung "Sika MonoTop-601 Neu"	"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, nach DIN EN 206-1³ in Verbindung mit DIN 1045-2⁴ oder Spritzbeton nach DIN 18551⁵ unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklassen verwendet werden. Dabei muss der Verbund zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht nach Anlage 2, Abschnitt 2.6, nachgewiesen werden.

2.1.3 Stahllaschenbügel und Ankerschrauben

Für Stahlteile dürfen verwendet werden:

- Ankerschrauben der Festigkeitsklassen 4.6, 5.6, 8.8 oder 10.9,
- für den Anwendungsbereich allgemein bauaufsichtlich zugelassene Dübel,
- Stahllaschenbügel aus Stahl der Sorten S 355 J2 und S 235 JR nach DIN EN 10025-2⁶.

Stahl der Sorte S 235 JR darf nur unter folgenden Voraussetzungen verwendet werden:

- Verwendung bei vorwiegend ruhend beanspruchten Bauteilen
- die nominelle Streckgrenze im Blech im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist auf 80% zu begrenzen

Die charakteristischen Materialkennwerte für Stahl der Sorten S 355 J2 und S 235 JR sind DIN 18800-1⁷, Tabelle 1 und die der Ankerschrauben DIN 18800-1⁷, Tabelle 2 zu entnehmen.

³ DIN EN 206-1:2001-07 Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
DIN EN 206-1/A1:2004-10 Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000/A1:2004
DIN EN 206-1/A2:2005-09 Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000/A2:2005

⁴ DIN 1045-2:2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

⁵ DIN 18551:2005-01 Spritzbeton - Anforderungen, Herstellung, Bemessung und Konformität

⁶ DIN EN 10025-2:2005-04 Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle; Deutsche Fassung EN 10025-2:2004

⁷ DIN 18800-1:2008-11 Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion

Stahllaschenbügel dürfen nur bei Verwendung des Bausatzes nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77 (Bausatz 1 nach Abschnitt 1.1) angeklebt werden. Die gestrahlten Stahlflächen sind zum Korrosionsschutz mit den Primer "Colusal VL" nach Abschnitt 2.1.2 zu schützen. Vor dem Auftrag des Primers müssen die Stahlflächen den Oberflächenvorbereitungsgrad SA 2½ nach DIN EN ISO 12944-4⁸ aufweisen. Der Primer ist vollflächig und zweilagig aufzubringen. Dabei sind die Verweildauer zwischen dem Auftrag beider Primerschichten und die Aushärtezeit nach Anlage 3, Tabelle 4 zu beachten.

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

2.1.4 Reinigungsmittel für CFK-Lamellen bzw. Stahllaschenbügel

Sofern die Carboplus® CFK-Lamellen nicht mit Abreißgeweben versehen sind, die unmittelbar vor dem Verkleben abgezogen werden, müssen sie vor der Verklebung mit einem Reiniger gem. Tabelle 2 gereinigt werden.

Das Reinigungsmittel wird auch zum Reinigen der Stahllaschenbügel verwendet.

2.1.5 Schutanstrich für Carboplus® CFK-Lamellen und Stahllaschenbügel

Als Schutanstrich bei der Verwendung der Lamellen und Stahllaschenbügel in bewitterten Bereichen ist ein UV-beständiges Oberflächenschutzsystem zu verwenden, das mit den Carboplus® CFK-Lamellen und dem Beton verträglich ist.

2.2 Herstellung, Verpackung, Transport, Lagerung, Kennzeichnung der Carboplus® CFK-Lamellen

2.2.1 Herstellung

Die Carboplus® CFK-Lamellen müssen in Herstellerwerken hergestellt werden, die vom Antragsteller zu den Kohlenstofffasern und zum Harz folgende Angaben erhalten haben:

- Handelsnamen der einzelnen Rohstoffe
- Namen der Hersteller
- Angaben zur chemischen Bezeichnung der Rohstoffe
- mechanische Eigenschaften der Kohlenstofffasern und des Harzes
- Angaben zur Zusammensetzung und Herstellung der Carboplus® CFK-Lamellen je Lamellentyp

Die Kohlenstofffasern sind auszurichten und mit dem Harzsystem vollständig zu tränken.

Die Aushärtung muss in einer beheizten Form mit anschließender Durchlauftemperung erfolgen.

Die CFK-Lamellen dürfen nach der Herstellung nur mit einem Durchmesser von $\geq 0,90$ m aufgerollt werden. Die Carboplus® CFK-Lamellen müssen vor dem Aufrollen ausreichend ausgehärtet sein.

2.2.2 Verpackung, Transport, Lagerung

Die Carboplus® CFK-Lamellen müssen verpackt und gegen Witterung und Verschmutzung geschützt transportiert und gelagert werden. Im aufgerollten Zustand ist der Mindestdurchmesser von 0,90 m einzuhalten.

⁸

DIN EN ISO 12944-4:1998-07 Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 4: Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitung (ISO 12944-4:1998); Deutsche Fassung EN ISO 12944-4:1998

2.2.3 Kennzeichnung

2.2.3.1 Allgemeines

Die Bauprodukte bzw. deren Verpackung 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.

Jede Komponente des Bausatzes ist vom Hersteller zusätzlich zu dem Übereinstimmungszeichen so zu kennzeichnen, dass eine Verwechslung insbesondere bezüglich Anwendung, Inhalt, Menge, Reaktivität ausgeschlossen ist.

2.2.3.2 Carboplus® CFK-Lamellen

Die Carboplus® CFK-Lamellen sind unverwechselbar und dauerhaft mit folgenden Angaben im Abstand von mindestens 1 m zu bedrucken:

- Typenbezeichnung "Carboplus® 160/2400", "Carboplus® 160/2800" bzw. "Carboplus® 200/3000"
- Chargennummer
- Lamellendicke

2.2.3.3 Klebstoff, Primer für Stahllaschenbügel und Instandsetzungsbeton bzw. -mörtel, Haftbrücke und Korrosionsschutz für die vorhandene Bewehrung

Die Kennzeichnung des Klebstoffs, des Primers, des Instandsetzungsbetons bzw. -mörtels, der Haftbrücke und des Korrosionsschutzes für die vorhandene Bewehrung nach Abschnitt 2.1.2, Tabelle 2, erfolgt nach der dafür gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung.

2.3 Übereinstimmungsnachweis

2.3.1 Allgemeines

2.3.1.1 Carboplus® CFK-Lamellen

Die Bestätigung der Übereinstimmung der Carboplus® CFK-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.

Die Erklärung, dass ein Übereinstimmungszertifikat erteilt ist, hat der Hersteller durch Kennzeichnung der Bauprodukte mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) unter Hinweis auf den Verwendungszweck abzugeben.

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

2.3.1.2 Schublaschen aus Stahl

Der Hersteller der Stahllaschenbügel muss sich davon überzeugen, dass die für das Vormaterial in DIN EN 10025-2⁶ 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 Herstellwerk der Carboplus® CFK-Lamellen muss mindestens die im Folgenden aufgeführten Maßnahmen einschließen:

- Kontrolle der Herstellererklärungen für die Kohlenstofffasern und das Harz-Härter-System auf Übereinstimmung mit den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Stoffdaten
- 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, Tabelle 1 angegeben.

Die Ergebnisse der werkseigenen Produktionskontrolle im Herstellwerk der Carboplus® CFK-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® CFK-Lamellen ist die werkseigene Produktionskontrolle durch eine Fremdüberwachung regelmäßig zu überprüfen, mindestens jedoch zweimal jährlich.

Im Rahmen der Fremdüberwachung ist eine Erstprüfung der Carboplus® CFK-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 dokumentiert 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.

$$t_s \leq c - \Delta c \tag{1}$$

$$t_L + 1 \text{ mm} \leq b_S \leq t_L + 3 \text{ mm} \tag{2}$$

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:

$$\Delta c = \Delta c_{\text{Gerät}} + \Delta c_{\text{Schnitt}} + \Delta c_{\text{Bauteil}} \tag{3}$$

mit:

$\Delta c_{\text{Gerät}}$ gerätespezifische Fehlergrenze nach DBV-Merkblatt 'Betondeckung'⁹ 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 punktuelles 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.

$$a_r \geq 2 \cdot b_L \tag{4}$$

$$a_r \geq d_g \tag{5}$$

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

b_L Breite der CFK-Lamelle

d_g Größtkorndurchmesser der Gesteinskörnung

⁹ Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (Hrsg.):
DBV-Merkblatt "Betondeckung und Bewehrung" - Fassung Juli 2002 -"
Eigenverlag

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.

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

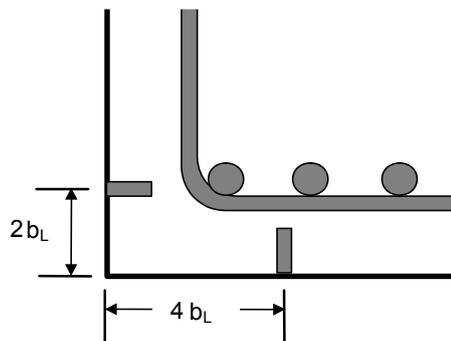


Bild 1: Randabstände bei Anordnung von Lamellen zu beiden Seiten einer Kante

3.1.2.2 Gekrümmt verlegte CFK-Lamellen

Bei Platten und Balken, die im Bereich der Krümmung der CFK-Lamellen nicht mit Stahl-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.

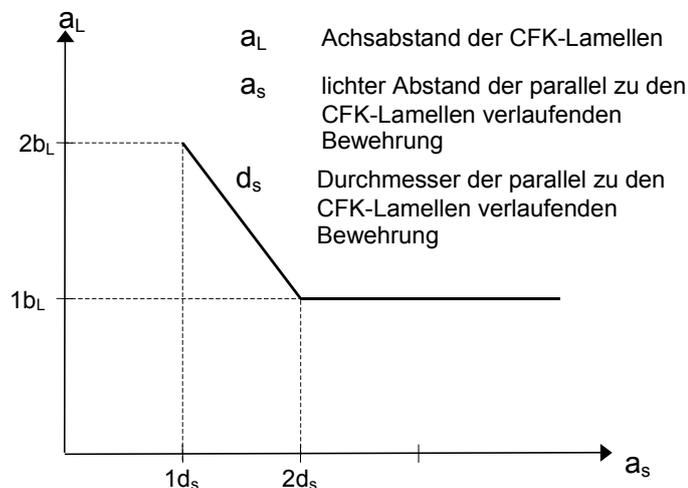


Bild 2: Mindestachsabstände der Zuglamellen

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 Stahllaschenbügel 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 Stahllaschenbügels hat entsprechend Anlage 2, Abschnitt 2.4.3 zu erfolgen.

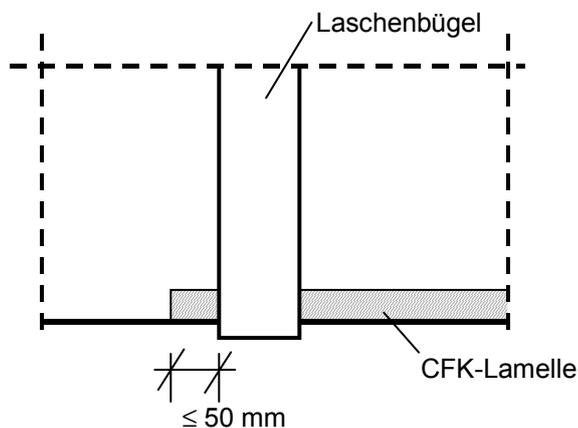


Bild 3: Anordnung des Stahllaschenbügels am Lamellenende

3.1.5 Zugkraftdeckung

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

3.1.6 Laschenbügelbewehrung aus Stahl

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

Bei nicht in der Druckzone verankerten Stahllaschenbügeln (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 Stahllaschenbügel durch geeignete Befestigungen (z.B. Dübel) für den Brandfall gegen Herabfallen zu sichern.

Bei Stahllaschenbügeln, 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 $l_{\bar{u}}$ muss mindestens der Breite b_L der Zuglamelle bzw. bei Anordnung mehrerer Zuglamellen deren Gesamtbreite entsprechen.

3.2 Bemessung

Für die Bemessung gelten die Anlagen 1 und 2.

Die zur Ermittlung der Verbundtragfähigkeit erforderlichen charakteristischen Festigkeitskennwerte der Klebstoffe können ohne genaueren Nachweis den Zeilen 1 und 2 der Tabelle 3 entnommen werden

Davon abweichende Kennwerte können nach Eignungsnachweis entsprechend Abschnitt 4.8.5 verwendet werden. Dabei dürfen die Maximalwerte gemäß den Zeilen 3 und 4 der Tabelle 3 nicht überschritten werden.

Tabelle 3: Charakteristische Festigkeitskennwerte der zu verwendenden Klebstoffe

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 Stahllaschenbügeln gelten die Anlagen 1 und 2.

Platten dürfen nur bis $V_{Ed} \leq V_{Rd,ct}$ (s. Anlage 1) mit in Schlitzen eingeklebten Carboplus® CFK-Lamellen verstärkt werden.

3.3 Feuerwiderstand der Bauteile

Soweit ein Nachweis der vorhandenen Feuerwiderstandsklasse erforderlich ist, ist dieser im Allgemeinen unter der Voraussetzung zu führen, dass die CFK-Lamellen und Stahllaschenbügel ausfallen, es sei denn, dass durch ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis, eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall der Nachweis geführt wird, dass die CFK-Lamellen und Stahllaschenbügel 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.

Die Verstärkungsarbeiten dürfen nur von Betrieben ausgeführt werden, die ihre Eignung vor Beginn der Arbeiten nachgewiesen haben¹⁰. 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"¹¹ gegenüber einer bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle¹² erbracht werden.

¹⁰ Deutsches Institut für Bautechnik:

Verzeichnis der Firmen mit Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch Einkleben von CFK-Lamellen in Schlitze nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen

¹¹ Deutsches Institut für Bautechnik:

Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitze verklebte CFK-Lamellen - Fassung 1/2004

¹² siehe Teil IV des Verzeichnisses der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen, lfd. Nr. 8

zuletzt:

"Mitteilungen", Deutsches Institut für Bautechnik 40 (2010), Sonderheft 40

Die qualifizierte Führungskraft nach der "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitze verklebten CFK-Lamellen"¹³ 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"¹³ 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"¹³ ausgeführt werden.

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.

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"¹³ 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 1045-1² überschreitet.

Werden geklebte Stahllaschenbügel angeordnet oder Ausgleichsschichten nach Abschnitt 2.1.2 hergestellt, ist die Oberflächenzugfestigkeit des Betons im Bereich der Klebeflächen gemäß DIN 1048-2¹⁴, Abschnitt 6, zu prüfen und die Ergebnisse nach DIN 1048-2¹⁴, 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 $f_{ctm,surf}$ nach Abschnitt 2.1 der Anlage 2. Der Mittelwert μ der Grundgesamtheit der Oberflächenzugfestigkeit gilt als Rechenwert f_{ctm} nach Anlage 2, Abschnitt 2.4.2.

Ist die Betondruckfestigkeit eines zu verstärkenden Bauteilabschnitts nicht bekannt oder werden geklebte Stahllaschenbügel angeordnet ist diese gemäß DIN 1048-2¹⁴ und DIN 1048-4¹⁵ am Bauwerk zu bestimmen.

Beim zerstörungsfreien Prüfen mit dem Rückprallhammer nach DIN 1048-2⁴ wird der Mittelwert der Würfeldruckfestigkeit bestimmt. Der Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit ist aus dem Mittelwert der Würfeldruckfestigkeit wie folgt zu ermitteln:

$$f_{cm} = 0,85 \cdot f_{cm,cube}$$

mit:

f_{cm} Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit

$f_{cm,cube}$ Mittelwert der Würfeldruckfestigkeit

Analog darf aus dem Mittelwert der an Würfeln geprüften Druckfestigkeit $f_{cm,cube}$ der Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit f_{cm} mit $f_{cm} = 0,85 \cdot f_{cm,cube}$ ermittelt werden. Dieser Wert darf für f_{cm} in den Gleichung (13) und (14) von Anlage 2 verwendet werden.

¹³ Deutsches Institut für Bautechnik:
Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitze verklebte CFK-Lamellen
- Fassung 1/2004

¹⁴ DIN 1048-2:1991-06 Prüfverfahren für Beton; Festbeton in Bauwerken und Bauteilen

¹⁵ DIN 1048-4:1991-06 Prüfverfahren für Beton; Bestimmung der Druckfestigkeit von Festbeton in Bauwerken und Bauteilen; Anwendung von Bezugsgeraden und Auswertung mit besonderen Verfahren

4.3 Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil

Es dürfen nur Bauteile aus Normalbeton der Festigkeitsklassen C20/25 bis C 45/55 nach DIN EN 206-1³ in Verbindung mit DIN 1045-2⁴ verstärkt werden.

Die nach Abschnitt 3.1.1 mindestens erforderliche Betondeckung der vorhandenen Bewehrung muss gegeben sein.

Die nach der Ausführung der Verstärkungsmaßnahme vorhandene Betondeckung muss darüber hinaus DIN 1045-1², Abschnitt 6.3, entsprechen. Andernfalls sind die Auswirkungen auf den Korrosionsschutz der vorhandenen Bewehrung sowie die Auswirkungen auf die Standsicherheit und insbesondere die Verankerung der Bewehrung entsprechend der DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen"¹⁶, Teil 1, Abschnitt 6 zu prüfen und ggf. Korrosionsschutzmaßnahmen vorzusehen.

Für den Ausgleich von klein- oder großflächigen Unebenheiten der Betonoberfläche bzw. von Fehlstellen im Klebebereich dürfen neben dem in der Tabelle 2 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 Anwendung, Abschnitt 4.2). Beton nach DIN EN 206-1³ in Verbindung mit DIN 1045-2⁴ oder Spritzbeton nach DIN 18551⁵ unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklassen verwendet werden. Die dafür erforderlichen mittleren Rautiefen der Oberfläche des Altbetons können Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Erforderliche Rautiefen R_t mit dem Sandflächenverfahren 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 CFK-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.

Die Oberflächenzugfestigkeit der Betondeckung muss nach Vorbereitung im Bereich der Schlitze und der Klebeflächen der aufgeklebten Schubbewehrung einen Mittelwert von $f_{ctm,surf}$ nach Abschnitt 4.8.2 $\geq 1,5$ MPa aufweisen. Im Bereich der Klebeflächen der aufgeklebten Schubbewehrung dürfen nur Unebenheiten ≤ 5 mm auftreten. Größere Unebenheiten müssen abgetragen oder mit einem Instandsetzungsmörtel auf Reaktionsharzbasis gemäß Tabelle 2 oder einem Instandsetzungsbeton bzw. -mörtel nach Bauregelliste A Teil 2, lfd. Nr. 2.23, der Beanspruchungsklasse M3⁴, Beton nach DIN EN 206-1³ in Verbindung mit DIN 1045-2⁴ oder Spritzbeton nach DIN 18551⁵ unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklassen 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.

¹⁶ Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (Hrsg.):
 "DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen - Oktober 2001 -"
 2. Berichtigung zur „DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie)
 - Ausgabe Oktober 2001 -“ - Ausgabe der 2. Berichtigung: Dezember 2005 -
 Berlin: Beuth, 2005 (Vertriebs-Nr. 65030)

¹⁷ DIN EN 1766:2000-03 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken
 - Prüfverfahren - Referenzbetone für Prüfungen; Deutsche Fassung EN 1766:2000

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.

Stahllaschenbügel dürfen nur bei Verwendung des Bausatzes nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77 (Bausatz 1 nach Abschnitt 1.1) angeklebt werden.

In Verbindung mit dem Klebstoff "MC-DUR 1280" sind stets Stahlflächen zu verwenden, die vor dem Auftrag des Primers den Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2½ nach DIN EN ISO 12944-4¹⁸ aufweisen und zweifach mit dem Primer "Colusal VL" geschützt sind. Der Primer ist vollflächig und zweilagig aufzubringen. Dabei ist eine Verweildauer zwischen der Auftragung beider Primerschichten von mindestens 24 h einzuhalten. Die geprimerten Stahlteile müssen vor dem Ankleben die Anforderungen nach Abschnitt 4.8.4 erfüllen und sind bis zur Verklebung vor Verschmutzung zu schützen.

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

Schweißerarbeiten an verklebten Stahllaschenbügeln 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 Klebstoffe, den Primer, den Instandsetzungsmörtel, die Haftbrücken sowie Korrosionsschutz für die vorhandene Bewehrung und den Schutzanstrich für die aufgeklebte Bewehrung

Die Carbopius® CFK-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 0,90 m.

Die Bauprodukte dürfen nur innerhalb des auf der Packung angegebenen Zeitraumes und bei 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"¹⁶, Teil 2, Abschnitt 6 mit Produkten nach DIN V 18028²¹ zu schließen.

Die Betondeckung im Bereich der in Schlitze zu verklebenden CFK-Lamellen muss nachgewiesen und dokumentiert werden. Die erforderliche Betondeckung ist unter Berücksichtigung der Abschnitte 3.1.1 und 4.3 sowie in Abhängigkeit von den Expositionsklassen nach DIN 1045-1², Abschnitt 6.3 festzulegen.

In das Betonbauteil werden Schlitze senkrecht zur Bauteiloberfläche geschnitten. Hierbei sind die Randbedingungen nach Abschnitt 3.1.1 einzuhalten. Die Schlitze 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 2¹⁶, Abschnitt 2.3.5 ff.

18	DIN EN ISO 12944-4:1998-07	Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 4: Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitung (ISO 12944-4:1998); Deutsche Fassung EN ISO 12944-4:1998
19	DIN 18800-7:2008-11	Stahlbauten - Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation
20	DIN EN ISO 12944-5:2008-01	Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 5: Beschichtungssysteme (ISO 12944-5:2007); Deutsche Fassung EN ISO 12944-5:2007
21	DIN V 18028:2006-06	Rissfüllstoffe nach DIN EN 1504-5:2005-03 mit besonderen Eigenschaften

Die zu verklebende Oberfläche des Betons im Bereich der Stahllaschenbügel muss z. B. durch Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln, Kugelstrahlen, Druckwasserstrahlen, mit Nadelpistole oder Stockgerät (incl. Nacharbeiten) 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 Klebepbereich 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"¹⁶. Die dort in Teil 2 vorgegebenen Grenztemperaturen und -feuchten für die Luft und das Bauteil sind in Abhängigkeit vom jeweils zu verwendenden Material einzuhalten.

Bei großflächig aufzubringenden Ausgleichsschichten aus Beton oder Spritzbeton muss die Oberfläche eine Abschnitt 4.3, Tabelle 4, entsprechende mittlere Rautiefe aufweisen.

4.7 Klebarbeiten

4.7.1 Allgemeine Anforderungen

Während der Klebarbeiten 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 mindestens 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 betragen.

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 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 Klebarbeiten erfolgen. Bei niedrigeren Temperaturen oder Unsicherheit über die Aushärtung des Klebstoffes sind die Nachweise 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® CFK-Lamellen in Schlitze

Der Beton ist nach Abschnitt 4.6 einzuschlitzen und die Schlitze sind zu reinigen. Die Carboplus® CFK-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.

Die Klebstoffe nach Tabelle 3, 2. Spalte sind wie in Abschnitt 4.7.1 beschrieben anzurühren und in die Schlitze 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 Schlitze eingefüllt und die Carboplus® CFK-Lamellen eingedrückt sein.

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 dagegen geschützt werden.

4.7.3 Verklebung der Laschenbügel aus Stahl

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

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

Der Klebstoff muss in Form eines gleichschenkligen Profils mit Überhöhung in der Mitte auf die Stahllaschen aufgetragen werden. Die Stahllaschenbügel 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 Stahllaschenbügel geringfügig herausgedrückt wird. Die zu verklebenden Stahllaschen dürfen nach dem Fixieren bis zur Aushärtung des Klebstoffes keine Erschütterungen und Bewegungen gegenüber der Bauteiloberfläche erleiden.

Die Unterstützung der Stahllaschenbügel darf je nach vorliegender Temperatur erst nach Erreichen der in Anlage 3, Tabelle 2 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) die CFK-Lamellen das Übereinstimmungszeichen nach dieser Zulassung aufweisen
- b) Klebstoff, Primer, Instandsetzungsmörtel, Haftbrücke sowie Korrosionsschutz für die vorhandene Bewehrung als auch der Schutzanstrich für die aufgeklebte Bewehrung nach Abschnitt 2.1.2 das Übereinstimmungszeichen der in Tabelle 1 angegebenen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung aufweisen,
- c) das Verbrauchsdatum noch nicht abgelaufen ist,
- d) die in den Abschnitten 4.1 bis 4.7 genannten Bedingungen eingehalten sind.

4.8.2 Oberflächenzugfestigkeit von Beton

Auf der gemäß Abschnitt 4.6 vorbehandelten Fläche muss die Oberflächenzugfestigkeit des Betons oder Betonersatzsystems gemäß DIN 1048-2¹⁴, Abschnitt 6, mit Ringnut ermittelt werden.

Der Prüfaufwand wird entsprechend der DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen"¹⁶, Teil 3, 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 2 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 Betonergänzung. 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 $f_{tm} \geq 1,5$ MPa betragen. Die Prüfhäufigkeit ist in der DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teil 3 geregelt.

4.8.3 Verbund des Klebstoffes mit Beton, ggf. Ausgleichsschichten

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 $\varnothing 50$ mm. Die Haftzugprüfung muss Betonbruch ergeben. Sofern Instandsetzungsbeton bzw. -mörtel im Bereich der Stahllaschenbügel 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 $\varnothing 20$ mm auf eine Sa 2½ gestrahlte Stahlplatte mit einer Dicke von ≥ 15 mm oder ein vergleichbar steifes Stahlprofil zu kleben und abzuziehen. Bei Prüfung nach 48 Stunden muss die Haftzugfestigkeit nach Tabelle 3, Zeile 1 erreicht werden. Die Stahlplatte ist wie die Stahllaschenbügel vorzubehandeln, einschließlich Primerung.

4.8.5 Prüfung der Druck- und Zugfestigkeit des Klebstoffs auf Stahl und CFK

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 gestrahlte Stahlplatte mit einer Dicke ≥ 15 mm verklebt und nach einer Erhärtungszeit von 7 Tagen geprüft werden

Die Druckfestigkeit ist an Prismen entsprechend DIN EN 196-1²² nach einer Erhärtungszeit von 7 Tagen zu bestimmen. Der erforderliche Prüfumfang ist in Tabelle 5 festgelegt. Zur Bestimmung der charakteristischen Festigkeiten bei dauerhaften Anwendungstemperaturen bis 40 °C (s. Tabelle 3) ist eine Prüftemperatur von 50 °C einzuhalten.

Tabelle 5: Erforderlicher Umfang der Erhärtungsprüfungen des Klebstoffs

Kenngröße	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:

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

mit:

- $f_{Kc,m}, f_{Kt,m}$ Mittelwerte der Druck- und Haftzugfestigkeit des Klebstoffs
- $f_{Kc,m}, f_{Kt,k}$ charakteristische Werte der Druck- und Haftzugfestigkeit des Klebstoffs
- k_n Faktor nach DIN EN 1990²³, Tabelle D1 (s. Tabelle 6)
- s_{Kc}, s_{Kt} Standardabweichung der Druck- und Haftzugfestigkeit des Klebstoffs

²² DIN EN 196-1:2005-05 Prüfverfahren für Zement - Teil 1: Bestimmung der Festigkeit
²³ DIN EN 1990: 2002-10 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002
DIN EN 1990/A1: 2006-04 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002/A1:2005
DIN EN 1990/A1 Ber. 1:2010-05 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002/A1:2005, Berichtigung zu DIN EN 1990:2002/A1:2006-04; Deutsche Fassung EN 1990:2002/A1:2005/AC:2008

Tabelle 6: Werte k_n nach DIN EN 1990²³, 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"¹⁶, Teil 2, 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"¹⁶ des DAfStb, Teil 3, Abschnitt 2. Neben der Überwachung durch das ausführende Unternehmen besteht eine Überwachungspflicht durch eine bauaufsichtlich anerkannte Überwachungsstelle²⁴.

Die Voraussetzungen gemäß Abschnitt 4.9.2 sowie die Vollständigkeit der Überwachung durch den Bauausführenden sind im Abstand von drei Jahren durch die Prüfstelle zu kontrollieren, die die Bescheinigung über die Eignung des Betriebes gemäß "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitz verklebte CFK-Lamellen" erteilt hat.

4.9.2 Voraussetzung

Der ausführende Betrieb muss seine Eignung zur bestimmungsgemäßen Herstellung von Verstärkungen von Betonbauteilen mit in Schlitz verklebte CFK-Lamellen durch eine geltende Bescheinigung¹¹ gemäß "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitz verklebte CFK-Lamellen"¹¹ einer bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle¹² nachweisen.

Der Betrieb muss über eine qualifizierte Führungskraft und über Baustellenfachpersonal gemäß "Richtlinie für den Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen durch in Schlitz verklebte CFK-Lamellen"¹¹ 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. Beschreibung des verstärkten Bauteils (Balken, Platte, Feld- und/oder Stützbereich)
3. Anzahl und Abmessungen der Lamellen
4. Aufsteller und Prüfer der statischen Berechnung, Verstärkungsgrad
5. Zeitpunkt der Verstärkung
6. Eigenschaften von Beton und Betonstahl nach Abschnitt 4.2

²⁴ siehe Teil V des Verzeichnisses der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen, lfd. Nr. 7
zuletzt:
"Mitteilungen", Deutsches Institut für Bautechnik 40 (2010), Sonderheft 40

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

Nr. Z-36.12-73

Seite 21 von 21 | 9. August 2012

7. Art und Bezeichnung der verbrauchten Klebstoffe, Primer, Instandsetzungsmörtel und gegebenenfalls der Haftbrücke und des Korrosionsschuttmittels für die vorhandene Bewehrung
8. Name des Bauleiters und des Kolonnenführers, der Klebearbeiten an Beton bereits ausgeführt hat (SIVV-Schein)
9. Ergebnisse der folgenden Kontrollen bzw. Prüfungen:
 - Lufttemperatur und Bauteiltemperatur
 - relative Luftfeuchten
 - ggf. Prüfung Oberflächenzugfestigkeit des Betons 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 4.8.4
 - Festigkeiten des Klebstoffes nach Abschnitt 4.8.5
 - Überprüfung und eventuelle Ausbesserung von Hohlräumen nach Abschnitt 4.8.6, letzter Absatz

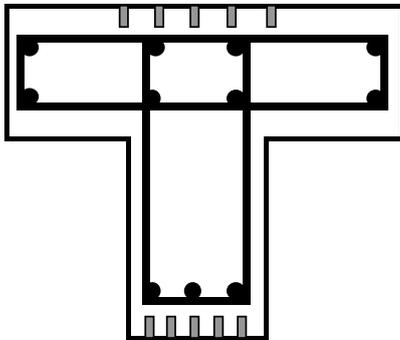
Dr.-Ing. Wilhelm Hintzen
Referatsleiter

Beglaubigt

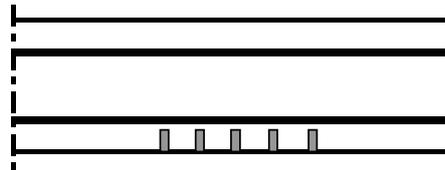
Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

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

Balken / Plattenbalken



Platte



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

$V_{Ed} \leq \min(V_{Rd,sy}; V_{Rd,max})$ und $V_{Ed} \leq V_{Rd,lim}$: auf zusätzliche Querkraftbewehrung kann verzichtet werden

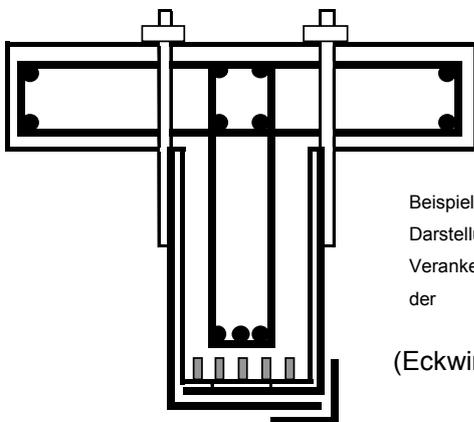
In der Druckzone verankerte Laschenbügel bei

- $\min(V_{Rd,sy}; V_{Rd,max}) \geq V_{Ed}$ und $V_{Ed} \geq V_{Rd,lim}$ wenn der Nachweis der Verankerung der Laschen
- bügel über Klebeverbund nicht erfüllt werden kann (s. Anlage 2, Abschnitt 2.4)

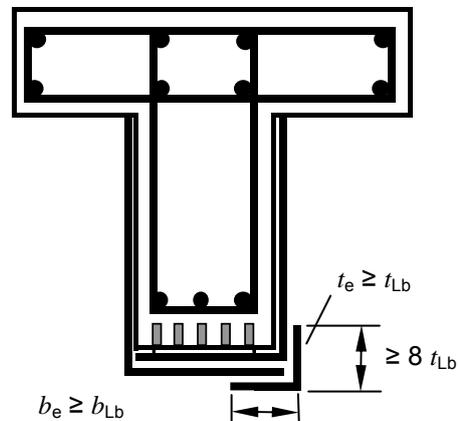
Über Klebeverbund verankerte Laschenbügel bei

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

Balken / Plattenbalken



Beispielhaft
 Darstellung
 Verankerung
 der
 (Eckwinkel wie rechts)



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

Grundlagen der Bemessung nach DIN 1045-1:2008-08

Anlage 1

Grundlagen der Bemessung nach DIN 1045-1¹

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 $\varepsilon_{Ld,max}$ nach Gleichung (2) nicht überschreiten.

$$\varepsilon_{Ld,max} \leq k_\varepsilon \cdot \frac{f_{Lk}}{E_{Lk} \cdot 1,5} \quad (2)$$

Der Abminderungsfaktor k_ε 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"
 - $\leq c - \Delta c$

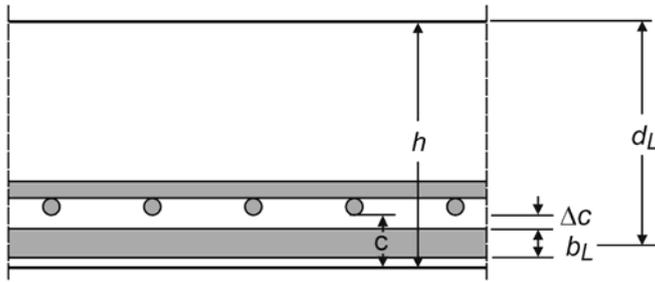


Bild 1: Ermittlung der statischen Nutzhöhe der CFK Lamellen

Der zur Berechnung der Verbundtragfähigkeit erforderliche Bemessungswert der Schubtragfähigkeit τ_{Kbd} des Klebstoffes kann nach Gleichung (4) ermittelt werden. Die charakteristischen Werkstoffwerte des Epoxidharzklebstoffes sind nach Abschnitt 3.2 der "Besonderen Bestimmungen" anzunehmen.

$$\tau_{Kbd} = \frac{1}{\gamma_b} \sqrt{\left(2 \cdot f_{Ktk} - 2 \cdot \sqrt{(f_{Ktk}^2 + f_{Kck} \cdot f_{Ktk})} + f_{Kck} \right) \cdot f_{Ktk}} \quad (4)$$

In Gleichung (4) bedeuten:

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

f_{Ktk} charakteristische Zugfestigkeit des Epoxidharzklebstoffes in MPa nach Tabelle 1 der "Besonderen Bestimmungen"

f_{Kck} charakteristische Druckfestigkeit des Epoxidharzklebstoffes in MPa Tabelle 1 der "Besonderen Bestimmungen"

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 Verstärkung 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.

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

$$\text{Für } l_b > 115 \text{ mm: } F_{bd} = b_L \cdot \tau_{Kbd} \cdot \sqrt[4]{a_r} \cdot \left(26,2 + 0,065 \cdot \tanh\left(\frac{a_r}{70}\right) \cdot (l_b - 115) \right) \cdot \frac{E_{Lk}}{E_{Lm}} \quad (6)$$

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

- $F_{b,k}$ Bemessungswert der Verbundtragfähigkeit in N
 b_L Breite der CFK-Lamelle in mm
 τ_{Kbd} Bemessungswert der Schubtragfähigkeit des Klebstoffs nach Gleichung (4)
 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).

$$F_{bd} \leq k_{\epsilon} \cdot f_{Ld} \cdot A_L \quad (7)$$

In Bild 2 bedeuten:

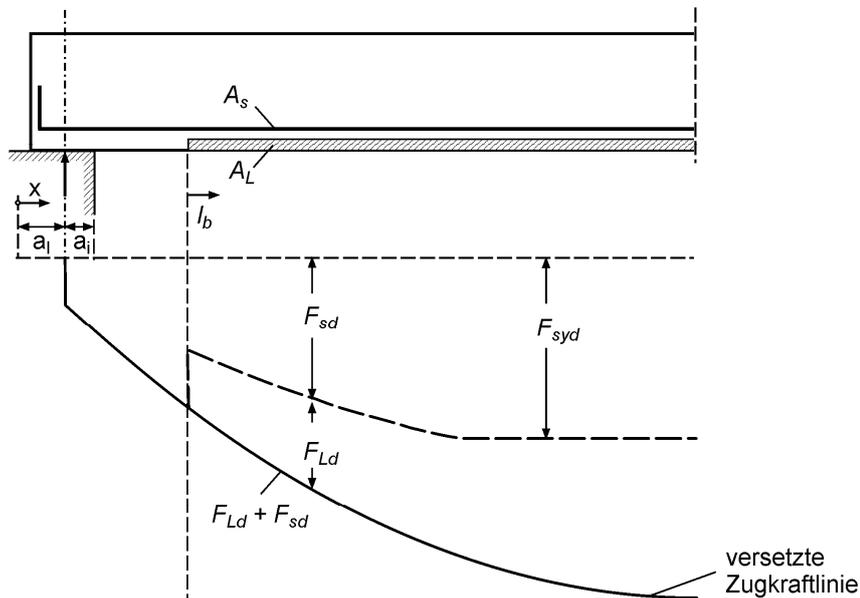
- F_{sd} Bemessungswert der Zugkraft in der Betonstahlbewehrung infolge der einwirkenden Schnittgrößen
 F_{Ld} Bemessungswert der Zugkraft in den CFK-Lamellen infolge der einwirkenden Schnittgrößen
 F_{syd} Bemessungswert der Zugkraft in der Betonstahlbewehrung bei Erreichen der Streckgrenze
 $F_{Ld,max}$ Bemessungswert der von den CFK-Lamellen maximal aufnehmbaren Zugkraft
 A_s Querschnitt der Betonstahlbewehrung
 A_L Querschnitt der CFK-Lamellen
 a_l 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

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

Grundlagen der Bemessung nach DIN 1045-1:2008-08

Anlage 2
Seite 3 von 10

a) Ermittlung der Zugkraftanteile (exemplarisch)



b) Nachweis der Zugkraftdeckung durch Betonstahl und Klebarmierung

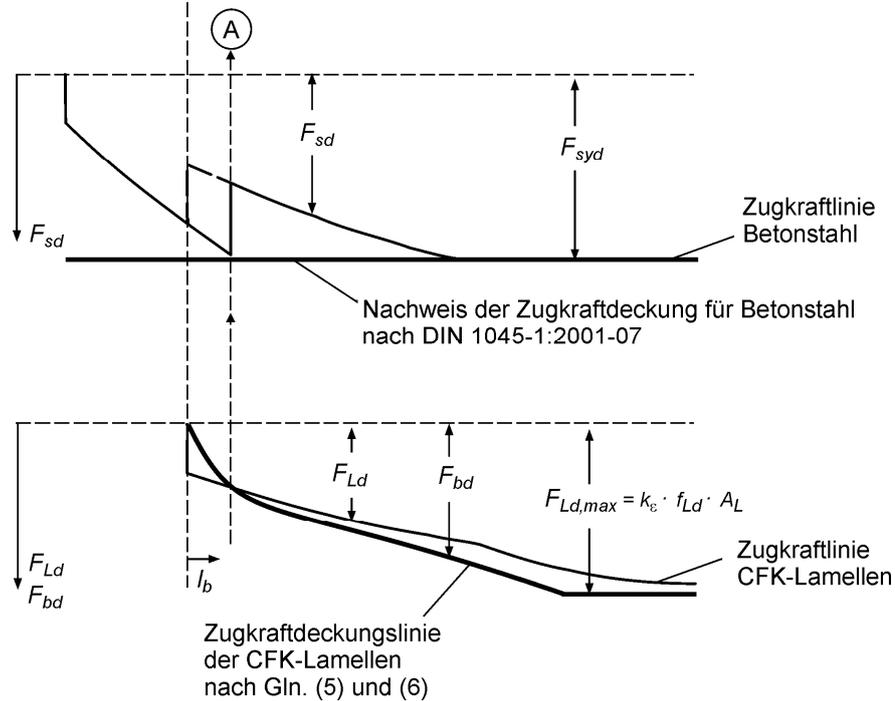


Bild 2: Ermittlung der Zugkraftanteile und Nachweis der Zugkraftdeckung

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

Grundlagen der Bemessung nach DIN 1045-1:2008-08

Anlage 2
 Seite 4 von 10

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 $\rho_l = \frac{A_s + \frac{E_L}{E_s} A_L}{b_w d}$ 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 C25/30 und C40/50 linear interpoliert)

	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55
τ_{02} [MPa]	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.

$$V_{Rd,lim} = 0,13 \cdot b_w \cdot d \cdot f_{ck}^{2/3} \quad (10)$$

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 (11). Dabei darf für die rechnerische Verankerungslänge l_t höchstens die Hälfte der vorhandenen Klebelänge entlang des Steges angesetzt werden.

$$F_{Lb,d} \leq \frac{0,5 \cdot T_k}{\gamma_c} \quad (11)$$

In Gleichung (11) 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 (12) bis (14) zu berechnen.

$$T_k = T_{k,max} \cdot \frac{l_t}{l_{t,max}} \cdot \left(2 - \frac{l_t}{l_{t,max}} \right) \leq T_{k,max} \quad (12)$$

$$T_{k,max} = 0,24 \cdot b_{Lb} \cdot \sqrt{E_{Lbk} \cdot t_{Lb}} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm,surf}} \quad (13)$$

$$l_{t,max} = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{E_{Lbk} \cdot t_{Lb}}{\sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm,surf}}}} \quad (14)$$

In den Gleichungen (12) bis (14) 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_{Lbk} Elastizitätsmodul des Laschenbügels in MPa

f_{cm} Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons in MPa

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

Der Mittelwert $f_{ctm,surf}$ 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 "Besonderen Bestimmungen" anzuordnende Laschenbügel ist für den Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft nach Gl. (15) auszulegen.

$$F_{Lb,d} = F_{Ld}^* \cdot \tan\theta \tag{15}$$

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 (15) 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 2: 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	Prüfung der Verbundfestigkeit im Haftzugversuch
	sonstige Flächen	

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. Bis zu $2 \cdot 10^6$ Lastspiele ist nachgewiesen, dass der Ermüdungsnachweis der in Schlitten verklebten CFK-Lamellen erfüllt ist, wenn für die im Querschnitt vorhandene Betonstahlbewehrung ein ausreichender Widerstand gegen Ermüdung nach DIN 1045-1¹, 10.8 nachgewiesen wird und die Verankerungskraft den Wert von $0,6 F_{bd}$ (F_{bd} nach den Gleichungen (5) und (6)) nicht überschreitet.

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 Schlitten verklebten CFK-Lamellen bei der Rissbreitenbegrenzung rechnerisch berücksichtigt werden soll, werden weitergehende Untersuchungen unter Einschluss experimenteller Ergebnisse sowie eines Gutachtens einer anerkannten Prüfstelle erforderlich.

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

Grundlagen der Bemessung nach DIN 1045-1:2008-08

Anlage 2
Seite 9 von 10

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 unter Annahme folgender Kleber- und Betonfestigkeiten aufgenommen werden:

$$f_{Ktak} = 0,5 * f_{Ktk} \quad (16)$$

$$f_{Kcak} = 0,5 * f_{Kck} \quad (17)$$

f_{Ktak} charakteristische Dauerzugfestigkeit des Epoxidharzklebstoffes in MPa

f_{Kcak} charakteristische Dauerdruckfestigkeit des Epoxidharzklebstoffes in MPa

Für diesen Nachweis müssen die charakteristischen Festigkeiten f_{Ktk} und f_{Kck} nach Gleichung (4) durch die charakteristischen Dauerfestigkeiten f_{Ktak} und f_{Kcak} ersetzt werden.

- 1 DIN 1045-1:2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion
- 2 Vereinfachend darf $\overline{\gamma}_E = 1,35$ angenommen werden.
- 3 DIN 1045:1988-07 Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung
- 4 Dem vereinfachten Nachweis liegt der Kerbfall 5 nach DIN EN 1993-1-9:2005-07 mit $\gamma_s = 1,15$ zugrunde; ggf. können andere Kerbfälle maßgebend werden.
- 5 DIN 18800-1:2008-11 Stahlbauten-Teil 1: Konstruktion und Bemessung
- 6 DIN 1055-100:2001-03 Einwirkungen auf Tragwerke Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln

Tabelle 1: Verarbeitungszeit und Unterstützungsdauer für den Klebstoff Sikadur 30 DUE nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-80

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 nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77

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 nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-80 und MC-DUR 1280 nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77

Klebstoff	Sikadur 30 DUE nach Z-36.12-80	MC DUR 1280 nach Z-36.12-77
zul. Feuchtegehalt des Untergrundes	4 M.-%	6 M.-%
zul. rel. Luftfeuchte	75 %	85 %

Tabelle 4: Aushärtezeit für den Primer Colusal VL nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-36.12-77

Temperatur [°C]	Haftzugfestigkeit für das Verkleben der geprimerten Stahllaschen [N/mm ²]
≥ 8	≥ 14

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

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

Verarbeitungszeit und Unterstützungsdauer für den Klebstoff Sikadur 30 und MC-DUR 1280

Anlage 3

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 2561:1995-11	eine Prüfung jede Charge, mindestens aber alle 1000 m
4	Glasübergangspunkt nach DIN EN 61.006	
5	Lamellenzugfestigkeit in Anlehnung an DIN EN 2561:1995-11	
6	Bruchdehnung in Anlehnung an DIN EN 2561:1995-11	

Fremdüberwachung für Carboplus® Lamellen

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

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

Übereinstimmungsnachweis CFK-Lamellen

Anlage 4