

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung

Ausgabe März 2012

-
- Teil 1: Bemessung und Konstruktion
 - Teil 2: Produkte und Systeme für das Verstärken
 - Teil 3: Ausführung
 - Teil 4: Ergänzende Regelungen zur Planung von Verstärkungsmaßnahmen

Die Verpflichtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 204 vom 21.7.1998, S. 37), die zuletzt durch die Richtlinie 2006/96/EG (ABl. L 363 vom 20.12.2006, S. 81) geändert worden ist, sind beachtet worden.

Bezüglich der in dieser Richtlinie genannten Normen, anderen Unterlagen und technischen Anforderungen, die sich auf Produkte oder Prüfverfahren beziehen, gilt, dass auch Produkte bzw. Prüfverfahren angewandt werden dürfen, die Normen oder sonstigen Bestimmungen und/oder technischen Vorschriften anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder der Türkei oder einem EFTA-Staat, der Vertragspartei des EWR-Abkommens ist, entsprechen, sofern das geforderte Schutzniveau in Bezug auf Sicherheit, Gesundheit und Gebrauchstauglichkeit gleichermaßen dauerhaft erreicht wird.

Herausgeber:
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. – DAfStb
Budapester Straße 31
D-10787 Berlin
Telefon: 030 2693-1320
info@dafstb.de

Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) beansprucht alle Rechte, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen. Ohne ausdrückliche Genehmigung des DAfStb ist es nicht gestattet, diese Veröffentlichung oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege oder auf andere Art zu vervielfältigen.

Vorwort

(RV 1) Diese Richtlinie regelt die Planung, Bemessung und Ausführung der Verstärkung von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit aufgeklebten oder in Schlitzten verklebten Faserverbundwerkstoffen sowie aufgeklebten Stahllaschen.

(RV 2) Bei auf der Bauteiloberfläche schubfest zu verklebender Bewehrung handelt es sich um werkmäßig hergestellte Kohlefaserlamellen, zu laminierende Kohlefasergelege sowie Flachstahlprofile. Werkmäßig hergestellte Kohlefaserlamellen mit speziellen geometrischen Anforderungen können auch in Schlitzte in das Bauteil eingeklebt werden.

(RV 3) Teil 1 dieser Richtlinie ist inhaltlich entsprechend DIN EN 1992-1-1 aufgebaut. Soweit nachfolgend nicht anders geregelt, gelten die entsprechenden Abschnitte der DIN EN 1992-1-1 und die des zugehörigen Nationalen Anhangs.

(RV 4) Das Präfix RV kennzeichnet im Teil 1 dieser Richtlinie die zur DIN EN 1992-1-1 sowie zum zugehörigen Nationalen Anhang ergänzten Abschnitte, Absätze, Bilder, Tabellen und Gleichungen.

(RV 5) Anforderungen und Angaben zu den Produkt- und Systemzulassungen sind in Teil 2 dieser Richtlinie enthalten.

(RV 6) Teil 3 dieser Richtlinie enthält Angaben zur Ausführung. Dabei sind die Anforderungen und Angaben in den Produkt- und Systemzulassungen sowie die Einsatzbedingungen für die Anwendung der Systeme in den Zulassungen zu beachten.

(RV 7) Teil 4 dieser Richtlinie enthält ergänzende Regelungen zur DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, hinsichtlich der Planung von Verstärkungsmaßnahmen.

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung

Teil 1: Bemessung und Konstruktion

Teil 1: Bemessung und Konstruktion

Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Allgemeines	9
1.1	Anwendungsbereich.....	9
1.1.1	Anwendungsbereich des Eurocode 2	9
1.1.2	Anwendungsbereich des Eurocode 2 Teil 1-1	9
RV 1.1.3	Anwendungsbereich der DAfStb-Richtlinie Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung	9
1.2	Normative Verweisungen	9
1.2.1	Allgemeine normative Verweisungen.....	9
1.2.2	Weitere normative Verweisungen	9
1.3	Annahmen	10
1.4	Unterscheidungen zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln	10
1.5	Begriffe	10
1.5.1	Allgemeines.....	10
1.5.2	Besondere Begriffe und Definitionen in dieser Norm.....	10
1.6	Formelzeichen.....	11
2	Grundlagen der Tragwerksplanung	17
2.1	Anforderungen	17
2.1.1	Grundlegende Anforderungen	17
2.1.2	Behandlung der Zuverlässigkeit.....	17
2.1.3	Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Qualitätssicherung	17
2.2	Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen	17
2.3	Basisvariablen.....	17
2.3.1	Einwirkungen und Umgebungseinflüsse.....	17
2.3.2	Eigenschaften von Baustoffen, Bauprodukten und Bauteilen.....	17
2.3.3	Verformungseigenschaften des Betons	17
2.3.4	Geometrische Angaben	18
2.4	Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten.....	18
2.4.1	Allgemeines.....	18
2.4.2	Bemessungswerte.....	18
2.4.3	Kombinationsregeln für Einwirkungen	18
2.4.4	Nachweis der Lagesicherheit.....	18
2.5	Versuchsgestützte Bemessung	18
2.6	Zusätzliche Anforderungen an Gründungen	18
2.7	Anforderungen an Befestigungsmittel.....	18
NA.2.8	Bautechnische Unterlagen	19
NA.2.8.1	Umfang der bautechnischen Unterlagen	19
NA.2.8.2	Zeichnungen	19
NA.2.8.3	Statische Berechnungen	19
NA.2.8.4	Baubeschreibung	19
3	Baustoffe.....	19
3.1	Beton	19
3.1.1	Allgemeines.....	19
3.1.2	Festigkeiten	19
3.1.3	Elastische Verformungseigenschaften.....	19
3.1.4	Kriechen und Schwinden	19
3.1.5	Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen.....	19
3.1.6	Bemessungswert der Betondruck- und Betonzugfestigkeit	19
3.1.7	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung	19
3.1.8	Biegezugfestigkeit	19

3.1.9	Beton unter mehraxialer Druckbeanspruchung	20
3.2	Betonstahl	20
3.2.1	Allgemeines	20
3.2.2	Eigenschaften	20
3.2.3	Festigkeiten	20
3.2.4	Duktilitätsmerkmale	20
3.2.5	Schweißen	20
3.2.6	Ermüdung	20
3.2.7	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung	20
3.3	Spannstahl	20
3.3.1	Allgemeines	20
3.3.2	Eigenschaften	21
3.3.3	Festigkeiten	21
3.3.4	Duktilitätseigenschaften	21
3.3.5	Ermüdung	21
3.3.6	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung	21
3.3.7	Spannstähle in Hüllrohren	21
3.4	Komponenten von Spannsystemen	21
3.4.1	Verankerungen und Spanngliedkopplungen	21
3.4.2	Externe Spannglieder ohne Verbund	21
RV 3.5	Baustoffe für eine Verstärkung mit geklebter Bewehrung	21
RV 3.6	Zu verstärkendes Bauteil	21
RV 3.7	Aufgeklebte CFK-Lamellen	22
RV 3.8	In Schlitze verklebte CFK-Lamellen	22
RV 3.9	Stahllaschen	22
RV 3.10	Aufgeklebte CF-Gelege	22
RV 3.10.1	Biegeverstärkung	22
RV 3.10.2	Querkraftverstärkung	22
RV 3.10.3	Stützenverstärkung	22
4	Dauerhaftigkeit und Betondeckung	23
4.1	Allgemeines	23
4.2	Umgebungsbedingungen	23
4.3	Anforderungen an die Dauerhaftigkeit	23
4.4	Nachweisverfahren	23
4.4.1	Betondeckung	23
5	Ermittlung der Schnittgrößen	23
5.1	Allgemeines	23
5.1.1	Grundlagen	23
5.1.2	Besondere Anforderungen an Gründungen	24
5.1.3	Lastfälle und Einwirkungskombinationen	24
5.1.4	Auswirkungen von Bauteilverformungen (Theorie II. Ordnung)	24
5.2	Imperfektionen	24
5.3	Idealisierungen und Vereinfachungen	24
5.3.1	Tragwerksmodelle für statische Berechnungen	24
5.3.2	Geometrische Angaben	24
5.4	Linear-elastische Berechnung	24
5.5	Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung	24
5.6	Verfahren nach der Plastizitätstheorie	24
5.6.1	Allgemeines	24
5.6.2	Balken, Rahmen und Platten	24
5.6.3	Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation	24
5.6.4	Stabwerkmodelle	24
5.7	Nichtlineare Verfahren	24

5.8	Berechnung von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung.....	25
5.8.1	Begriffe	25
5.8.2	Allgemeines.....	25
5.8.3	Vereinfachte Nachweise für Bauteile unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung.....	25
5.8.4	Kriechen	25
5.8.5	Berechnungsverfahren.....	25
5.8.6	Allgemeines Verfahren.....	25
5.8.7	Verfahren mit Nennsteifigkeiten.....	25
5.8.8	Verfahren mit Nennkrümmung	25
5.8.9	Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte.....	25
5.9	Seitliches Ausweichen schlanker Träger	25
5.10	Spannbetontragwerke	25
5.10.1	Allgemeines.....	25
5.10.2	Vorspannkraft während des Spannvorgangs.....	25
5.10.3	Vorspannkraft nach dem Spannvorgang	25
5.10.4	Sofortige Spannkraftverluste bei sofortigem Verbund	25
5.10.5	Sofortige Spannkraftverluste bei nachträglichem Verbund.....	25
5.10.6	Zeitabhängige Spannkraftverluste bei sofortigem und nachträglichem Verbund	25
5.10.7	Berücksichtigung der Vorspannung in der Berechnung	25
5.10.8	Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	26
5.10.9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und der Ermüdung.....	26
5.11	Berechnung für ausgewählte Tragwerke	26
RV 5.12	Querzugnachweis am Lamellenende.....	26
6	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT).....	26
6.1	Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein	26
RV 6.1.1	Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen und CF-Gelegen bei überwiegend biegebeanspruchten Bauteilen	26
RV 6.1.2	Verstärkung mit aufgeklebten Stahllaschen bei überwiegend biegebeanspruchten Bauteilen ..	39
RV 6.1.3	Biegeverstärkung mit in Schlitze verklebten CFK-Lamellen	42
RV 6.1.4	Stützenverstärkung durch Umschnürung.....	44
6.2	Querkraft	49
6.2.1	Nachweisverfahren	49
6.2.2	Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung	49
6.2.3	Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung	49
6.2.4	Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten	50
6.2.5	Schubkraftübertragung in Fugen	50
RV 6.2.6	Querkraftverstärkung	51
RV 6.2.7	Endverbügelung zur Vermeidung eines Versatzbruches.....	54
6.3	Torsion	54
6.3.1	Allgemeines.....	54
6.3.2	Nachweisverfahren	54
6.3.3	Wölbkrafttorsion	54
6.4	Durchstanzen	54
6.4.1	Allgemeines.....	54
6.4.2	Lasteinleitung und Nachweisschnitte	54
6.4.3	Nachweisverfahren	54
6.4.4	Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung	54
6.4.5	Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung	54
6.5	Stabwerkmodelle.....	54
6.5.1	Allgemeines.....	54
6.5.2	Bemessung der Druckstreben.....	54
6.5.3	Bemessung der Zugstreben.....	54
6.5.4	Bemessung der Knoten.....	55
6.6	Verankerung der Längsbewehrung und Stöße	55
6.7	Teilflächenbelastung	55
6.8	Nachweis gegen Ermüdung	55

6.8.1	Allgemeines.....	55
6.8.2	Innere Kräfte und Spannungen beim Nachweis gegen Ermüdung	55
6.8.3	Einwirkungskombinationen	55
6.8.4	Nachweisverfahren für Betonstahl und Spannstahl.....	55
6.8.5	Nachweis gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Schwingbreiten	55
6.8.6	Vereinfachte Nachweise	55
6.8.7	Nachweis gegen Ermüdung des Betons unter Druck oder Querkraftbeanspruchung.....	55
RV 6.8.8	Aufgeklebte CFK-Lamellen	55
RV 6.8.9	Aufgeklebte Stahllaschen.....	58
RV 6.8.10	In Schlitze verklebte CFK-Lamellen.....	58
7	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG).....	58
7.1	Allgemeines.....	58
7.2	Begrenzung der Spannungen	58
7.3	Begrenzung der Rissbreiten.....	60
7.3.1	Allgemeines.....	60
7.3.2	Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite	60
7.3.3	Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung	60
7.3.4	Berechnung der Rissbreite.....	60
RV 7.3.5	Rissbreitenbeschränkende Wirkung der geklebten Bewehrung	60
7.4	Begrenzung der Verformungen.....	62
7.4.1	Allgemeines.....	62
7.4.2	Nachweis der Begrenzung der Verformungen ohne direkte Berechnung	62
7.4.3	Nachweis der Begrenzung der Verformungen mit direkter Berechnung	62
8	Allgemeine Bewehrungsregeln	63
8.1	Allgemeines.....	63
8.2	Stababstände von Betonstäben	63
RV 8.2.1	Lamellenabstände.....	63
8.3	Biegen von Betonstäben	64
RV 8.3.1	Biegung der geklebten Bewehrung.....	64
8.4	Verankerung der Längsbewehrung.....	64
8.4.1	Allgemeines.....	64
8.4.2	Bemessungswert der Verbundfestigkeit	64
8.4.3	Grundwert der Verankerungslänge.....	64
8.4.4	Bemessungswert der Verankerungslänge	64
RV 8.4.5	Verankerung der geklebten Bewehrung	65
RV 8.4.6	Grundmaß des Verbundes für aufgeklebte Bewehrung	65
RV 8.4.7	Grundmaß des Verbundes für in Schlitze verklebte Bewehrung	65
8.5	Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung	66
8.6	Verankerung mittels angeschweißter Stäbe	66
8.7	Stöße und mechanische Verbindungen.....	66
8.7.1	Allgemeines.....	66
8.7.2	Stöße.....	66
8.7.3	Übergreifungslänge.....	66
8.7.4	Querbewehrung im Bereich der Übergreifungsstöße	66
8.7.5	Stöße von Betonstahlmatten aus Rippenstahl.....	66
RV 8.7.6	Lamellenstöße.....	66
8.8	Zusätzliche Regeln bei großen Stabdurchmessern.....	67
8.9	Stabbündel	67
8.9.1	Allgemeines.....	67
8.9.2	Verankerung von Stabbündeln	67
8.9.3	Gestoßene Stabbündel	67
8.10	Spannglieder	67
8.10.1	Anordnung von Spanngliedern und Hüllrohren.....	67
8.10.2	Verankerung von Spanngliedern im sofortigen Verbund	67
8.10.3	Verankerungsbereiche bei Spanngliedern im nachträglichen oder ohne Verbund	67

8.10.4	Verankerungen und Spanngliedkopplungen für Spannglieder	67
8.10.5	Umlenkstellen.....	67
9	Konstruktionsregeln	67
9.1	Allgemeines.....	67
9.2	Balken	67
9.2.1	Längsbewehrung.....	67
9.2.2	Querkraftbewehrung	68
9.2.3	Torsionsbewehrung.....	68
9.2.4	Oberflächenbewehrung.....	68
9.2.5	Indirekte Auflager	68
RV 9.2.6	Verbügelung der geklebten Bewehrung.....	68
RV 9.2.7	Konstruktive Ausbildung der aufgeklebten Bügel	69
9.3	Vollplatten.....	70
9.3.1	Biegebewehrung	70
9.3.2	Querkraftbewehrung	71
9.4	Flachdecken	71
9.4.1	Flachdecken im Bereich von Innenstützen	71
9.4.2	Flachdecken im Bereich von Randstützen.....	71
9.4.3	Durchstanzbewehrung	71
9.5	Stützen	71
9.5.1	Allgemeines.....	71
9.5.2	Längsbewehrung.....	71
9.5.3	Querbewehrung	71
RV 9.5.4	Stützenverstärkung	72
9.6	Wände	72
9.6.1	Allgemeines.....	72
9.6.2	Vertikale Bewehrung	72
9.6.3	Horizontale Bewehrung.....	72
9.6.4	Querbewehrung	72
9.7	Wandartige Träger	72
9.8	Gründungen	72
9.8.1	Pfahlkopfplatten	72
9.8.2	Einzel- und Streifenfundamente.....	72
9.8.3	Zerrbalken	72
9.8.4	Einzelfundament auf Fels.....	72
9.8.5	Bohrpfähle	72
9.9	Bereiche mit geometrischen Diskontinuitäten oder konzentrierten Einwirkungen (D-Bereiche)	73
9.10	Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Ereignissen.....	73
9.10.1	Allgemeines.....	73
9.10.2	Ausbildung von Zugankern	73
9.10.3	Durchlaufwirkung und Verankerung von Zugankern	73
10	Zusätzliche Regeln für Bauteile und Tragwerke aus Fertigteilen	73
11	Zusätzliche Regeln für Bauteile und Tragwerke aus Leichtbeton	73
12	Tragwerke aus unbewehrtem oder gering bewehrtem Beton	73
Anhang A – Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten für Baustoffe		74
Anhang B – Kriechen und Schwinden.....		74
Anhang C – Eigenschaften des Betonstahls		74
Anhang D – Genauere Methode zur Berechnung von Spannkraftverlusten aus Relaxation.....		74
Anhang E – Indikative Mindestfestigkeitsklassen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit.....		74

Anhang F – Gleichungen für Zugbewehrung für den ebenen Spannungszustand	74
Anhang G – Boden-Bauwerk-Interaktion	74
Anhang H – Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung.....	74
Anhang I – Ermittlung der Schnittgrößen bei Flachdecken und Wandscheiben.....	74
Anhang J – Konstruktionsregeln für ausgewählte Beispiele.....	74
Anhang RV K – Empfohlene Systembeiwerte (informativ).....	75
RV K.1 Verbundwerte für aufgeklebte Bewehrung.....	75
RV K.2 Systembeiwerte für Stützen	75
Anhang RV L – Ermittlung von Querschnittswerten (informativ).....	76
RV L.1 Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	76
RV L.1.1 Allgemein.....	76
RV L.1.2 Rechteckquerschnitte.....	76
RV L.1.3 Plattenbalken	77
RV L.2 Im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	77
RV L.3 Näherungsverfahren für den Grenzzustand der Tragfähigkeit	78

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

1.1.1 Anwendungsbereich des Eurocode 2

Keine Ergänzungen oder Änderungen

1.1.2 Anwendungsbereich des Eurocode 2 Teil 1-1

Keine Ergänzungen oder Änderungen

RV 1.1.3 Anwendungsbereich der DAfStb-Richtlinie Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung

(RV 1) Dieser Teil der Richtlinie enthält Grundregeln für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Verstärkungsmaßnahmen mit geklebter Bewehrung für Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton.

(RV 2) Dieser Teil der Richtlinie gilt nicht für:

- das Verstärken von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen aus Leichtbeton;
- das Verstärken von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit vorgespannten Faserverbundwerkstoffen.

(RV 3) Die Anforderungen an Produkte und Systeme für das Verstärken von Betonbauteilen gemäß der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind zu beachten (siehe auch Teil 2 dieser Richtlinie).

(RV 4) Durch geklebte Bewehrung dürfen vorwiegend ruhend sowie nicht vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile gemäß DIN EN 1990, Abschnitte 1.5.3.11, 1.5.3.12 und 4.1 verstärkt werden.

(RV 5) Für die Anwendung dieses Teils der Richtlinie ist eine Bauteilfestigkeit von mindestens C12/15, ermittelt nach DIN EN 13791, erforderlich.

1.2 Normative Verweisungen

1.2.1 Allgemeine normative Verweisungen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

1.2.2 Weitere normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieses Teils der Richtlinie zusätzlich zu den in DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA zitierten erforderlich.

DIN EN 1504-2, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität - Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton*

DIN EN 1542, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch*

DIN EN 1993-1-1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

DIN EN 1993-1-8, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*

DIN EN 1993-1-9, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung*

DIN EN 10025-2, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*

DIN 18195, *Bauwerksabdichtungen*

DIN V 18026, *Oberflächenschutzsysteme für Beton aus Produkten nach DIN EN 1504-2*

DAfStb-Richtlinie *Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Ausgabe 2001*

DBV-Merkblatt „*Bauen im Bestand - Beton und Betonstahl*“

1.3 Annahmen

(RV 2) Die Annahmen nach DIN EN 1990 und DIN EN 1992-1-1 werden bei Anwendung dieser Richtlinie vorausgesetzt. In dieser Richtlinie sind ergänzende und abweichende Regeln zur DIN EN 1992-1-1 für das Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung enthalten.

1.4 Unterscheidungen zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln

Keine Ergänzungen oder Änderungen

1.5 Begriffe

1.5.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

1.5.2 Besondere Begriffe und Definitionen in dieser Norm

RV 1.5.2.27 Klebstoff

Nichtmetallischer Stoff, der Werkstoffe durch Oberflächenhaftung (Adhäsion) so verbinden kann, dass die Verbindung eine ausreichende innere Festigkeit (Kohäsion) besitzt.

RV 1.5.2.28 Gelege

Spezielle textile Flächenstruktur, die zur Verstärkung in Faserverbundwerkstoffen eingesetzt wird. Ein Gelege besteht aus parallel angeordneten Faserbündeln.

RV 1.5.2.29 Geklebte Bewehrung

Schubfest durch einen Klebstoff mit dem Beton verklebte zugfeste Materialien.

RV 1.5.2.30 In Schlitze verklebte Lamellen

Lamellen, die mit einem Klebstoff in Schlitze, die zuvor in den Beton eingeschnitten wurden, verklebt werden.

RV 1.5.2.31 Lamelle

Unidirektionale Faserverbundwerkstoffe, die bereits im Herstellwerk vorproduziert werden und thermisch ausgehärtet sind.

RV 1.5.2.32 Geklebte Bügel

Schubfest aufgeklebte Stahllaschen oder Faserverbundmaterialien, die in geschlossener oder nicht geschlossener Form das Bauteil umfassen.

RV 1.5.2.33 Versatzbruch

Spezielle Bruchart, die bei einer geklebten Bewehrung am Lamellenende auftreten kann, wodurch sich aufgrund eines Versatzes in der Zugkraft die Betondeckung samt der geklebten Bewehrung ablösen kann.

RV 1.5.2.34 Großflächige Fehlstelle

Einzelflächen mit $L \geq 500$ mm in Richtung der Längsachse der Klebeverstärkung oder Ausgleichsschichten mit insgesamt $L \geq 20$ % der Einzellamellenlänge.

RV 1.5.2.35 Kleinflächige Fehlstelle

Eine Fehlstelle, die nicht großflächig ist.

RV 1.5.2.36 CFK/CF

Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK) bezeichnet einen Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoff, bei dem Kohlenstofffasern als Verstärkung in eine Kunststoffmatrix eingebettet werden. Kohlenstofffasern (CF) sind industriell hergestellte Fasern aus kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterialien.

RV 1.5.2.37 Nicht geschlossener Bügel

Aufgeklebter Bügel, der lediglich in der Zugzone geschlossen ist. Die Zugkräfte werden bei diesem Bügel in die Druckzone über Verbund eingeleitet.

1.6 Formelzeichen

Die folgenden Formelzeichen sind für die Anwendung dieses Teils der Richtlinie zusätzlich zu den in DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA zitierten erforderlich.

Große lateinische Buchstaben

$A_{c,eff}$	Wirkungsbereich der Bewehrung
A_i	ideeller Querschnitt
A_L	Querschnittsfläche der geklebten Bewehrung
A_{LW}	Querschnittsfläche der Querkraftverstärkung
D	Querschnittsdurchmesser des Druckgliedes
D_c	Durchmesser des betonstahlumschnürten Kernquerschnitts
$E_{I_{S,g}}$	Gesamtbügelsteifigkeit
E_{jl}	Umschnürungssteifigkeit des Faserverbundwerkstoffs
E_{Lk}	charakteristischer E-Modul der geklebten Bewehrung
E_{Lm}	Mittelwert des E-Moduls der geklebten Bewehrung
E_{LW}	E-Modul der Querkraftverstärkung
F_{bLRd}	Bemessungswert des Verbundkraftwiderstandes der geklebten Bewehrung
$F_{bLRd,max}$	Bemessungswert des maximalen Verbundkraftwiderstandes am Endverankerungspunkt
F_{bsm}	mittlere Verbundkraft der Bewehrung
F_{CEd}	Betondruckkraft
$F_{Lk,BL}^D$	Lamellenkraft am niedriger beanspruchten Rissufer am Punkt D
F_{LEd}	Bemessungswert der einwirkenden Kraft der geklebten Bewehrung
F_{LRd}	maximale Zugkraft der geklebten Bewehrung
F_{Luk}	charakteristischer Wert der Lamellenbruchkraft
F_s	Betonstahlzugkraft
F_{sd}	Bemessungswert der Betonstahlzugkraft
F_{syd}	Bemessungswert der Betonstahlzugkraft bei Erreichen der Fließgrenze
$F_u(\alpha_b)$	selbstinduzierte Anpresskraft
$F_{u,2}$	selbstinduzierte Anpresskraft für $\alpha_b = 0,4$
$F_{u,4}$	selbstinduzierte Anpresskraft für $\alpha_b = 0,8$
$F_{üd,max}$	am Überlappungsstoß der geklebten Bewehrung übertragbare Zugkraft
$\Delta F_{L,1}$	Verbundkraftsteigerung durch Bügelumschließung
$\Delta F_{LE,eq}$	Lamellenkraftdifferenz unter quasi-ständiger Last
ΔF_{LEd}	Bemessungswert der einwirkenden Lamellenkraftänderung
ΔF_{LEd}^O	Lamellenkraftdifferenz bei Oberlast
ΔF_{LEd}^U	Lamellenkraftdifferenz bei Unterlast
$\Delta F_{Lk,BF}$	Verbundkraftwiderstand am Zwischenrisselement aufgrund der Reibung
$\Delta F_{Lk,BL}$	Grundwert des Verbundkraftwiderstands am Zwischenrisselement
$\Delta F_{Lk,BL}^D$	aufnehmbare Lamellenkraftdifferenz am Punkt D
$\Delta F_{Lk,BL}^G$	aufnehmbare Lamellenkraftdifferenz am Punkt G
$\Delta F_{Lk,KF}$	Verbundkraftwiderstand am Zwischenrisselement aufgrund der Krümmung
$\Delta F_{LR,fat1}$	Widerstand der Lamellenkraftdifferenz, bei der keine Ermüdungsschädigung auftritt
$\Delta F_{LR,fat2}$	aufnehmbare Schwingbreite der Lamellenkraft am höher belasteten Rissufer
ΔF_{LRd}	Bemessungswert des Widerstandes der Lamellenkraftänderung
I_i	ideelles Flächenträgheitsmoment der Stahlbetonstütze
K_ϕ	Erhöhungsfaktor zur Vergrößerung der Krümmung infolge des Kriechens
M_{cr}	Rissmoment des Stahlbetonquerschnitts

M_{Eqp}	Biegemoment nach Theorie I. Ordnung infolge der quasi-ständigen Einwirkungskombination unter Berücksichtigung der Imperfektionen
M_{Rd}	Bemessungswert des Widerstandes gegen das einwirkende Moment
N_{Eqp}	Normalkraft infolge der quasi-ständigen Einwirkungskombination
T_f	Temperatur, die den Glasübergangsbereich definiert
V_{ccd}	Betontraganteil bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung
V_{ct}	Querkrafttragfähigkeit für Bauteile ohne Querkraftbewehrung
$V_{c,LE}$	Querkraft, bei der noch kein Versatzbruch ohne Bügelumschließung eintritt
V_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft
V_L	Querkrafttragfähigkeit der Querkraftverstärkung
V_{Rd}	Bemessungswert des Widerstandes gegen die einwirkende Querkraft
$V_{Rd,c}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit bei Bauteilen ohne Querkraftbewehrung
$V_{Rd,c,LE}$	Bemessungswert des Widerstandes gegen den Versatzbruch
$V_{Rd,L}$	Bemessungswert des Anteils der Querkraftverstärkung
$V_{Rd,s}$	Bemessungswert des Anteils der Querkraftbewehrung bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung
$V_{Rd,cc}$	Bemessungswert des Betontraganteils bei Bauteilen mit Querkraftbewehrung
V_s	Querkrafttragfähigkeit der internen Querkraftbewehrung
$W_{c,0}$	Widerstandsmoment des Betonquerschnitts im ungerissenen Zustand

Kleine lateinische Buchstaben

a_l	Versatzmaß
a_L	Achsabstand der geklebten Bewehrung
a_{LE}	Abstand der Lamelle vom Endauflager bzw. vom Trägerende
a_r	Abstand der geklebten Bewehrung zum freien Bauteilrand bei in Schlitze verklebten CFK-Lamellen
a_s	Achsabstand der einbetonierten Bewehrung
b_c	Breite des zu verstärkenden Betonbauteils
$b_{eff,i}$	mitwirkende Plattenbreite
b_L	Breite der geklebten Bewehrung
$b_{L,eff}$	effektive Lamellenbreite bei Verwendung mehrerer Lamellen beim Nachweis der Verbundkrafte- höhung durch Bügelumschließung
b_{Lw}	Breite der Querkraftverstärkung
b_s	Breite des Schlitzes bei in Schlitze verklebten Lamellen
c	Betondeckung
d^a	statische Nutzhöhe der Betonstahlbewehrung am Auflager
d_L^a	statische Nutzhöhe der geklebten Bewehrung am Auflager
d_L	statische Nutzhöhe der Verstärkung
e_0	planmäßige Lastausmitte nach Theorie I. Ordnung
e_i	zusätzliche ungewollte Lastausmitte nach DIN EN 1992-1-1
e_{tot}	Lastausmitte nach Theorie I. Ordnung
f_b	Verbundfestigkeit
f_{bd}	Bemessungswert der Verbundfestigkeit
f_{bk}	charakteristische Verbundfestigkeit
f_{bLd}	Bemessungswert der Verbundfestigkeit der Verstärkung
f_{bLk}	charakteristische Verbundfestigkeit der Verstärkung
$f_{bLk,max}$	charakteristischer Wert der maximalen Verbundfestigkeit der Verstärkung am Endverankerungs- punkt
f_{bLwd}	Bemessungswert der Festigkeit der Querkraftverstärkung aufgrund der Verbundwirkung
f_{bsm}	mittlere Verbundspannung der Betonstahlbewehrung
f_{ck}	Charakteristischer Wert der Druckfestigkeit des umschnürten Betons

$f_{ck}(t_{V0})$	charakteristischer Wert der einaxialen Betondruckfestigkeit zum Zeitpunkt der Verstärkung (Bestimmung zum Beispiel durch Messung am Bauteil)
f_{ck}^*	Kennwert der vereinfachten Spannungs-Dehnungs-Linie für die Bemessung
$f_{cm}(t_{V0})$	Mittelwert der einaxialen Betondruckfestigkeit zum Zeitpunkt der Lastaufbringung (Bestimmung zum Beispiel durch Messung am Bauteil)
$f_{ct,eff}$	Mittelwert der wirksamen Zugfestigkeit des Betons
f_{ctk}	charakteristische Betonzugfestigkeit
f_{ctm}	mittlere Betonzugfestigkeit
$f_{ctm,surf}$	rechnerisch angesetzte mittlere Oberflächenzugfestigkeit des Betons
$f_{ctm,surf,is}$	auf der Baustelle gemäß DIN EN 1542 ermittelte mittlere Oberflächenzugfestigkeit des Betons
$f_{cti,surf,is}$	auf der Baustelle gemäß DIN EN 1542 ermittelter Einzelwert der Oberflächenzugfestigkeit des Betons
f_{cufrpk}	charakteristischer Wert der aufnehmbaren Betondruckspannung infolge der Umschnürungswirkung des Faserverbundwerkstoffs bei dessen Versagen
f_{Gck}	Druckfestigkeit des Klebstoffs
f_{Gtk}	Zugfestigkeit des Klebstoffs
$f_{Gud,Lw}$	Bemessungswert der Festigkeit des Überlappungsstoßes
$f_{Guk,Lw}$	charakteristischer Wert der Festigkeit des Überlappungsstoßes
$f_{Guk,Lw,max}$	charakteristischer Wert der maximalen Festigkeit des Überlappungsstoßes
f_{Lud}	Bemessungswert der Zugfestigkeit der Lamelle
f_{Luk}	charakteristischer Wert der Materialfestigkeit der geklebten Bewehrung
f_{Lw}	Festigkeit der Querkraftverstärkung
f_{Lwd}	Bemessungswert der Festigkeit der Querkraftverstärkung
$f_{Lwd,G}$	Bemessungswert der Festigkeit der Querkraftverstärkung aufgrund der Materialfestigkeit bzw. der Überlappungen oder der Ausrundungen
$f_{Lwd,GF}$	Bemessungswert der Festigkeit der Querkraftverstärkung aufgrund der Materialfestigkeit bei Faserverbundbewehrung
$f_{Lwd,GS}$	Bemessungswert der Festigkeit der Querkraftverstärkung aufgrund der Materialfestigkeit bei Stahlflaschen
f_{Lyd}	Bemessungswert der Streckgrenzspannung der Stahlflaschen
f_{ywk}	charakteristischer Wert der Streckgrenzspannung der Betonstahlschnürungsbewehrung in Form von Bügeln oder Wendeln
$h_{c,ef}$	Höhe des Wirkungsbereiches der Betonstahlbewehrung
h_{Lw}	Höhe der Querkraftverstärkung
k_L	Verbundbeiwert für in Schlitze verklebte CFK-Lamellen
$k_{L,eff}$	Verbundbeiwert für in Schlitze verklebte CFK-Lamellen unter Berücksichtigung zeitabhängiger Effekte
k_s	Verbundbeiwert für einbetonierte Bewehrung
$k_{s,eff}$	Verbundbeiwert für einbetonierte Bewehrung unter Berücksichtigung zeitabhängiger Effekte
k_t	Verbundkriechfaktor
l_{bL}	Verbundlänge der geklebten Bewehrung
$l_{bL,lim}$	zum Endverankerungsnachweis zugehörige Verbundlänge
$l_{bL,max}$	effektive Verbundlänge
l_{bs}	Verbundlänge des Betonstahls
$l_{e,0}$	Eintragungslänge des Betonstahls
$l_{s,A}$	Schenkellänge des Schlusswinkels
$l_{s,U}$	Schenkellänge des Umschließungsbügels
$l_{u,Lw}$	Überlappungslänge des Bügels
$l_{u,Lw,max}$	effektive Überlappungslänge des Bügels
$l_{ü,max}$	effektive Übergreifungslänge für geklebte Bewehrung

n_{si}	Anzahl der Betonstähle
Δp	Querdruckabminderung infolge der abweichenden Einflussbereiche der Umschnürungsbewehrungen
r_c	Ausrundungsradius
s	Abstand der Bügel in Bauteillängsachse bzw. Wendelganghöhe
s_{Lr}^a	Schlupf der geklebten Bewehrung am Biegeriss, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist
$s_{cr,max}$	maximaler Rissabstand unter Gebrauchslast
s_{Lok}	maximaler Schlupf nach dem bilinearen Verbundansatz
s_{Lr}	Schlupf der geklebten Bewehrung
s_{Lw}	Achsabstand der Querkraftverstärkung
s_r	Abstand der Biegerisse
t_G	Klebstoffdicke
t_L	rechnerische Dicke der geklebten Bewehrung
t_{Lw}	rechnerische Dicke der Querkraftverstärkung
t_s	Tiefe des Schlitzes der in Schlitz verklebten CFK-Lamelle
$t_{w,eff}$	Dicke der verschmierten Betonstahlschnürungsbewehrung
Δt	Restlebensdauer in Tagen
x^a	Druckzonenhöhe am Auflager
z_L^a	innerer Hebelarm der Lamelle am Auflager
z_s^a	innerer Hebelarm des Betonstahls am Auflager
z_s^j	vorzeichenbehafteter Abstand des Betonstahllängsstabes j vom Schwerpunkt des Bruttobetonquerschnitts
z_L	innerer Hebelarm der geklebten Bewehrung
z_m	mittlerer innerer Hebelarm
z_s	innerer Hebelarm des Betonstahls

Kleine griechische Buchstaben

α	Abminderungsbeiwert für die aufnehmbare Schwingbreite
α_1	Volligkeitsbeiwert des Spannungsblocks
α_3	Faktor zur Beschreibung des Einflusses höherer Betonfestigkeiten auf den Einfluss der Feuchtigkeit
α_b	Verhältnis zwischen der Breite der aufgeklebten Bewehrung und der Stegbreite
α_E	Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Ermüdungsbeanspruchung
α_F	Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung des Feuchtigkeitseinflusses
α_k	Erhöhungsbeiwert zur Berücksichtigung der Streuungen der Kriechverformungen
α_L	Verbundbeiwert für in Schlitz verklebte CFK-Lamellen
α_N	Verbundbeiwert für den Endverankerungsnachweis
α_r	Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Umlenkung der CF-Gelege
α_s	Verbundbeiwert für einbetonierte Bewehrung
α_s	Verhältniswert der Elastizitätsmoduli der Betonstahllängsbewehrung und des nicht umschnürten Betons
α_T	Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Temperaturschwankungen auf die Tragfähigkeit der Umschnürung
α_Z	Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung des Zeitstandsverhaltens
α_{Zeit}	Dauerstandminderungsfaktor bei CF-Gelegen (Querkraftverstärkung)
β	Faktor zur Berücksichtigung der Eigenschaften des Druckgliedes
$\beta(f_{cm})$	Beiwert zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Betondruckfestigkeit auf die Grundzahl des Kriechens
$\beta_{0,k}$	Beiwert zur Berücksichtigung des Beanspruchungsniveaus

$\beta_c(\Delta t)$	Beiwert zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung des Kriechens nach Belastungsbeginn am verstärkten Bauteil
β_H	Beiwert zur Beschreibung des Einflusses der Feuchtigkeit
γ_{BA}	Sicherheitsbeiwert für den Verbund bei aufgeklebten Lamellen
γ_{BE}	Sicherheitsbeiwert für den Verbund bei in Schlitze verklebten Lamellen
γ_{BG}	Sicherheitsbeiwert für Klebungen von Stahl auf Stahl bzw. CFK auf CFK
γ_{LG}	Sicherheitsbeiwert CF-Gelege
γ_{LL}	Sicherheitsbeiwert CFK-Lamellen
ε_{LRk}^a	Dehnungswert der Verstärkung für Endverankerungsnachweis
$\varepsilon_{LRk,lim}^a$	Grenzdehnung der Verstärkung für den Endverankerungsnachweis in Abhängigkeit der maximalen Verbundfestigkeit
ε_{sRk}^a	Dehnungswert des Betonstahls für Endverankerungsnachweis
$\varepsilon_{cc}(\Delta t)$	Kriechverformung in Stützenlängsrichtung im Zeitraum Δt
ε_{cm}	mittlere Dehnung des Betons
ε_{cr1}	Dehnung des Betons am niedriger beanspruchten Rissufer
ε_{cu}	Bruchdehnung des umschnürten Betons
ε_{juak}	Bruchdehnung der Umschnürungsbewehrung am Bauteil unter Berücksichtigung zeitabhängiger Verformungen
ε_{juk}	charakteristischer Wert der Bruchdehnung der Umschnürungsbewehrung am Bauteil
ε_L^{II}	Dehnung der Lamelle im Riss, ermittelt mit den bernoullischen Annahmen zur Balkentheorie
ε_{Luk}	charakteristischer Wert der Bruchdehnung der geklebten Bewehrung
ε_{Lm}	mittlere Dehnungen der geklebten Bewehrung
ε_{Lr1}	Dehnung der geklebten Bewehrung am niedriger beanspruchten Rissufer
$\varepsilon_{LRd,max}$	Grenzdehnung der geklebten Bewehrung
ε_{Lud}	Bemessungswert der Maximaldehnung der geklebten Bewehrung
ε_{LW}	Dehnung der Querkraftverstärkung
ε_L	Dehnung der geklebten Bewehrung
ε_s	Dehnung des Betonstahls
ε_y	Dehnung des Betonstahls bei Erreichen der Streckgrenze
ε_{yk}	Dehnung der Betonstahllängsbewehrung beim Erreichen des charakteristischen Wertes der Streckgrenze
η_L	Beiwert zur Berücksichtigung der verschiedenen Dehnsteifigkeiten und Verbundfestigkeiten
θ	bezogener Winkel, der die Lage des Spannungsblocks im Querschnitt beschreibt
θ_c	bezogener Winkel, der die Spannungsverteilung in der verschmierten druckbeanspruchten Betonstahllängsbewehrung beschreibt
θ_t	bezogener Winkel, der die Spannungsverteilung in der verschmierten zugbeanspruchten Betonstahllängsbewehrung beschreibt
κ_{Lb}	Anpassungsfaktor für die effektive Verbundlänge
κ_{b1k}	Verbundkoeffizient für aufgeklebte Bewehrung
κ_{b2}	Verbundkoeffizient für aufgeklebte Bewehrung
κ_{b3}	Verbundkoeffizient für aufgeklebte Bewehrung
κ_{b4}	Verbundkoeffizient für aufgeklebte Bewehrung
κ_{bsk}	Verbundkoeffizient für einbetonierte Bewehrung
κ_{fi}	Umrechnungsbeiwert zwischen Biegezugfestigkeit und zentrischer Zugfestigkeit des Betons
κ_h	Beiwert zur Berechnung der am Zwischenrisselement aufnehmbaren Lamellenkraftänderung aus Bauteilkrümmung (vereinfachter Nachweis)
κ_k	Beiwert zur Berechnung der am Zwischenrisselement aufnehmbaren Lamellenkraftänderung aus Bauteilkrümmung (genauerer Nachweis)

K_i	Beiwert zur Berücksichtigung mehrerer aufgeklebter CFK-Lamellen / Stahllaschen bei der Verbundkrafterhöhung durch Bügelumschließung
K_{L1}	Beiwert zur Berechnung der am Zwischenrisselement aufnehmbaren Lamellenkraftänderung aus Klebeverbund (vereinfachter Nachweis)
K_{LF}	Beiwert zur Berechnung der am Zwischenrisselement aufnehmbaren Lamellenkraftänderung aus Verbundreibung (vereinfachter Nachweis)
K_R	Abminderungsfaktor aufgrund des Ausrundungsradius
K_{sys}	Produktspezifischer Systembeiwert
K_t	Beiwert zur Bestimmung der Stahllaschendicke
K_{vb}	Beiwert zur Berechnung der mittleren Verbundspannung des Betonstahls in Abhängigkeit der Verbundbedingungen
K_{vb1}	Beiwert zur Berechnung der mittleren Verbundspannung des Betonstahls in Abhängigkeit der Verbundbedingungen
K_{vb2}	Beiwert zur Berechnung der mittleren Verbundspannung des Betonstahls in Abhängigkeit der Verbundbedingungen
K_ε	Beiwert (in Schlitzte verklebte Lamellen)
K_σ	bezogene Betondruckspannung
ξ_1	Faktor zur Berücksichtigung der Abnahme der Krümmung bei einem Anstieg der Druckkraft N_u
ξ_2	Faktor zur Berücksichtigung der Geometrie des Druckgliedes und der Dehnung der Umschnürbewehrung
ξ_L	Verhältnis der Verbundfestigkeit von der geklebten Bewehrung zur einbetonierten Bewehrung
ρ_L	Bewehrungsgrad der geklebten Bewehrung
ρ_{Lw}	Bewehrungsgrad der Querkraftverstärkung
ρ_{s1}	Bewehrungsgrad der Betonstahl-Zugbewehrung
ρ_{wy}	Querbewehrungsgrad
ρ_ε	Dehnungskoeffizient bei der Stützenverstärkung
σ_{Eqp}	Betonlängsdruckspannung unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination
σ_{sr}	Spannung des Betonstahls bei Erreichen des Rissmomentes
τ_b	Verbundspannung
τ_{bck}	Verbundspannung des Betons bei in Schlitzte verklebten Lamellen
τ_{bGk}	Verbundspannung des Klebstoffs bei in Schlitzte verklebten Lamellen
τ_{bLd}	Bemessungswert der Verbundspannung
τ_{L1k}	maximale Verbundspannung des bilinearen Ansatzes
τ_{LFk}	Reibverbundspannung
τ_{Lm}	mittlere Verbundspannung der geklebten Bewehrung
τ_{sm}	mittlere Verbundspannung der Betonstahlbewehrung
ϕ_w	Stabdurchmesser der Wendelbewehrung
φ_{ef}	effektive Kriechzahl

2 Grundlagen der Tragwerksplanung

2.1 Anforderungen

2.1.1 Grundlegende Anforderungen

(RV 4) Eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für die verwendete Produktkombination (System) aus Klebstoff und Bewehrung muss für den entsprechenden Anwendungsbereich vorhanden sein.

(RV 5) Der Nachweis des am Ort der Verwendung geforderten Feuerwiderstandes eines nach dieser Richtlinie verstärkten Bauteils ist nach DIN EN 1992-1-2 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang ohne Anrechnung der Verstärkungswirkung der Klebeverstärkung zu führen. Wenn die Verklebung durch eine bauaufsichtlich zugelassene Brandschutzverkleidung vor der Temperatur- und Brandeinwirkung geschützt wird, ist dieser Nachweis nach den Regeln dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zu führen.

2.1.2 Behandlung der Zuverlässigkeit

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Qualitätssicherung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.3 Basisvariablen

2.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse

2.3.1.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.3.1.2 Temperatureinwirkungen

(RV 4) Der geklebten Bewehrung dürfen über der Temperatur T_f nach Zulassung keine Kräfte mehr zugewiesen werden.

ANMERKUNG Für den Brandschutz der geklebten Bewehrung sind Brandschutzsysteme, die für die Brandschutzverkleidung von Klebeverstärkungen allgemein bauaufsichtlich zugelassen sind, zu verwenden.

2.3.1.3 Setzungs-/Bewegungsunterschiede

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.3.1.4 Vorspannung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.3.2 Eigenschaften von Baustoffen, Bauprodukten und Bauteilen

2.3.2.1 Allgemeines

(RV 3) Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil sind in Abschnitt RV 3.6 enthalten.

(RV 4) Die Anforderungen an die Produkte sowie die Systeme für die Verstärkung sind im Teil 2 dieser Richtlinie sowie in den Abschnitten RV 3.7 bis RV 3.10 enthalten.

2.3.2.2 Kriechen und Schwinden

(RV 4) Um übermäßiges Kriechen zu verhindern, werden die vom Bausatz abhängige Dauerverbundfestigkeit und die maximale Anwendungstemperatur in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen vorgegeben.

(RV 5) Die zeitabhängigen Verformungen bei der Stützenverstärkung sind nach Abschnitt RV 6.1.4 zu berücksichtigen.

2.3.3 Verformungseigenschaften des Betons

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.3.4 Geometrische Angaben

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten

2.4.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.4.2 Bemessungswerte

2.4.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Schwinden

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.4.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Vorspannung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.4.2.3 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen beim Nachweis gegen Ermüdung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.4.2.4 Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

(RV 4) Für geklebte Bewehrung werden in Ergänzung zur DIN EN 1992-1-1 die Teilsicherheitsbeiwerte in Tabelle RV 2.1 verwendet. Für Stahlaschen ist der Sicherheitsbeiwert gemäß DIN EN 1993-1-1 mit dem zugehörigen Nationalen Anhang zu verwenden.

**Tabelle RV 2.1 – Teilsicherheitsbeiwerte für geklebte Bewehrung für den
Grenzzustand der Tragfähigkeit**

Spalte	1	2	3	4	5	6
Zeile	Bemessungs- situation	Für CFK- Lamellen	Für CF- Gelege	Verbund – aufgeklebter Bewehrung	Verbund – in Schlitze verklebter Bewehrung	Verbund – Verklebung von Stahl auf Stahl bzw. CFK auf CFK
1	Bezeichnung	γ_L	γ_G	γ_{BA}	γ_{BE}	γ_{BG}
2	Ständig und vorübergehend	1,2	1,35	1,5	1,3	1,3
3	Außergewöhnlich	1,05	1,1	1,2	1,05	1,05

2.4.2.5 Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe bei Gründungen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.4.3 Kombinationsregeln für Einwirkungen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.4.4 Nachweis der Lagesicherheit

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.5 Versuchsgestützte Bemessung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.6 Zusätzliche Anforderungen an Gründungen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

2.7 Anforderungen an Befestigungsmittel

Keine Ergänzungen oder Änderungen

NA.2.8 Bautechnische Unterlagen

NA.2.8.1 Umfang der bautechnischen Unterlagen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

NA.2.8.2 Zeichnungen

(RV 5)P Die Bauteile, die zu verklebende Bewehrung sowie alle Befestigungselemente sind auf den Zeichnungen eindeutig und übersichtlich darzustellen. Die Darstellungen müssen mit den Angaben in der statischen Berechnung übereinstimmen und alle für die Ausführung der Bauteile und für die Prüfung der Berechnungen erforderlichen Maße enthalten.

(RV 6)P Auf den Ausführungsplänen sind insbesondere anzugeben:

- die erforderlichen Haftzugfestigkeiten;
- Bezeichnungen und Komponenten des Verstärkungssystems;
- Anzahl, Abmessungen und Lage der geklebten Bewehrung; gegenseitiger Abstand; Anordnung, Typ und Lage der mechanischen Verbindungsmittel;
- bei in Schlitze verklebten CFK-Lamellen: die Schlitztiefe und Schlitzbreite inklusive Toleranzen;
- gegebenenfalls besondere Maßnahmen zur Qualitätssicherung.

NA.2.8.3 Statische Berechnungen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

NA.2.8.4 Baubeschreibung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3 Baustoffe

3.1 Beton

3.1.1 Allgemeines

(RV 3)P Diese Richtlinie darf nur für Bauteile aus Normalbeton angewendet werden.

3.1.2 Festigkeiten

(RV 10)P Die Oberflächenzugfestigkeit $f_{ctm,surf}$ ist gemäß Teil 4 dieser Richtlinie zu bestimmen.

(RV 11) Da es sich bei den zu verstärkenden Bauteilen um Bestandsbauteile handelt, kann in einigen Fällen, zum Beispiel zur Vordimensionierung, eine Umrechnung der Betonfestigkeit nötig sein, die nach dem DBV-Merkblatt „Bauen im Bestand - Beton und Betonstahl“ durchgeführt werden darf.

3.1.3 Elastische Verformungseigenschaften

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.1.4 Kriechen und Schwinden

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.1.5 Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.1.6 Bemessungswert der Betondruck- und Betonzugfestigkeit

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.1.7 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.1.8 Biegezugfestigkeit

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.1.9 Beton unter mehraxialer Druckbeanspruchung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.2 Betonstahl

3.2.1 Allgemeines

(RV 6) Diese Richtlinie darf auch bei Bauteilen mit Betonstählen und Bewehrungselementen, die nicht den Anforderungen der DIN EN 10080 bzw. DIN 488 entsprechen, angewendet werden.

3.2.2 Eigenschaften

(RV 7) Bei der Verstärkung von Bestandsbauteilen nach dieser Richtlinie müssen die vorhandenen Betonstähle nicht DIN EN 1992-1-1, Abschnitte 3.2.2 (2), (3), (4), (5) und (6), erfüllen.

(RV 8) Die Eigenschaften der vorhandenen Betonstähle nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 3.2.2 (1), sollten bekannt sein.

(RV 9) Für Betonstähle ab 1952 dürfen die Streckgrenzen als charakteristische Werte verwendet werden. Anhaltswerte für ältere Betonstähle und Bewehrungselemente dürfen zum Beispiel dem DBV-Merkblatt „Bauen im Bestand - Beton und Betonstahl“ entnommen werden.

(RV 10) Falls nicht gerippte Betonstähle verwendet worden sind, darf vereinfacht das Verbundverhalten eines Glattstahls angenommen werden.

3.2.3 Festigkeiten

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.2.4 Duktilitätsmerkmale

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.2.5 Schweißen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.2.6 Ermüdung

(RV 2) Für Betonrippenstähle dürfen die Wöhlerlinien nach DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA angewendet werden, sofern nicht andere Wöhlerlinien in einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung festgelegt sind. Bei Stahlbetonbauteilen, die nur mit glattem Betonstahl bewehrt sind, dürfen ebenfalls die Wöhlerlinien nach DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA angewendet werden. Glatte Betonstahlbewehrung darf beim Nachweis gegen Ermüdung von Spannbetonbauteilen nicht angesetzt werden.

3.2.7 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.3 Spannstahl

3.3.1 Allgemeines

(RV 12) Bei älteren Spannstählen muss gegebenenfalls bewertet werden, ob ein Gefährdungspotential durch Spannungsrissskorrosion vorliegt. Folgende Spannstähle weisen eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Spannungsrissskorrosion auf:

- vergüteter Spannstahl St 145/160, Querschnitt rund oder oval, Hersteller Felten & Guillaume Carlswerke AG, Handelsname Neptun, Produktionszeitraum bis 1965 stark gefährdet;
- vergüteter Spannstahl St 145/160, Querschnitt rund oder oval, Hersteller Hütten- und Bergwerke Rheinhäusen AG, Handelsname Sigma, Produktionszeitraum bis 1965 stark gefährdet (rund oder oval), Produktionszeitraum bis 1978 gefährdet (nur oval);
- vergüteter Hennigsdorfer Spannstahl St 140/160, Querschnitt rund oder oval, Hersteller VEB Stahl- und Walzwerk Hennigsdorf (ehemals DDR); Vergütungsprozess durch Ölschlussvergütung oder Hochtemperatur-Thermo- Mechanische Behandlung (HTMB-Stähle), Produktionszeitraum bis 1993 stark gefährdet.

3.3.2 Eigenschaften

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.3.3 Festigkeiten

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.3.4 Duktilitätseigenschaften

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.3.5 Ermüdung

(RV 3) Für einbetonierte Spannstähle dürfen die Wöhlerlinien nach DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA, angewendet werden, sofern die frei schwingend ermittelte $2 \cdot 10^6$ -mal ertragene Schwingbreite bei einer Oberspannung von 65 % der Zugfestigkeit mindestens 185 N/mm^2 erreicht. Angaben zur Ermüdungsfestigkeit des nicht einbetonierten, frei schwingenden Spannstahls finden sich in den allgemeinen bauaufsichtlichen Spannstahlzulassungen.

3.3.6 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.3.7 Spannstähle in Hüllrohren

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.4 Komponenten von Spannsystemen

3.4.1 Verankerungen und Spanngliedkopplungen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

3.4.2 Externe Spannglieder ohne Verbund

Keine Ergänzungen oder Änderungen

RV 3.5 Baustoffe für eine Verstärkung mit geklebter Bewehrung

(RV 1) Es gelten die Regelungen von Teil 2 dieser Richtlinie.

(RV 2) Die Bemessungsgleichungen basieren auf Versuchen und theoretischen Überlegungen. In diesem Zusammenhang wurden geometrische und stoffliche Anwendungsgrenzen definiert. Die nachfolgenden Gleichungen gelten deshalb nur für den in den Abschnitten RV 3.6 bis RV 3.9 angegebenen Bereich.

(RV 3) Falls in einem Bemessungsfall einzelne Grenzwerte nach Abschnitt RV 3.6 über- bzw. unterschritten werden, können in die Bemessungsgleichungen die Grenzwerte nach Abschnitt RV 3.6 eingesetzt werden, wenn das Ergebnis dadurch ungünstiger wird.

(RV 4) Für die Bausätze, bestehend aus Klebstoff und Lamelle, sind die Regelungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu beachten. In den Abschnitten RV 3.7 bis RV 3.9 werden die Materialeigenschaften angegeben, die bei den Bemessungsansätzen in dieser Richtlinie zugrundegelegt wurden. Abweichende Regelungen können in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen enthalten sein.

RV 3.6 Zu verstärkendes Bauteil

(RV 1) Bei den zu verstärkenden Bauteilen ist eine Druckfestigkeit entsprechend C12/15 bis C50/60 in Anlehnung an DIN EN 206-1, Tabelle 7, zugrunde gelegt.

(RV 2) In die Bemessungsgleichungen für den Verbund nach Anhang RV K darf maximal eine mittlere Betondruckfestigkeit von 58 N/mm^2 und maximal eine mittlere Oberflächenzugfestigkeit von 4 N/mm^2 eingesetzt werden.

(RV 3) Die Bemessungsgleichungen gelten nicht für Bauteilstärken kleiner 100 mm. Bei Bauteilstärken kleiner 100 mm darf für die Bemessung in Gleichung (RV 6.11) und (RV 6.17) auf der sicheren Seite liegend 100 mm angesetzt werden.

(RV 4) Die Bemessungsgleichungen gelten für planmäßig gerade bzw. ebene Bauteile. Bei konvex gekrümmten Bauteiloberflächen dürfen die Bemessungsgleichungen jedoch sinngemäß angewendet werden. Die Klebeflächen der CFK-Lamellen dürfen keine konkave Krümmung aufweisen.

RV 3.7 Aufgeklebte CFK-Lamellen

(RV 1) Die CFK-Lamellen müssen dem Teil 2 dieser Richtlinie entsprechen.

(RV 2) Bei Anwendung der Bemessungsgleichungen dieser Richtlinie dürfen die CFK-Lamellen höchstens zweilagig übereinander verklebt werden, wobei die maximale Dicke des CFK-Lamellenquerschnitts ohne Klebstoff im Gesamten nicht mehr als 3 mm betragen darf.

(RV 3) Die Bemessungsgleichungen gehen von einer Klebschichtdicke zwischen 1 mm und 5 mm aus.

RV 3.8 In Schlitze verklebte CFK-Lamellen

(RV 1) Die CFK-Lamellen müssen den Anforderungen aus Teil 2 dieser Richtlinie entsprechen.

(RV 2) Bei Anwendung der Bemessungsgleichungen dieser Richtlinie dürfen die CFK-Lamellen nicht doppelt in einen Schlitz verklebt werden. Dies gilt nicht für bauaufsichtlich zugelassene aufgedoppelte Lamellen.

(RV 3) Die Bemessungsgleichungen gehen von einer Breite des Schlitzes b_s nach Gleichung (RV 3.1) aus.

$$t_L + 1 \text{ mm} \leq b_s \leq t_L + 3 \text{ mm} \quad (\text{RV 3.1})$$

(RV 4) Die Lamellenbreite muss bei Anwendung dieser Richtlinie im Bereich von 10 mm bis 30 mm liegen.

RV 3.9 Stahllaschen

(RV 1) Die Bemessungsgleichungen gelten für Stahllaschen aus Baustählen nach DIN EN 10025-2, die eine Dicke von 5 mm bis 15 mm aufweisen.

(RV 2) Die Festigkeit der Stahllaschen, die in die Bemessungsgleichungen eingesetzt werden darf, muss einem S 235 entsprechen, auch wenn ein höherfester Stahl verwendet wird.

(RV 3) Ferner sind folgende Bedingungen bezüglich der Laschendicke t_L in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse des Betonuntergrundes einzuhalten:

- Betondruckfestigkeitsklassen C12/15 und C16/20: $5 \text{ mm} \leq t_L \leq 10 \text{ mm}$;
- Betondruckfestigkeitsklassen C20/25 bis C50/60: $5 \text{ mm} \leq t_L \leq 15 \text{ mm}$;
- Die Breite der Stahllaschen b_L muss der Bedingung $10 \times t_L \leq b_L \leq 200 \text{ mm}$ genügen.

RV 3.10 Aufgeklebte CF-Gelege

RV 3.10.1 Biegeverstärkung

(RV 1) Prinzipiell können die Bemessungsgleichungen für die Biegeverstärkung von aufgeklebten CFK-Lamellen auch für CF-Gelege angewendet werden, wenn die Verstärkung den nachfolgenden Bedingungen entspricht. Für eine Anwendung der Bemessungsgleichungen sind jedoch Verbundbeiwerte nach RV 8.4.6 für das verwendete System zu ermitteln bzw. durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen zu regeln.

(RV 2) Die Dehnsteifigkeit $E_{Lm}A_L$ pro Meter ist auf Werte zwischen 20 kN/mm und 400 kN/mm begrenzt.

(RV 3) CF-Gelege dürfen in höchstens fünf Lagen verklebt werden.

(RV 4) Der Gesamtfaserquerschnitt je 1000 mm Gelegebreite in der Summe aller Lagen muss zwischen 100 mm²/m und 1800 mm²/m liegen.

RV 3.10.2 Querkraftverstärkung

(RV 1) Die Verbundbeiwerte nach Abschnitt RV 8.4.6 sind für das verwendete System zu ermitteln bzw. durch Zulassungen zu regeln.

(RV 2) CF-Gelege dürfen in höchstens fünf Lagen verklebt werden.

RV 3.10.3 Stützenverstärkung

(RV 1) CF-Gelege dürfen in höchstens zehn Lagen verklebt werden.

4 Dauerhaftigkeit und Betondeckung

4.1 Allgemeines

(RV 7) Die zulässigen Umgebungsbedingungen, wie Expositionsklassen und weitere Umwelteinflüsse (z. B. Temperatur) sowie die sich daraus ergebenden Maßnahmen werden in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen des Verstärkungsbausatzes geregelt.

4.2 Umgebungsbedingungen

(RV 4) Die verklebten Verstärkungen dürfen ohne weitere Schutzmaßnahmen nur in den Expositionsklassen X0, XC1 (trocken) oder XC3 nach DIN EN 1992-1-1, Tabelle 4.1, eingesetzt werden. Außerdem dürfen die Bauteile im Bereich der Verstärkungen keiner starken UV-Strahlung (direkter Sonneneinstrahlung oder indirekter Sonneneinstrahlung durch Schnee- und Wasserflächen) bzw. wechselnden oder dauerhaften Durchfeuchtungen ausgesetzt werden.

(RV 5) Ist das Bauteil davon abweichenden Expositionen ausgesetzt, sind entsprechende Schutzmaßnahmen nach der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, unter Verwendung von Bauprodukten nach DIN EN 1504-2 in Verbindung mit DIN V 18026 bzw. DIN 18195 oder andere geeignete Schutzschichten, vorzusehen, die sicherstellen, dass das Bauteil im Bereich der geklebten Bauteilverstärkung keiner wechselnden oder dauerhaften Durchfeuchtung und keinem den Verbund schädigenden chemischen oder mechanischen Angriff ausgesetzt ist.

4.3 Anforderungen an die Dauerhaftigkeit

Keine Ergänzungen oder Änderungen

4.4 Nachweisverfahren

4.4.1 Betondeckung

4.4.1.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

4.4.1.2 Mindestbetondeckung c_{\min}

(RV 14) Die Dauerhaftigkeit der Bauteile wird durch in Schlitzte verklebte CFK-Lamellen nicht beeinträchtigt, auch wenn die Schlitzte in die Mindestbetondeckung eingreifen.

4.4.1.3 Vorhaltemaß

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5 Ermittlung der Schnittgrößen

5.1 Allgemeines

5.1.1 Grundlagen

(RV 15) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitte 5.5 und 5.6, bei Biegebeanspruchung ist nur dann zugelassen, wenn sich im zu verstärkenden Bereich keine Reduktion der Schnittgrößen im Vergleich zur linear-elastischen Berechnung ergibt.

(RV 16) Der geklebten Bewehrung dürfen planmäßig nur Zugkräfte zugewiesen werden.

(RV 17) Die aufgeklebten Stahllaschen, CFK-Lamellen und CF-Gelege dürfen, sofern sie unter Einwirkungskombinationen in der Biegedruckzone liegen, einer Stauchung von bis zu $\varepsilon_{Lc,max}$ gemäß Gleichung (RV 5.1) ausgesetzt werden. Die Dehnung ist dabei unter Annahme der Spannungs-Dehnung-Linie nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 3.1.7, und mit den Sicherheiten des Grenzzustands der Tragfähigkeit zu ermitteln.

$$\varepsilon_{Lc,max} = 2000 \text{ mm/m} \cdot \sqrt{\frac{1}{E_L \cdot t_L}} \leq 3,5 \text{ mm/m} \quad (\text{RV 5.1})$$

Dabei ist:

t_L	Dicke der Stahllaschen, CFK-Lamellen bzw. CF-Gelege in mm
E_L	E-Modul der Stahllaschen, CFK-Lamellen bzw. CF-Gelege in mm

(RV 18) Die in Schlitze verklebten CFK-Lamellen dürfen in der Biegedruckzone einer Stauchung von bis zu 3,5 mm/m im Druckbereich ausgesetzt werden.

(RV 19) Auf der Zugseite müssen die mittleren Vordehnungen während des Verstärkens berücksichtigt werden. Die Vordehnung ist dabei entweder wirklichkeitsnah mit den vorhandenen Einwirkungen oder vereinfacht auf Gebrauchstauglichkeitsniveau mit der quasi-ständigen Belastungskombination zu ermitteln.

5.1.2 Besondere Anforderungen an Gründungen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.1.3 Lastfälle und Einwirkungskombinationen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.1.4 Auswirkungen von Bauteilverformungen (Theorie II. Ordnung)

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.2 Imperfektionen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.3 Idealisierungen und Vereinfachungen

5.3.1 Tragwerksmodelle für statische Berechnungen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.3.2 Geometrische Angaben

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.4 Linear-elastische Berechnung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.5 Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung

(RV 7) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.5, bei Biegebeanspruchung ist nur dann zugelassen, wenn sich im zu verstärkenden Bereich keine Reduktion der Schnittgrößen im Vergleich zur linear-elastischen Berechnung ergibt.

5.6 Verfahren nach der Plastizitätstheorie

5.6.1 Allgemeines

(RV 6) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.6, bei Biegebeanspruchung ist nur dann zugelassen, wenn sich im zu verstärkenden Bereich keine Reduktion der Schnittgrößen im Vergleich zur linear-elastischen Berechnung ergibt.

5.6.2 Balken, Rahmen und Platten

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.6.3 Vereinfachter Nachweis der plastischen Rotation

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.6.4 Stabwerkmodelle

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.7 Nichtlineare Verfahren

(RV 16) Die Berechnung der Schnittgrößen nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.7, ist bei einer Verstärkung mit geklebter Bewehrung nicht zugelassen.

5.8 Berechnung von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung

5.8.1 Begriffe

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.8.2 Allgemeines

(RV 7) Die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung sind bei der Verstärkung von oben und unten unverschieblich gelagerten Stützen durch die Ermittlung des bezogenen Winkels in Abschnitt RV 6.1.4.2 berücksichtigt, falls diese durch ein konstantes Moment belastet sind.

5.8.3 Vereinfachte Nachweise für Bauteile unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.8.4 Kriechen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.8.5 Berechnungsverfahren

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.8.6 Allgemeines Verfahren

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.8.7 Verfahren mit Nennsteifigkeiten

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.8.8 Verfahren mit Nennkrümmung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.8.9 Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.9 Seitliches Ausweichen schlanker Träger

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.10 Spannbetontragwerke

5.10.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.10.2 Vorspannkraft während des Spannvorgangs

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.10.3 Vorspannkraft nach dem Spannvorgang

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.10.4 Sofortige Spannkraftverluste bei sofortigem Verbund

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.10.5 Sofortige Spannkraftverluste bei nachträglichem Verbund

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.10.6 Zeitabhängige Spannkraftverluste bei sofortigem und nachträglichem Verbund

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.10.7 Berücksichtigung der Vorspannung in der Berechnung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.10.8 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.10.9 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und der Ermüdung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

5.11 Berechnung für ausgewählte Tragwerke

Keine Ergänzungen oder Änderungen

RV 5.12 Querzugnachweis am Lamellenende

(RV 1) Die senkrecht zur Klebefläche wirkende Zugspannung am Ende der Biegeverstärkung muss berücksichtigt werden, da es hier zum sogenannten Versatzbruch kommen kann, bei dem sich die Betondeckung am Lamellenende von der Betonstahlbewehrung ablöst. Der Versatzbruch ist in Bild RV 5.1 schematisch dargestellt.

Versatzbruch

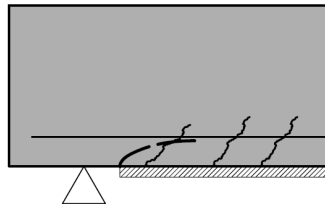


Bild RV 5.1 – Schematische Darstellung des Versatzbruches

(RV 2) Diese abhebende Kraft gilt als ausreichend verankert, wenn der Nachweis nach Abschnitt RV 6.2.7 erfüllt ist. Falls dieser Nachweis nicht erfüllt ist, müssen am Lamellenende konstruktiv außenliegende Bügel nach Abschnitt RV 9.2.6 angebracht werden.

6 Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT)

6.1 Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein

RV 6.1.1 Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen und CF-Gelegen bei überwiegend biegebeanspruchten Bauteilen

RV 6.1.1.1 Grundlagen

(RV 1) Für den Nachweis der Biegeverstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen und CF-Gelegen stehen ein vereinfachter Nachweis (Abschnitt RV 6.1.1.2) sowie ein genaueres Verfahren (Abschnitt RV 6.1.1.3) zur Verfügung. Der vereinfachte Nachweis beruht auf einer Grenzdehnung, die auf der sicheren Seite liegend festgelegt wurde. Der Nachweis gilt beim vereinfachten Verfahren nach Abschnitt RV 6.1.1.2 als erfüllt, wenn die aufgelisteten Randbedingungen sowie die Grenzdehnung eingehalten sind. Neben diesen Verfahren gibt es noch den Nachweis als örtliche Verstärkung nach Abschnitt RV 6.1.1.5. Die Lamellen dürfen dort nur mit der am Einzelriss verankerbaren Kraft belastet werden und sind damit deutlich geringer ausgenutzt als bei dem vereinfachten Nachweis, jedoch müssen hier kein Endverankerungsnachweis und kein Nachweis zur Vermeidung des Versatzbruches geführt werden.

(RV 2) Neben der Biegetragfähigkeit nach Abschnitt RV 6.1.1.2 bzw. RV 6.1.1.3 muss auch die Querkrafttragfähigkeit nach Abschnitt 6.2 sowie die Vermeidung des Versatzbruches nach Abschnitt RV 6.2.7 nachgewiesen werden. Auf den Nachweis zur Vermeidung des Versatzbruches darf verzichtet werden, wenn eine Endverbügelung nach Abschnitt RV 9.2.6 konstruktiv angeordnet wird.

(RV 3) Falls die Biegeverstärkung für nicht vorwiegend ruhende Belastungen bemessen werden soll, muss zusätzlich der Nachweis der Ermüdung nach Abschnitt RV 6.8.8 geführt werden.

(RV 4) Für alle Nachweise außer dem Nachweis der örtlichen Verstärkung gemäß RV 6.1.1.5 ist es erforderlich, dass sich das Bauteil im Grenzzustand der Tragfähigkeit im gerissenen Zustand befindet.

ANMERKUNG Hierbei muss das Rissmoment gemäß RV 6.1.1.3.3 bzw. RV 6.1.1.3.4 durch die Einwirkung überschritten werden.

RV 6.1.1.2 Vereinfachter Nachweis

(RV 1) Im Bereich von Feldmomenten bei nicht vorgespannten Bauteilen darf der Nachweis der Biegeverstärkung als Nachweis der Biegetragfähigkeit mit der Grenzdehnung der Lamelle nach Gleichung (RV 6.1) vereinfacht geführt werden. Der Nachweis der Verbundkraftübertragung am Zwischenrisselement ist nicht erforderlich. Auf den Endverankerungsnachweis gemäß RV 6.1.1.4 darf verzichtet werden, wenn alle folgenden Bedingungen eingehalten sind:

- die Lamelle wird bis mindestens 50 mm vor die Auflagervorderkante geführt;
- der einbetonierte Betonstahl ist gerippt;
- der einbetonierte Betonstahl ist nicht abgestuft;
- die Lamellenstärke überschreitet insgesamt einen Wert von 1,4 mm nicht.

$$\varepsilon_{Ld,max} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \text{ mm/m} + 0,1 \text{ mm/m} \cdot \frac{l_0}{h} - 0,04 \text{ mm/m} \cdot \phi_s + 0,06 \text{ mm/m} \cdot f_{cm} \\ \begin{cases} 3,0 \text{ mm/m} \cdot \frac{l_0}{9700 \text{ mm}} \cdot \left(2 - \frac{l_0}{9700 \text{ mm}} \right) & \text{für } l_0 \leq 9700 \text{ mm} \\ 3,0 \text{ mm/m} & \text{für } l_0 > 9700 \text{ mm} \end{cases} \end{array} \right. \quad (\text{RV 6.1})$$

Dabei ist:

f_{cm}	mittlere Zylinderdruckfestigkeit des Betons in N/mm ²
h	Gesamthöhe des Bauteils in mm
ϕ_s	größter Betonstahldurchmesser in mm
l_0	effektive Stützweite in mm

(RV 2) Bei Anwendung des Nachweises in (RV 1) muss die mittlere Zylinderdruckfestigkeit des Betons, die in Gleichung (RV 6.1) eingesetzt wird, die Bedingung nach Gleichung (RV 6.2) erfüllen.

$$f_{ctm,surf} \geq 0,26 \cdot f_{cm}^{2/3} \quad (\text{RV 6.2})$$

(RV 3) Innerhalb der Grenzdehnung der Lamelle 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. Die Längsschubkraft gegliederter Querschnitte ist gemäß DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.4, nachzuweisen.

(RV 4) Für die CFK-Lamellen bzw. CF-Gelege dürfen die Mittelwerte des E-Moduls angesetzt werden. Der Bemessungswert der Lamellenzugfestigkeit f_{Lud} darf nicht überschritten werden.

RV 6.1.1.3 Genaueres Verfahren

RV 6.1.1.3.1 Grundlagen

(RV 1) Beim genaueren Verfahren müssen folgende Nachweise geführt werden:

- Der Nachweis der Biegetragfähigkeit mit der Festigkeit der CFK-Lamelle bzw. CF-Gelege nach Abschnitt RV 6.1.1.3.2. Falls nachfolgend der vereinfachte Nachweis der Verbundkraftübertragung am Zwischenrisselement nach Abschnitt RV 6.1.1.3.5 geführt wird, ist hier jedoch die Grenzdehnung von 10 mm/m einzuhalten. Der Bemessungswert der Lamellenzugfestigkeit f_{Lud} darf hierbei nicht überschritten werden.
- Der Nachweis der Verbundkraftübertragung am Zwischenrisselement. Hierfür muss zunächst der Rissabstand nach Abschnitt RV 6.1.1.3.3 bzw. RV 6.1.1.3.4 ermittelt werden. Nachfolgend darf sowohl ein vereinfachter Nachweis der Verbundkraftübertragung am Zwischenrisselement nach Abschnitt RV 6.1.1.3.5 erfolgen als auch ein exakter Nachweis nach Abschnitt RV 6.1.1.3.6.
- Der Nachweis der Endverankerung der CFK-Lamelle nach Abschnitt RV 6.1.1.4.

(RV 2) Für die CFK-Lamellen bzw. CF-Gelege dürfen für die Berechnungen die Mittelwerte des E-Moduls angesetzt werden.

RV 6.1.1.3.2 Nachweis der Biegetragfähigkeit

(RV 1) Innerhalb der Festigkeit der Lamelle f_{Lud} darf im Grenzzustand der Tragfähigkeit die volle Mitwirkung der vorhandenen Bewehrung und der CFK-Lamellen angenommen werden, sofern die Verbundnachweise nach Abschnitt RV 6.1.1.4 und nach Abschnitt RV 6.1.1.3.5 oder RV 6.1.1.3.6 erbracht sind. Der Dehnungszustand der vorhandenen Bewehrung von Stahlbetonbauteilen zum Zeitpunkt der Verstärkung darf hierfür unter Annahme des gerissenen Zustandes ermittelt werden. Die Längsschubkraft gegliederter Querschnitte ist gemäß DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.4, nachzuweisen.

RV 6.1.1.3.3 Ermittlung des Rissabstandes für Stahlbetonbauteile

(RV 1) Der Rissabstand s_r darf vereinfacht aus der 1,5-fachen Eintragungslänge des Betonstahls nach Gleichung (RV 6.3) bestimmt werden.

$$s_r = 1,5 \cdot l_{e,0} \quad (\text{RV 6.3})$$

(RV 2) Die Eintragungslänge darf nach Gleichung (RV 6.4) ermittelt werden. In der Gleichung (RV 6.4) darf z_s vereinfacht mit $0,85 \cdot h$ ermittelt werden.

$$l_{e,0} = \frac{M_{\text{cr}}}{z_s \cdot F_{\text{bsm}}} \quad (\text{RV 6.4})$$

(RV 3) Das Rissmoment des Querschnitts darf vereinfacht nach Gleichung (RV 6.5) bestimmt werden.

$$M_{\text{cr}} = \kappa_{\text{fl}} \cdot f_{\text{ctm,surf}} \cdot W_{c,0} \quad (\text{RV 6.5})$$

Dabei ist:

$$\kappa_{\text{fl}} = (1,6 - h/1000) \geq 1,0$$

h Gesamthöhe des Bauteils in mm

(RV 4) Für die Ermittlung des Rissmomentes ist beim Plattenbalken mit Zugbeanspruchung in der Platte die mitwirkende Plattenbreite zu berücksichtigen. Die mitwirkende Plattenbreite darf zu $0,5 b_{\text{eff},i}$ nach DIN EN 1992-1-1, Gleichung (5.7a), bestimmt werden.

(RV 5) Die Verbundkraft je Länge darf mit der Gleichung (RV 6.6) berechnet werden. Dabei kann die mittlere Verbundspannung des Betonstahls nach Gleichung (RV 6.7) bestimmt werden. Hierbei ist für Doppelstäbe nur ein Stab mit Ersatzstabdurchmesser einzusetzen. Der Ersatzstabdurchmesser bestimmt sich zu:

$$\phi_n = \sqrt{2} \cdot \phi.$$

$$F_{\text{bsm}} = \sum_{i=1}^n n_{s,i} \cdot \phi_i \cdot \pi \cdot f_{\text{bsm}} \quad (\text{RV 6.6})$$

(RV 6) Die mittlere Verbundspannung des Betonstahls darf in Abhängigkeit der Bewehrungsart nach Gleichung (RV 6.7) bestimmt werden. Dabei ist für gute Verbundbedingungen $\kappa_{\text{vb}1} = \kappa_{\text{vb}2} = 1$ und für mäßige Verbundbedingungen $\kappa_{\text{vb}1} = 0,7$ und $\kappa_{\text{vb}2} = 0,5$ zu verwenden.

$$f_{\text{bsm}} = \begin{cases} \kappa_{\text{vb}1} \cdot 0,43 \cdot f_{\text{cm}}^{2/3} & \text{für gerippten Betonstahl} \\ \kappa_{\text{vb}2} \cdot 0,28 \cdot \sqrt{f_{\text{cm}}} & \text{für glatten Betonstahl} \end{cases} \quad (\text{RV 6.7})$$

Dabei ist:

$$f_{\text{cm}} \quad \text{mittlere Zylinderdruckfestigkeit in N/mm}^2$$

RV 6.1.1.3.4 Ermittlung des Rissabstandes für Spannbetonbauteile

(RV 1) Der Rissabstand bei Spannbetonbauteilen kann wie für Stahlbetonbauteile nach Abschnitt RV 6.1.1.3.3 erfolgen, jedoch ist beim Rissmoment die Vorspannkraft gemäß Gleichung (RV 6.8) zu berücksichtigen. Die Spannstahlbewehrung darf bei der Verbundkraft je Länge in Gleichung (RV 6.4) berücksichtigt werden, falls diese bei Erstrissbildung in der Zugzone liegt. Dabei sind die Verbundfestigkeiten der Gleichung (RV 6.7) mit den Werten der Tabelle 6.2 der DIN EN 1992-1-1 abzumindern.

$$M_{\text{cr}} = \left(\kappa_{\text{fl}} \cdot f_{\text{ctm,surf}} + \frac{\sigma_p \cdot A_p}{A_c} \right) \cdot W_{c,0} + \sigma_p \cdot A_p \cdot z_p \quad (\text{RV 6.8})$$

Dabei ist:

A_p	Querschnittsfläche der Spannstahlbewehrung
A_c	Querschnittsfläche des Bauteils
σ_p	Vorspannung des Spannstahls zur Zeit der Verstärkung
z_p	Höhenlage des Spannstahls zum Schwerpunkt des Querschnitts

RV 6.1.1.3.5 Vereinfachter Nachweis der Lamellenkraftänderung am Zwischenrisselement

(RV 1) Die Vordehnung der Bewehrung aus der Belastung während des Verstärkens ist bei diesem Nachweis zu berücksichtigen.

(RV 2) Die Dehnung der Lamelle darf an keiner Stelle die Grenzdehnung von $\varepsilon_{LRd,max} = 10 \text{ mm/m}$ überschreiten und der Bemessungswert der Lamellenzugfestigkeit f_{Lud} darf nicht überschritten werden.

(RV 3) Neben den Anordnungen diskreter Zwischenrisselemente können auch Funktionen für die Lamellenkraft über die Bauteillänge aufgestellt werden und hierbei der Lamellenkraftzuwachs (Steigung) beschränkt werden.

(RV 4) Die Zwischenrisselemente sollten am Momentenmaximum beginnen und bis zum ungerissenen Bereich mit dem jeweiligen Rissabstand versetzt angeordnet werden. Im ungerissenen Bereich, der nach dem Biegeriss, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, beginnt, sollte das letzte Zwischenrisselement enden.

(RV 5) Die Lamellenkraftänderung aus der Einwirkung an jedem Zwischenrisselement muss kleiner sein als die durch Verbund aufnehmbare Lamellenkraftänderung.

$$\Delta F_{LEd} \leq \Delta F_{LRd} \quad (\text{RV 6.9})$$

(RV 6) Die Lamellenkraftänderung am Zwischenrisselement berechnet sich in Abhängigkeit des Rissabstandes s_r mit Gleichung (RV 6.10).

$$\Delta F_{LEd} = F_{LEd}(x + s_r) - F_{LEd}(x) \quad (\text{RV 6.10})$$

(RV 7) Die durch Verbund aufnehmbare Lamellenkraftänderung je Zwischenrisselement berechnet sich mit Gleichung (RV 6.11). Die aufnehmbare Lamellenkraftänderung je Zwischenrisselement ist für jedes Zwischenrisselement in einem zu bemessenden Bauteil konstant.

$$\Delta F_{LRd} = \frac{\tau_{L1k} \cdot \kappa_{L1} \cdot \sqrt{s_r} + \tau_{LFk} \cdot \kappa_{LF} \cdot s_r^{4/3} + \frac{\kappa_h}{h} \cdot s_r^{1/3}}{\gamma_{BA}} \cdot b_L \quad (\text{RV 6.11})$$

Dabei ist:

b_L	Lamellenbreite in mm
κ_{L1}	= 2,3
κ_{LF}	= 0,1
κ_h	= 2000 für ebene Stahlbetonbauteile
κ_h	= 0 für Spannbetonbauteile
s_r	Abstand der Biegerisse in mm; der eingesetzte Wert muss kleiner 400 mm sein
h	Bauteilhöhe in mm; der eingesetzte Wert muss größer 100 mm sein
τ_{L1k}	maximale Verbundspannung des bilinearen Ansatzes, empfohlene Werte im Anhang RV K, in N/mm ²
τ_{LFk}	Reibverbundspannung, empfohlene Werte im Anhang RV K, in N/mm ²

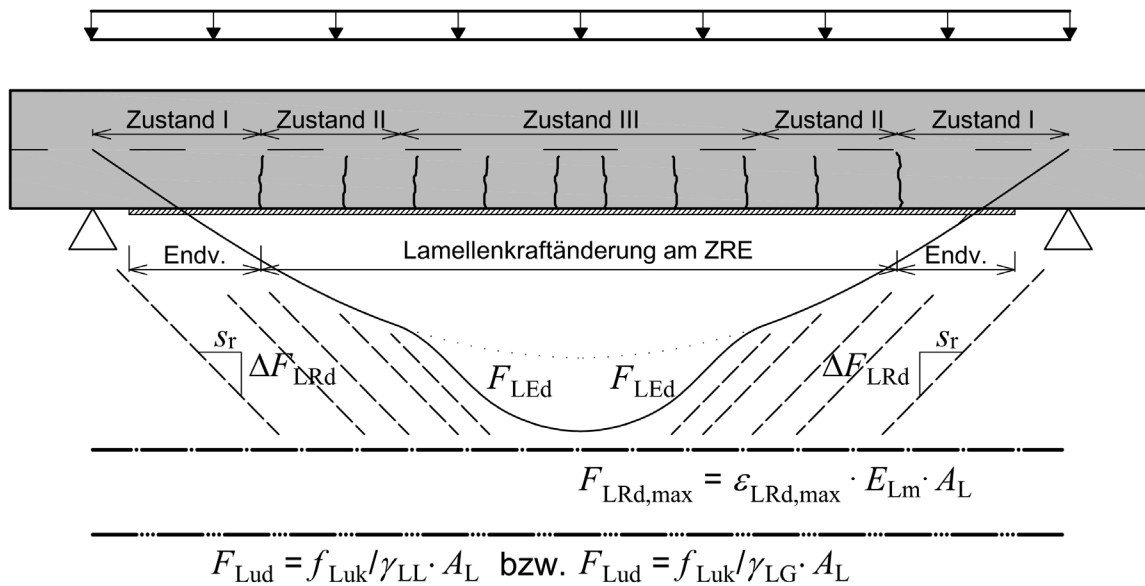


Bild RV 6.1 – Schematische Darstellung der zu führenden Nachweise der Lamellengrenzdehnung und der Lamellenkraftänderung am Zwischenrisselement

(RV 8) Die Lamellenkraft $F_{LEd}(x)$ darf in Gleichung (RV 6.10) vereinfacht nach Anhang RV L.3 bestimmt werden.

(RV 9) Falls sich in dem zu verstärkenden Bauteil nach Gleichung (RV 6.3) verschiedene Rissabstände ergeben, darf vereinfacht mit dem größten Rissabstand gerechnet werden.

RV 6.1.1.3.6 Genauerer Nachweis der Lamellenkraftänderung am Zwischenrisselement

(RV 1) Die Vordehnung der Bewehrung aus der Belastung während des Verstärkens ist bei diesem Nachweis zu berücksichtigen.

(RV 2) Der Nachweis muss für jede Lastfallkombination untersucht werden. Das Superpositionsprinzip gilt nicht.

(RV 3) An jedem Zwischenrisselement, das schematisch in Bild RV 6.2 dargestellt ist, muss nachgewiesen werden, dass die Lamellenkraftänderung nach Gleichung (RV 6.13) kleiner ist als die aufnehmbare Lamellenkraftänderung am Zwischenrisselement nach Gleichung (RV 6.14).

$$\Delta F_{LEd} \leq \Delta F_{LRd} \quad (RV 6.12)$$

(RV 4) Die Zwischenrisselemente sollten am Momentenmaximum beginnen und bis zum ungerissenen Bereich mit dem jeweiligen Rissabstand versetzt angeordnet werden. Im ungerissenen Bereich, der nach dem Biegeriss, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, beginnt, sollte das letzte Zwischenrisselement enden.

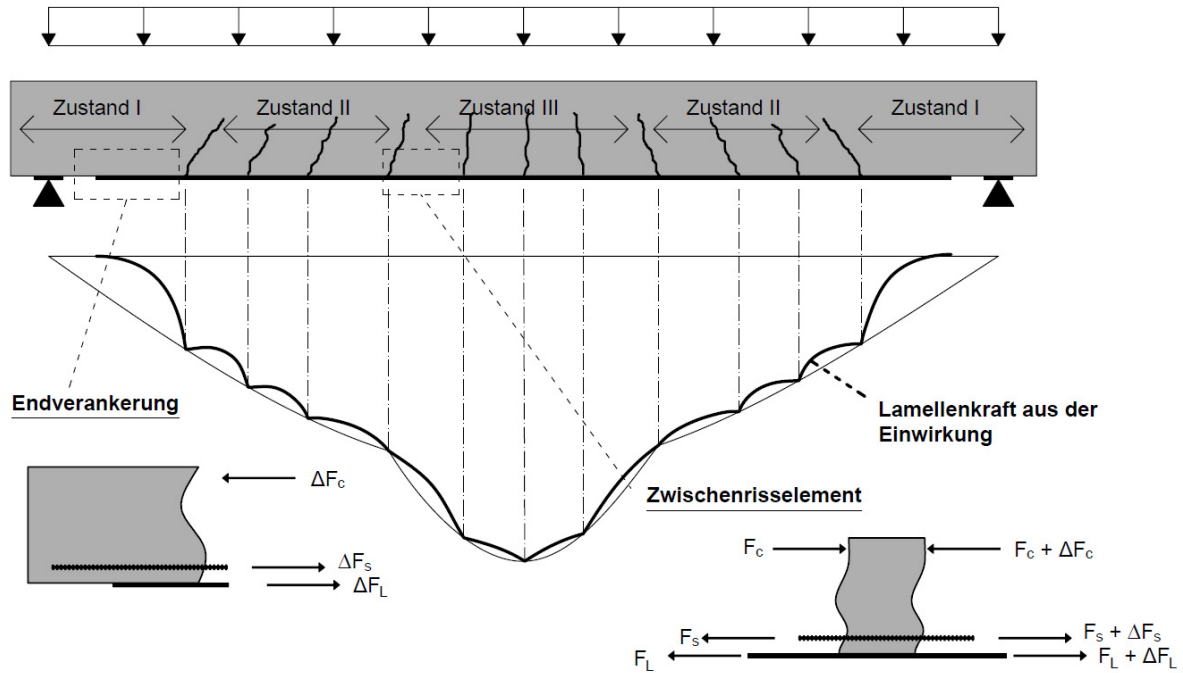


Bild RV 6.2 – Schematische Darstellung des Zwischenrisselementes

(RV 5) Die Lamellenkraftänderung am Zwischenrisselement berechnet sich in Abhängigkeit des Rissabstandes s_r mit Gleichung (RV 6.13).

$$\Delta F_{LEd} = F_{LEd}(x + s_r) - F_{LEd}(x) \quad (\text{RV 6.13})$$

(RV 6) Die durch Verbund aufnehmbare Lamellenkraftänderung an einem Zwischenrisselement berechnet sich mit Gleichung (RV 6.14) und setzt sich aus drei Teilen zusammen (vgl. auch Bild RV 6.3), einem Anteil aus dem Grundmaß des Verbundes aufgeklebter Bewehrung, einem Anteil aus der Verbundreibung sowie einem Anteil aus der Bauteilkrümmung.

$$\Delta F_{LRd} = \frac{\Delta F_{Lk,BL} + \Delta F_{Lk,BF} + \Delta F_{Lk,KF}}{\gamma_{BA}} \quad (\text{RV 6.14})$$

(RV 7) Der Anteil aus dem Grundmaß des Verbundes aufgeklebter Bewehrung berechnet sich in Abhängigkeit der Lamellenkraft F_{LEd} am niedriger beanspruchten Rissufer des Zwischenrisselements mit Gleichung (RV 6.15).

$$\Delta F_{Lk,BL} = \begin{cases} \Delta F_{Lk,BL}^G - \frac{\Delta F_{Lk,BL}^G - \Delta F_{Lk,BL}^D}{F_{Lk,BL}^D} F_{LEd} & \text{für } F_{LEd} \leq F_{Lk,BL}^D \\ \sqrt{b_L^2 \cdot \tau_{L1k} \cdot s_{L0k} \cdot E_{Lm} \cdot t_L + F_{LEd}^2} - F_{LEd} & \text{für } F_{Lk,BL}^D < F_{LEd} \leq F_{Lud} \end{cases} \quad (\text{RV 6.15})$$

Dabei ist:

$$\Delta F_{Lk,BL}^G = f_{bLk}(s_r) \cdot b_L \cdot t_L$$

$$F_{Lk,BL}^D = \frac{s_{L0k} \cdot E_{Lm} \cdot b_L \cdot t_L}{s_r} - \tau_{L1k} \frac{s_r \cdot b_L}{4}$$

$$\Delta F_{Lk,BL}^D = \sqrt{b_L^2 \cdot \tau_{L1k} \cdot s_{L0k} \cdot E_{Lm} \cdot t_L + F_{Lk,BL}^D{}^2} - F_{Lk,BL}^D$$

F_{Lud} Bemessungswert der Lamellenbruchkraft ($F_{Lud} = f_{Luk} / \gamma_{LL} \cdot A_L$) bzw. ($F_{Lud} = f_{Luk} / \gamma_{LG} \cdot A_L$)

F_{LEd} Lamellenkraft am niedriger beanspruchten Rissufer des Zwischenrisselements

$f_{bLk}(s_r)$ charakteristische Verbundfestigkeit in Abhängigkeit des Rissabstandes nach Gleichung (RV 8.9)

(RV 8) Der Anteil aus dem Reibverbund berechnet sich in Abhängigkeit der Lamellengrundkraft am Zwischenrisselement sowie des Rissabstandes und der Reibverbundspannung mit Gleichung (RV 6.16).

$$\Delta F_{Lk,BF} = \begin{cases} 0 & \text{für } F_{LEd} \leq F_{Lk,BL}^D \\ \tau_{LFk} \cdot b_L \cdot \left(s_r - \frac{2 \cdot t_L \cdot E_{Lm}}{\tau_{L1k}} \cdot \left(\sqrt{\frac{\tau_{L1k} \cdot s_{L0k}}{t_L \cdot E_{Lm}} + \frac{F_{LEd}^2}{b_L^2 \cdot t_L^2 \cdot E_{Lm}^2}} - \frac{F_{LEd}}{b_L \cdot t_L \cdot E_{Lm}} \right) \right) & \text{für } F_{Lk,BL}^D < F_{LEd} \leq F_{Lud} \end{cases} \quad (RV 6.16)$$

(RV 9) Der Anteil aus der Bauteilkrümmung berechnet sich mit Gleichung (RV 6.17) über die Betonstauungen und die Lamellendehnungen.

$$\Delta F_{Lk,KF} = s_r \cdot \kappa_k \cdot \frac{\varepsilon_{Lr1} - \varepsilon_{cr1}}{h} \cdot b_L \quad (RV 6.17)$$

Dabei ist:

- κ_k $24,3 \cdot 10^3 \text{ N/mm}$
- ε_{Lr1} Lamellendehnung am niedriger beanspruchten Rissufer
- ε_{cr1} Betondehnung am niedriger beanspruchten Rissufer

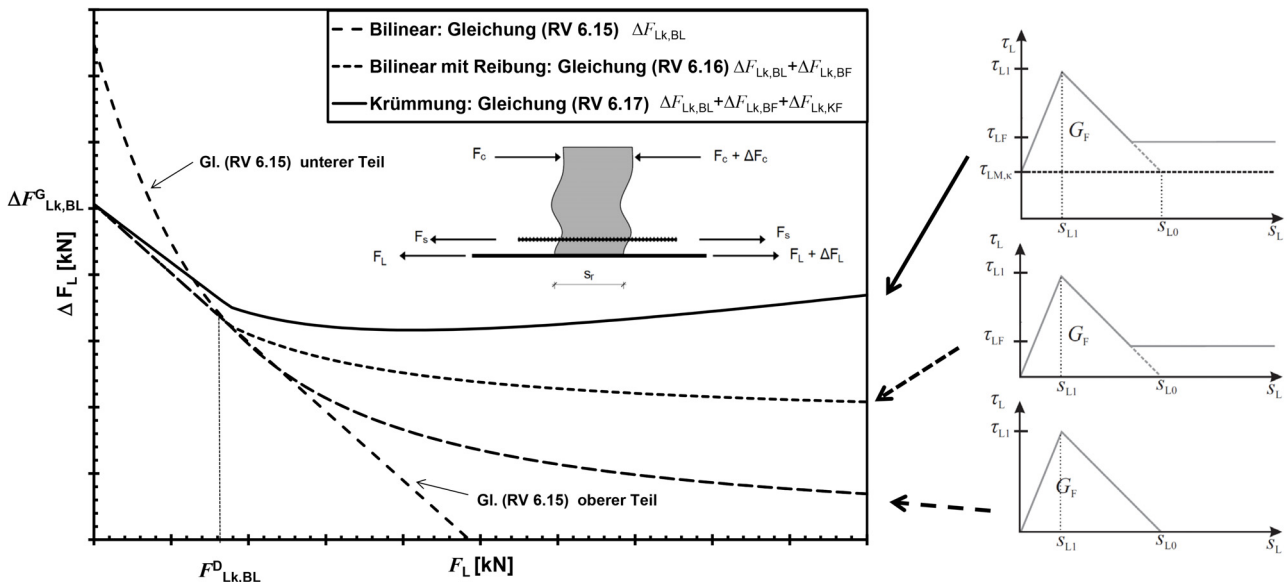


Bild RV 6.3 – Aufnehmbare Lamellenkraftänderung am Zwischenrisselement

RV 6.1.1.4 Endverankerungsnachweis

RV 6.1.1.4.1 Allgemein

(RV 1) Der Endverankerungsnachweis darf entweder am Biegeriss, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, nach Abschnitt RV 6.1.1.4.2 erfolgen oder an einem beliebigen Zwischenrisselement nach Abschnitt RV 6.1.1.4.3. Des Weiteren kann im Bereich der Endverankerung ein Bügel angeordnet werden und damit der Nachweis nach Abschnitt RV 6.1.1.4.4 erfolgen.

RV 6.1.1.4.2 Endverankerung am Biegeriss, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist

(RV 1) Der Nachweis muss an der Stelle des Biegerisses, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, geführt werden. Dieser Biegeriss befindet sich an der Stelle, an der das Biegemoment gleich dem Rissmoment nach Gleichung (RV 6.5) ist (siehe auch Bild RV 6.4). Die Stelle des Biegerisses, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, ist unter Bemessungslasten im Grenzzustand der Tragfähigkeit und ohne Berücksichtigung des Versatzmaßes zu ermitteln.

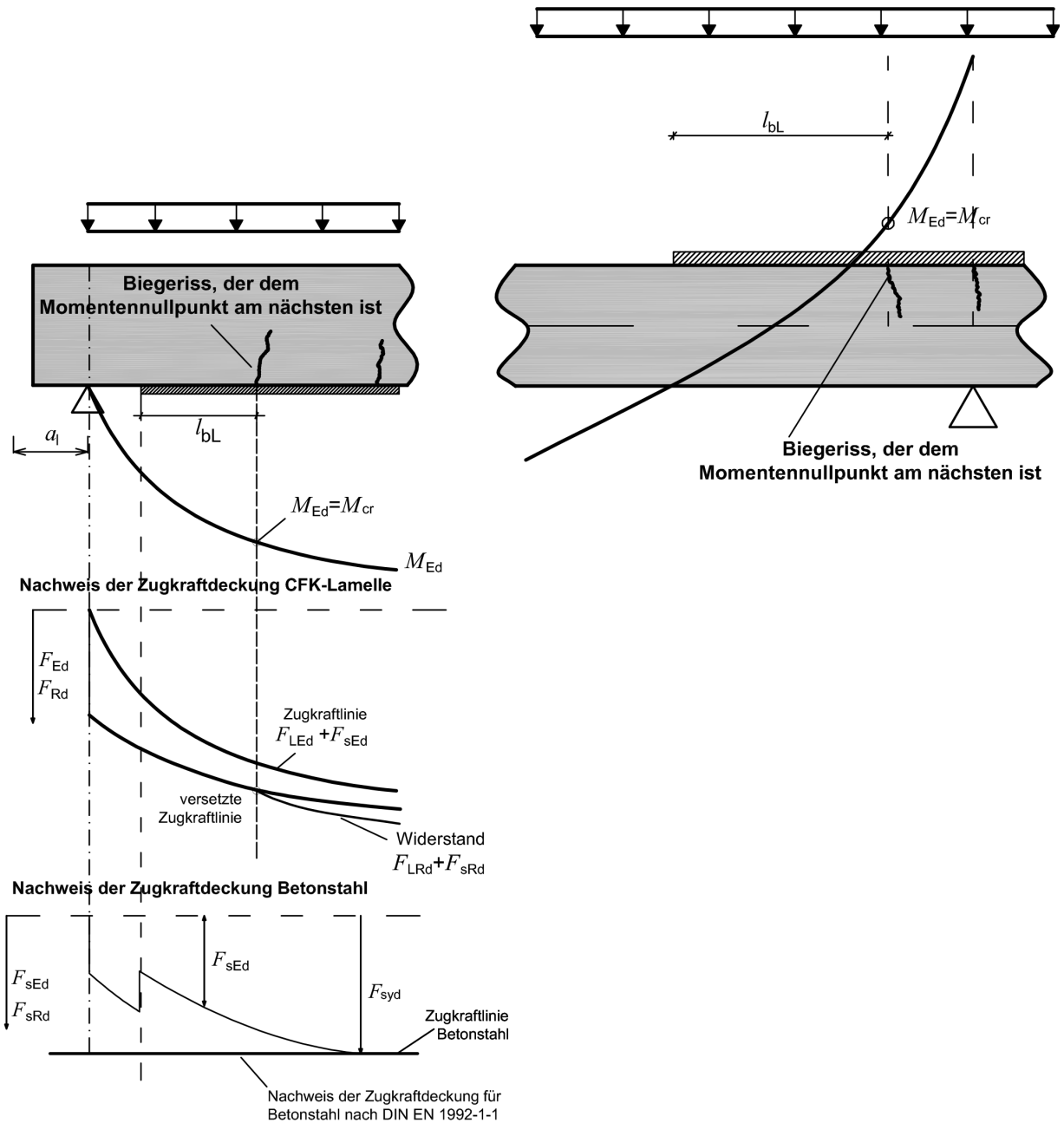


Bild RV 6.4 – Schematische Darstellung des Endverankerungsnachweises für CFK-Lamellen

(RV 2) Die Vordehnung der Bewehrung aus der Belastung während des Verstärkens ist bei diesem Nachweis nicht zu berücksichtigen.

(RV 3) An der Stelle des Biegerisses, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, muss das einwirkende Moment kleiner als das aufnehmbare Moment nach Gleichung (RV 6.18) sein, dabei muss das Versatzmaß nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9.2.1.3 bzw. 9.3.1.1, berücksichtigt werden.

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}(l_{bL}) \quad (\text{RV 6.18})$$

(RV 4) Das aufnehmbare Moment ist in Abhängigkeit der Dehnungen der Bewehrungsstränge mit Gleichung (RV 6.19) zu berechnen. Die Druckzonenhöhe sowie der innere Hebelarm dürfen an der Stelle des Biegerisses, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, näherungsweise mit den Gleichungen nach Anhang RV L.1 bestimmt werden.

$$M_{Rd}(l_{bL}) = \varepsilon_{LRk}^a(l_{bL}) \cdot E_{Lm} \cdot A_L \cdot z_L^a \cdot \frac{1}{\gamma_{BA}} + \varepsilon_{SRk}^a(l_{bL}) \cdot E_s \cdot A_s \cdot z_s^a \cdot \frac{1}{\gamma_s} \quad (\text{RV 6.19})$$

(RV 5) Die Dehnungen der CFK-Lamelle berechnen sich nach Gleichung (RV 6.20).

$$\varepsilon_{LRk}^a(l_{bL}) = \begin{cases} \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{l_{bL}}{l_{bL,lim}}\right) \cdot \varepsilon_{LRk,lim}^a & \text{für } 0 < l_{bL} < l_{bL,lim} \\ \varepsilon_{LRk,lim}^a & \text{für } l_{bL,lim} \leq l_{bL} \end{cases} \quad (RV 6.20)$$

mit der Grenzdehnung in Abhängigkeit der maximalen Verbundfestigkeit nach Abschnitt RV 8.4.6:

$$\varepsilon_{LRk,lim}^a = 0,985 \cdot \frac{f_{bLk,max}}{E_{Lm}} \quad (RV 6.21)$$

und der zugehörigen Verankerungslänge in Abhängigkeit der effektiven Verbundlänge nach Abschnitt RV 8.4.6:

$$l_{bL,lim} = 0,86 \cdot l_{bL,max} \quad (RV 6.22)$$

(RV 6) Die Dehnungen der Betonstahlbewehrung berechnen sich nach Gleichung (RV 6.23) mit dem Faktor $\alpha_N = 0,25$ für gerippten Betonstahl und $\alpha_N = 0$ für Glattstahl. Bei guten Verbundbedingungen ist in Gleichung (RV 6.23) $\kappa_{VB} = 1$ und bei mäßigen Verbundbedingungen $\kappa_{VB} = 0,7$ einzusetzen.

$$\varepsilon_{sRk}^a(l_{bL}) = \kappa_{VB} \cdot \kappa_{bsk} \cdot (s_{Lr}^a(l_{bL}))^{(\alpha_N+1)/2} \cdot \left(\frac{d^a - x^a}{d_L^a - x^a}\right)^{(\alpha_N+1)/2} \leq f_{yk}/E_s \quad (RV 6.23)$$

Dabei ist:

- s_{Lr}^a Schlupf der Lamelle in mm nach Gleichung (RV 6.24)
- d^a statische Nutzhöhe der inneren Bewehrung in mm
- d_L^a statische Nutzhöhe der aufgeklebten Bewehrung in mm
- x^a Druckzonenhöhe in mm

(RV 7) Dabei errechnet sich der Schlupf der Lamelle nach Gleichung (RV 6.24).

$$s_{Lr}^a(l_{bL}) = \begin{cases} 0,213 \text{ mm} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{l_{bL}}{l_{bL,lim}}\right)\right) & \text{für } 0 < l_{bL} \leq l_{bL,lim} \\ 0,213 \text{ mm} + (l_{bL} - l_{bL,lim}) \cdot \varepsilon_{LRk,lim}^a & \text{für } l_{bL,lim} \leq l_{bL} \end{cases} \quad (RV 6.24)$$

(RV 8) Der Verbundkoeffizient für die einbetonierte Bewehrung ergibt sich nach Gleichung (RV 6.25) mit den Faktoren nach Tabelle RV 6.1. Hierbei ist für Doppelstäbe nur ein Stab mit Ersatzstabdurchmesser einzusetzen. Der Ersatzstabdurchmesser bestimmt sich zu $\phi_N = \sqrt{2} \cdot \phi$.

$$\kappa_{bsk} = \kappa_{b1k} \cdot \sqrt{\frac{f_{cm}^{\kappa_{b2}}}{E_s \cdot \phi^{\kappa_{b3}} \cdot (E_{Lm} \cdot t_L)^{\kappa_{b4}}}} \quad (RV 6.25)$$

Dabei ist:

- f_{cm} mittlere Zylinderdruckfestigkeit des Betons in N/mm²
- ϕ größter Betonstahldurchmesser in mm
- E_s mittlerer E-Modul der Betonstahlbewehrung in N/mm² (darf zu 200 000 N/mm² angenommen werden)
- E_{Lm} mittlerer E-Modul der Lamelle in N/mm²
- t_L Lamellendicke in mm

Tabelle RV 6.1 – Verbundkoeffizienten für CFK-Lamellen

Spalte	1	2	3
Zeile	Einbetonierte Bewehrung	Gerippt	Glatt
1	κ_{b1k}	2,545	1,292
2	κ_{b2}	1,0	1,3
3	κ_{b3}	0,8	1,0
4	κ_{b4}	0,2	0,3

RV 6.1.1.4.3 Endverankerung an einem beliebigen Zwischenrisselement

(RV 1) Alternativ darf der Endverankerungsnachweis an einem beliebigen Zwischenrisselement geführt werden. Hierbei muss ebenfalls das Versatzmaß nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9.2.1.3 bzw. 9.3.1.1, berücksichtigt werden.

(RV 2) An der Stelle dieses Biegerisses muss die einwirkende Lamellenkraft unter Berücksichtigung des Versatzmaßes kleiner als die aufnehmbare Lamellenkraft nach Gleichung (RV 6.27) sein.

$$F_{LEd} \leq F_{bLRd} \quad (\text{RV 6.26})$$

(RV 3) Die aufnehmbare Lamellenkraft darf mit Gleichung (RV 6.27) in Abhängigkeit des Rissabstandes nach Gleichung (RV 6.3) berechnet werden. Dabei ist die Verbundfestigkeit f_{bLd} nach Gleichung (RV 8.10) zu bestimmen, wobei statt l_{bL} der Rissabstand s_r einzusetzen ist.

$$F_{bLRd} = b_L \cdot t_L \cdot f_{bLd}(s_r) \quad (\text{RV 6.27})$$

(RV 4) Bei der Ermittlung der einwirkenden Lamellenkraft darf die Vordehnung der Bewehrung aus der Belastung während des Verstärkens nur berücksichtigt werden, wenn sich das Bauteil an der Stelle des Endverankerungsnachweises bereits vor dem Verstärken im gerissenen Zustand befindet.

RV 6.1.1.4.4 Endverankerung mit Bügelumschließung

RV 6.1.1.4.4.1 Allgemeines

(RV 1) Falls die Lamelle durch einen oder mehrere aufgeklebte Bügel umschlossen ist, muss lediglich nachgewiesen werden, dass die Lamellenkraft am letzten aufgeklebten Bügel kleiner ist als die Widerstandskraft nach Gleichung (RV 6.28). Hierbei muss ebenfalls das Versatzmaß nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9.2.1.3 bzw. 9.3.1.1, berücksichtigt werden.

$$F_{bLRd} = b_L \cdot t_L \cdot f_{bLd}(l_{bL}) + \frac{\Delta F_{L,1}}{\gamma_{BA}} \quad (\text{RV 6.28})$$

(RV 2) Die Verbundlänge in Gleichung (RV 6.28) ist nach Bild RV 6.5 zu bestimmen. Die mögliche Steigerung der Lamellenkraft $\Delta F_{L,1}$ durch die Bügelumschließung darf nach Abschnitt RV 6.1.1.4.4.2 berechnet werden.

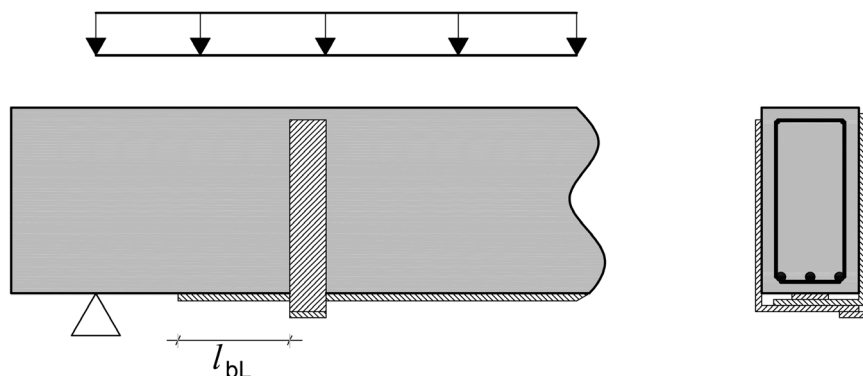


Bild RV 6.5 – Verbundlänge bei umschlossenen CFK-Lamellen

RV 6.1.1.4.4.2 Verbundkrafterhöhung durch Bügelumschließung

Berechnung von $\Delta F_{L,1}$ für CFK-Lamellen oder Stahllaschen mit Stahlbügelumschließungen

(RV 1) Voraussetzung für die Anwendung der Verbundkrafterhöhung infolge der Bügelumschließung sind Stahllaschenbügel, die nach Abschnitt RV 9.2.7. ausgeführt worden sind. Für Umschließungen aus CF-Gelegen sind Regelungen in der entsprechenden Zulassung erforderlich. Die Biegezug-Stahllaschen/CFK-Lamellen müssen bei Anwendung der Verbundkrafterhöhung symmetrisch zur Stegachse angeordnet sein.

(RV 2) Bei zwei oder mehreren CFK-Lamellen oder Stahllaschen bezieht sich die Verbundkrafterhöhung $\Delta F_{L,1}$ auf die Summe der Lamellenkräfte.

(RV 3) Die aufnehmbare Steigerung $\Delta F_{L,1}$ der Lamellenzugkraft berechnet sich unter Berücksichtigung der Rissöffnungsbehinderung durch die Umschließung mit Gleichung (RV 6.29).

$$\Delta F_{L,1} = \frac{t_L \cdot b_L \cdot b_{LW}}{120} \cdot \frac{\sqrt{f_{ctm,surf}}}{1,33} \cdot \left[230 \cdot \kappa_1 \cdot \frac{F_u(\alpha_b)}{b_L \cdot b_{LW}} - 23 \cdot \left(\kappa_1 \cdot \frac{F_u(\alpha_b)}{b_L \cdot b_{LW}} \right)^2 \right] \quad (RV 6.29)$$

Dabei ist:

- t_L Dicke der Lamelle [mm]
- b_L Breite der Lamelle [mm]
- b_{LW} Breite des Umschließungsbügels [mm]
- $\kappa_1 = 1$ für Stahl- oder CFK-Querschnitte aus einer Lasche oder Lamelle
- $\kappa_1 = 0,48$ für zwei oder mehr nebeneinander verklebte CFK-Lamellenquerschnitte
- $\kappa_1 = 0,52$ für zwei oder mehr nebeneinander verklebte Stahllaschenquerschnitte
- $F_u(\alpha_b)$ gemäß Gleichung (RV 6.31) [N]

(RV 4) Eine Verbundbruchkrafterhöhung infolge der Bügelumschließung darf für alle Werte von $0,4 \leq \alpha_b = b_L / b_w \leq 0,8$ angesetzt werden. Für alle Werte von $\alpha_b \leq 0,4$ kann $\Delta F_{L,1}$ nicht angesetzt werden. Für alle Werte von $\alpha_b > 0,8$ gilt die Grenzwertberechnung von $\alpha_b = 0,8$.

(RV 5) Bei einer Verklebung mehrerer Biegezug-Stahllaschen/CFK-Lamellen mit dem Achsabstand s_L darf α_b mit einer äquivalenten Lamellen- bzw. Laschenbreite $b_{L,eff}$ berechnet werden. Die äquivalente Breite ergibt sich aus dem maximalen Randabstand der Biegezugverstärkung gemäß Bild RV 6.6. Bei Anwendung dieser effektiven Lamellen- bzw. Laschenbreite muss die aufnehmbare Steigerung $\Delta F_{L,1,eff}$ als Ergebnis aus Gleichung (RV 6.29) noch mit dem Verhältnis aus wirklicher Lamellenbreite zur effektiven Lamellenbreite gemäß Gleichung (RV 6.30) abgemindert werden.

$$\Delta F_{L,1} = \Delta F_{L,1,eff} \cdot \frac{\sum b_L}{b_{L,eff}} \quad (RV 6.30)$$

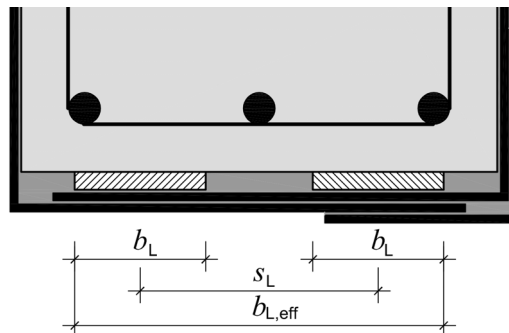


Bild RV 6.6 – Unterzugsquerschnitt mit mehreren aufgetragenen CFK-Lamellen oder Stahllaschen

(RV 6) Nach Bestimmung der Gesamtbügelsteifigkeit $EI_{S,g}$ mit Gleichung (RV 6.39) und Gleichung (RV 6.40) gegebenenfalls unter Berücksichtigung des Schlusswinkels und einer Klebschichtdicke von $t_G \geq 1$ mm zwischen den Stahlbügelumschließungen, wird für alle α_b -Werte von $0,4 \leq \alpha_b \leq 0,8$ die Rissöffnungsbehinderung $F_u(\alpha_b)$ über Gleichung (RV 6.31) ermittelt. Die Kraft zur Rissöffnungsbehinderung muss bei den Einwirkungen auf die Bügel berücksichtigt werden.

$$F_u(\alpha_b) = F_{u,2} \cdot \left(\frac{0,8 - \alpha_b}{0,4} \right) + F_{u,4} \cdot \left(\frac{\alpha_b - 0,4}{0,4} \right) \quad [\text{N}] \quad (\text{RV 6.31})$$

Dabei ist:

- $\alpha_b = b_L / b_w$
- b_w Breite des Unterzugs [mm]
- $F_{u,2}$ gemäß Gleichung (RV 6.32) [N]
- $F_{u,4}$ gemäß Gleichung (RV 6.34) [N]

(RV 7) Die Berechnung der Rissöffnungsbehinderung $F_{u,2}$ erfolgt mit Gleichung (RV 6.32).

$$F_{u,2} = \frac{2 \cdot 24 \cdot EI_{S,g,\alpha_b=0,4}}{(3 \cdot \alpha - 4 \cdot \alpha^3) \cdot l_2^3} \cdot w_1 + \frac{26400 \cdot EI_{S,g,\alpha_b=0,4}}{11000 \cdot l_1^3 + 2,4 \cdot EI_{S,g,\alpha_b=0,4}} \quad [\text{N}] \quad \alpha = \frac{0,3 \cdot b_w - 20}{b_w - 40} \quad (\text{RV 6.32})$$

$$w_1 = w - \left(1 - \frac{EI_{S,g,\alpha_b=0,4}}{4583 \cdot l_1^3 + EI_{S,g,\alpha_b=0,4}} \right) \cdot 0,1 \quad [\text{mm}] \quad (\text{RV 6.33})$$

Dabei ist:

- $l_1 = 0,3 \cdot b_w - 20 \quad [\text{mm}]$
- $l_2 = b_w - 40 \quad [\text{mm}]$
- $w = 0,35$ für CFK-Lamellen
- $w = 0,25$ für Stahllaschen
- $EI_{S,g,\alpha_b=0,4}$ bei Verwendung eines Schlusswinkels nach (RV 12)
- ohne Schlusswinkel nach (RV 13)

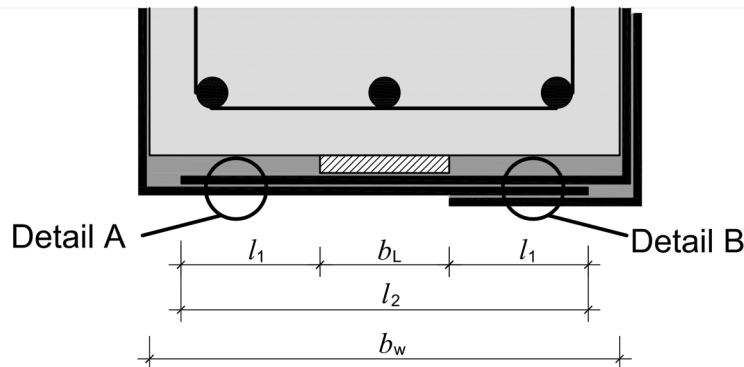


Bild RV 6.7 – Unterzugsquerschnitt mit aufgeklebter CFK-Lamelle oder Stahllasche bei $\alpha_b = 0,4$

(RV 8) Die Berechnung der Rissöffnungsbehinderung $F_{u,4}$ erfolgt mit Gleichung (RV 6.34).

$$F_{u,4} = \frac{48 \cdot EI_{S,g,\alpha_b=0,8}}{l_4^3} \cdot w_2 + \frac{26400 \cdot EI_{S,g,\alpha_b=0,8}}{11000 \cdot l_3^3 + 2,4 \cdot EI_{S,g,\alpha_b=0,8}} \quad [\text{N}] \quad (\text{RV 6.34})$$

$$w_2 = w - \left(1 - \frac{EI_{S,g,\alpha_b=0,8}}{4583 \cdot l_3^3 + EI_{S,g,\alpha_b=0,8}} \right) \cdot 0,1 \quad [\text{mm}] \quad (\text{RV 6.35})$$

Dabei ist:

- $l_3 = 20 + l_{LW} \quad [\text{mm}]$
- $l_4 = 2 \cdot l_3 \quad [\text{mm}]$
- $w = 0,35$ für CFK-Lamellen
- $w = 0,25$ für Stahllaschen
- $EI_{S,g,\alpha_b=0,8}$ bei Verwendung eines Schlusswinkels nach (RV 12)
- ohne Schlusswinkel nach (RV 13)

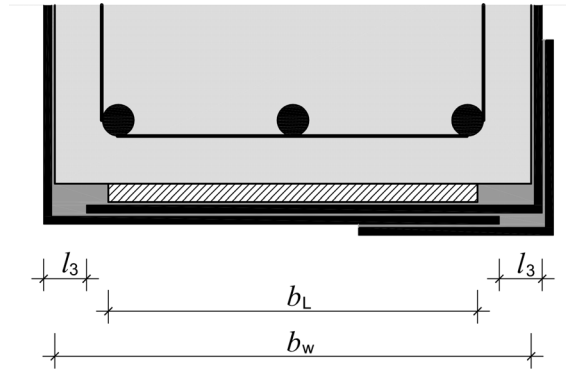


Bild RV 6.8 – Unterzugsquerschnitt mit aufgeklebter CFK-Lamelle oder Stahlflasche bei $\alpha_b = 0,8$

Gesamtbiegesteifigkeit $EI_{S,g}$

(RV 9) Die Biegesteifigkeit $EI_{S,j}$ setzt sich aus der Steifigkeit des Umschließungsbügels EI_S und der des Klebstoffes EI_G je Verbundbereich zusammen. Da die Biegesteifigkeit der Klebstoffuge sehr gering ist, wird sie in der weiteren Berechnung vernachlässigt. Die Biegesteifigkeit EI_S eines Verbundbereiches (Detail A oder Detail B) errechnet sich über Gleichung (RV 6.36).

$$EI_S = \sum E_S \cdot (I_S + A_S \cdot z_S^2) \quad (\text{RV 6.36})$$

Dabei ist:

- I_S Flächenträgheitsmoment eines Stahlbügels [mm⁴]
- A_S Querschnittsfläche eines Stahlbügels [mm²]
- E_S E-Modul des Stahlbügels [N/mm²]
- z_S Abstand der Schwerlinie des Stahlquerschnitts zum Gesamtquerschnitt [mm]

(RV 10) Die Berechnung der Biegesteifigkeit im Bereich A mit zwei Stahlquerschnitten führt über Gleichung (RV 6.37) zur Steifigkeit $EI_{S,A}$:

Detail A

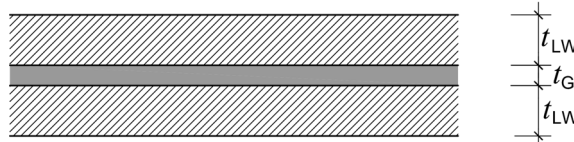


Bild RV 6.9 – Detail A zur Berechnung der Biegesteifigkeit im Bereich A

$$EI_{S,A} = 2 \cdot E_S \cdot (I_S + A_S \cdot z_S^2) \quad (\text{RV 6.37})$$

Dabei ist:

$$z_S = \frac{1}{2} \cdot t_{LW} + 0,5 \quad [\text{mm}]$$

(RV 11) Für den Bereich B mit 3 Stahlbügelquerschnitten und 2 Klebstoffugen erfolgt die Berechnung von $EI_{S,B}$ nach Gleichung (RV 6.38).

Detail B

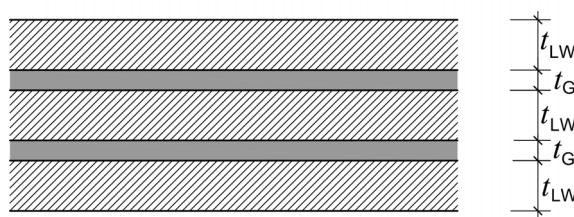


Bild RV 6.10 - Detail B zur Berechnung der Biegesteifigkeit im Bereich B

$$EI_{S,B} = 2 \cdot E_S \cdot (I_S + A_S \cdot z_S^2) + E_S I_S \quad (\text{RV 6.38})$$

Dabei ist:

$$z_S = t_{LW} + 1 \quad [\text{mm}]$$

(RV 12) Die Gesamtbiegesteifigkeit $EI_{S,g}$ des Umschließungsbügels bei unterschiedlichen Steifigkeiten der einzelnen Bügelabschnitte wird für $\alpha_b = 0,4$ nach Gleichung (RV 6.39) und für $\alpha_b = 0,8$ nach Gleichung (RV 6.40) bestimmt.

$$EI_{S,g,\alpha_b=0,4} = 2 \cdot \frac{EI_{S,A} \cdot EI_{S,B}}{EI_{S,A} + EI_{S,B}} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (\text{RV 6.39})$$

$$EI_{S,g,\alpha_b=0,8} = 2 \cdot \frac{EI_{S,A} \cdot E_S I_S}{EI_{S,A} + E_S I_S} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (\text{RV 6.40})$$

(RV 13) Besitzen die Bügelabschnitte A und B dieselbe Steifigkeit und wird somit kein Schlusswinkel verwendet, so errechnet sich die Steifigkeit $EI_{S,g,\alpha_b=0,4}$ nach Gleichung (RV 6.40). Für die Steifigkeit $EI_{S,g,\alpha_b=0,8}$ wird die gleiche Bügelsteifigkeit angesetzt.

RV 6.1.1.4.5 Mechanische Verankerungen

(RV 1) Zur Steigerung der Endverankerungskraft können bei aufgeklebten CFK-Lamellen mechanische Endverankerungssysteme mit entsprechender Zulassung eingesetzt werden.

(RV 2) Der Nachweis der Endverankerung darf bei Anwendung einer mechanischen Verankerung mit dem Nachweis nach Abschnitt RV 6.1.1.4.4 dieser Richtlinie geführt werden. In diesem Nachweis ist für F_{bLRd} die verankerbare Kraft des Endverankerungssystems anzusetzen.

(RV 3) Die verankerbaren Kräfte der mechanischen Verankerungen können auch als maximale Lamellenkraft in einem Nachweis der Biegetragfähigkeit nach Abschnitt RV 6.1.1.3.2 angesetzt werden. Hierbei sind jedoch die Dehnungen der Lamelle im GZG nach Abschnitt 7.2 (RV 10) nachzuweisen. Alternativ darf ein Nachweis des Verbundes unter seltener Einwirkungskombination entsprechend Abschnitt 7.2 (RV 11) geführt werden.

RV 6.1.1.5 Örtliche Verstärkungen

(RV 1) Bei örtlichen Verstärkungen muss die Verbundlänge beiderseits des Bereiches der erforderlichen Verstärkung jeweils mindestens der Bauteildicke zuzüglich der Verankerungslänge $l_{bL,max}$ nach Gleichung (RV 8.11) entsprechen. Der Klebeverstärkung dürfen nur Zugkräfte in Höhe der maximal am Einzelriss aufnehmbaren Verbundbruchkraft $F_{bLRd,max}$ nach Gleichung (RV 6.41) zugewiesen werden.

$$F_{bLRd,max} = \frac{f_{bLk,max} \cdot b_L \cdot t_L}{\gamma_{BA}} \quad (\text{RV 6.41})$$

(RV 2) Falls die geklebte Bewehrung durch Bügel umschlossen ist, dürfen der Klebeverstärkung Zugkräfte in Höhe der am Einzelriss aufnehmbaren Verbundbruchkraft unter Anrechnung der Verbundkafterhöhung durch die Bügelumschließung nach Gleichung (RV 6.28) zugewiesen werden.

RV 6.1.2 Verstärkung mit aufgeklebten Stahllaschen bei überwiegend biegebeanspruchten Bauteilen

RV 6.1.2.1 Grundlagen

(RV 1) Neben der Biegetragfähigkeit nach Abschnitt RV 6.1.2.2 und dem Verbundnachweis nach Abschnitt RV 6.1.2.3 muss auch die Querkrafttragfähigkeit nach Abschnitt 6.2 sowie die Vermeidung des Versatzbruches nach Abschnitt RV 6.2.7 nachgewiesen werden.

(RV 2) Alternativ zum Verbundnachweis nach Abschnitt RV 6.1.2.3 kann ebenfalls ein Nachweis analog zu Abschnitt RV 6.1.1.4.4 erfolgen, falls die Widerstandskraft nach Gleichung (RV 6.28) größer gleich der maximalen Zugkraft im Gesamtsystem ist.

$$F_{bLRd} \geq F_{Ld,max} \geq f_{Lyd} \cdot A_L \quad (\text{RV 6.42})$$

RV 6.1.2.2 Nachweis der Biegetragfähigkeit

(RV 1) Innerhalb der Fließgrenze der Stahllaschen darf im Grenzzustand der Tragfähigkeit die volle Mitwirkung der vorhandenen Bewehrung und der Stahllaschen angenommen werden, sofern die Verbundnachweise erbracht sind. Der Dehnungszustand der vorhandenen Bewehrung von Stahlbetonbauteilen zum Zeitpunkt der Klebung darf hierfür unter Annahme des gerissenen Zustandes ermittelt werden. Die Längsschubkraft gegliederter Querschnitte ist gemäß DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.4, nachzuweisen.

(RV 2) Für die Stahllaschen darf zur Berechnung ein E-Modul von 200 000 N/mm² angesetzt werden.

(RV 3) Die Dehnung der Stahllaschen darf 3 mm/m nicht überschreiten.

RV 6.1.2.3 Verbundnachweis

(RV 1) Der Nachweis muss an der Stelle des Biegerisses, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, geführt werden. Dieser Biegeriss befindet sich an der Stelle, an der das Biegemoment gleich dem Rissmoment nach Gleichung (RV 6.5) ist (siehe auch Bild RV 6.11). Die Stelle des Biegerisses, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, ist unter Bemessungslasten im Grenzzustand der Tragfähigkeit und ohne Berücksichtigung des Versatzmaßes zu ermitteln.

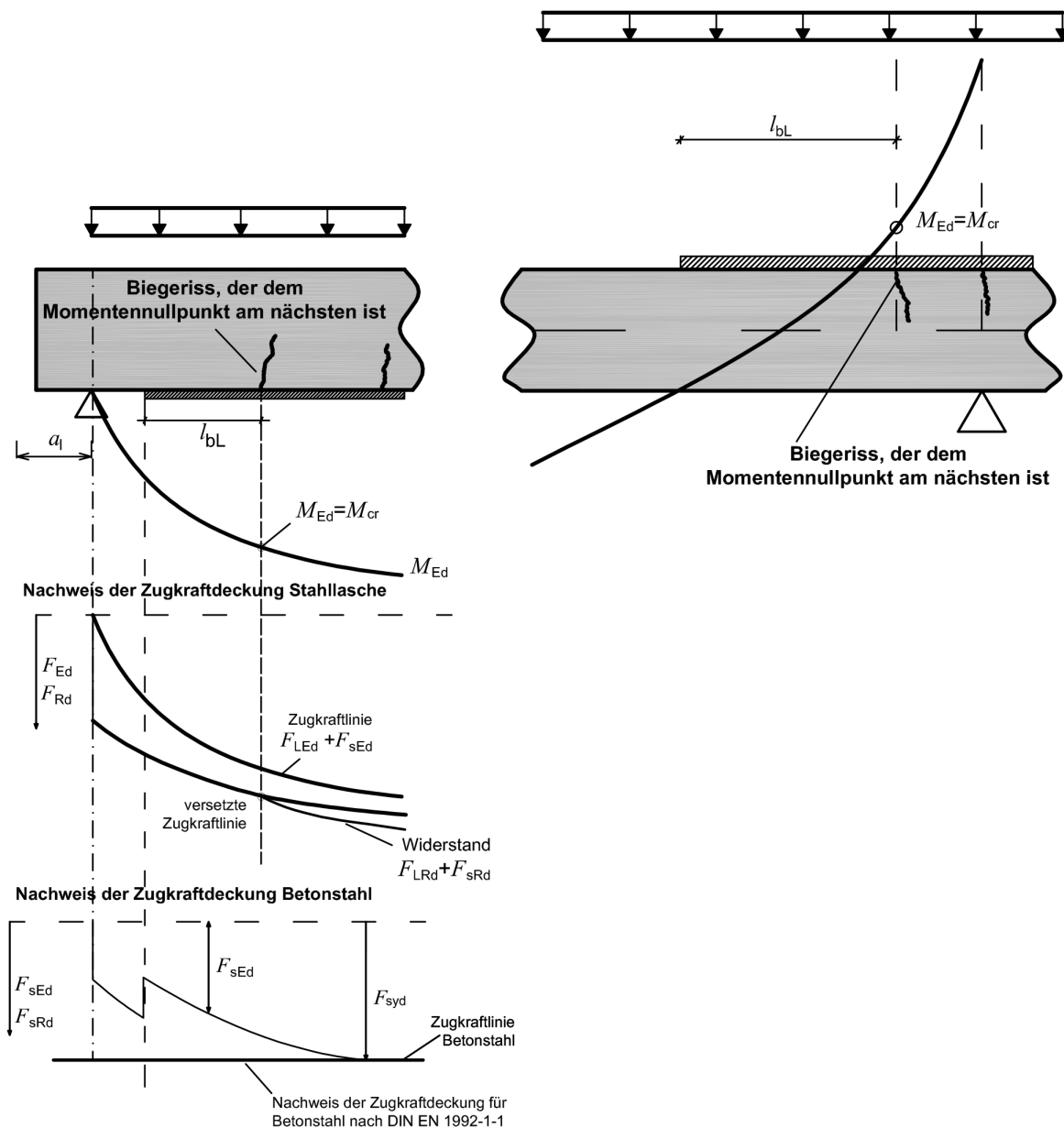


Bild RV 6.11 – Schematische Darstellung des Endverankerungsnachweises für Stahllaschen

(RV 2) Die Vordehnung der Bewehrung aus der Belastung während des Verstärkens ist bei diesem Nachweis nicht zu berücksichtigen.

(RV 3) An der Stelle des Biegerisses, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, muss das Moment kleiner als das aufnehmbare Moment nach Gleichung (RV 6.43) sein, dabei muss das Versatzmaß nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9.2.1.3 bzw. 9.3.1.1, berücksichtigt werden.

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}(l_{bL}) \quad (\text{RV 6.43})$$

(RV 4) Das aufnehmbare Moment ist in Abhängigkeit der Dehnungen der Bewehrungsstränge zu berechnen. Die Druckzonenhöhe sowie der innere Hebelarm dürfen an der Stelle des Biegerisses, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, näherungsweise mit den Gleichungen nach Anhang RV L.1 bestimmt werden.

$$M_{Rd}(l_{bL}) = \varepsilon_{LRk}^a(l_{bL}) \cdot E_{Lm} \cdot A_L \cdot z_L^a \cdot \frac{1}{\gamma_{BA}} + \varepsilon_{SRk}^a(l_{bL}) \cdot E_s \cdot A_s \cdot z_s^a \cdot \frac{1}{\gamma_s} \quad (\text{RV 6.44})$$

(RV 5) Die Dehnungen der Stahllaschen berechnen sich nach Gleichung (RV 6.45).

$$\varepsilon_{LRk}^a(l_{bL}) = \begin{cases} \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{l_{bL}}{l_{bL,lim}}\right) \cdot \varepsilon_{LRk,lim} & \text{für } 0 < l_{bL} < l_{bL,lim} \leq f_{Lyk}/E_L \\ \varepsilon_{LRk,lim} & \text{für } l_{bL,lim} \leq l_{bL} \end{cases} \quad (\text{RV 6.45})$$

Mit der Grenzdehnung in Abhängigkeit der maximalen Verbundfestigkeit nach Abschnitt RV 8.4.6

$$\varepsilon_{LRk,lim}^a = 0,906 \cdot \frac{f_{bLk,max}}{E_{Lm}} \quad (\text{RV 6.46})$$

und der zugehörigen Verankerungslänge in Abhängigkeit der effektiven Verbundlänge nach Abschnitt RV 8.4.6.

$$l_{bL,lim} = 0,79 \cdot l_{bL,max} \quad (\text{RV 6.47})$$

(RV 6) Die Dehnungen der Betonstahlbewehrung berechnen sich nach Gleichung (RV 6.48) mit dem Faktor $\alpha_N = 0,25$ für gerippten Betonstahl und $\alpha_N = 0$ für Glattstahl. Bei guten Verbundbedingungen ist in Gleichung (RV 6.48) $\kappa_{vb} = 1$ und bei mäßigen Verbundbedingungen $\kappa_{vb} = 0,7$ einzusetzen.

$$\varepsilon_{SRk}^a(l_{bL}) = \kappa_{VB} \cdot \kappa_{bsk} \cdot \left(s_{Lr}^a(l_{bL})\right)^{(\alpha_N+1)/2} \cdot \left(\frac{d^a - x^a}{d_L^a - x^a}\right)^{(\alpha_N+1)/2} \leq f_{yk}/E_s \quad (\text{RV 6.48})$$

Dabei ist:

s_{Lr}^a	Schlupf der Lamelle in mm nach Gleichung (RV 6.24)
d^a	statische Nutzhöhe der inneren Bewehrung in mm
d_L^a	statische Nutzhöhe der aufgeklebten Bewehrung in mm
x^a	Druckzonenhöhe in mm

(RV 7) Dabei errechnet sich der Schlupf der Lamelle nach Gleichung (RV 6.49).

$$s_{Lr}^a(l_{bL}) = \begin{cases} 0,195 \text{ mm} \cdot \left(1 - 0,82 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{l_{bL}}{l_{bL,lim}}\right)\right) & \text{für } 0 < l_{bL} \leq l_{bL,lim} \\ 0,195 \text{ mm} + (l_{bL} - l_{bL,lim}) \cdot \varepsilon_{LRk,lim}^a & \text{für } l_{bL,lim} \leq l_{bL} \end{cases} \quad (\text{RV 6.49})$$

(RV 8) Der Verbundkoeffizient für die einbetonierte Bewehrung ergibt sich nach Gleichung (RV 6.50) mit den Faktoren nach Tabelle RV 6.2. Hierbei ist für Doppelstäbe nur ein Stab mit Ersatzstabdurchmesser einzusetzen. Der Ersatzstabdurchmesser bestimmt sich zu $\phi_N = \sqrt{2} \cdot \phi$.

$$\kappa_{bsk} = \kappa_{b1k} \cdot \sqrt{\frac{f_{cm}^{\kappa_{b2}}}{E_s \cdot \phi^{\kappa_{b3}} \cdot (E_{Lm} \cdot t_L)^{\kappa_{b4}}}} \quad (\text{RV 6.50})$$

Dabei ist:

f_{cm}	mittlere Zylinderdruckfestigkeit des Betons in N/mm ²
ϕ	größter Betonstahldurchmesser in mm
E_s	mittlerer E-Modul der Betonstahlbewehrung (kann zu 200 000 N/mm ² angenommen werden) in N/mm ²
E_{Lm}	mittlerer E-Modul der Lamelle in N/mm ²
t_L	Lamellendicke in mm

Tabelle RV 6.2 – Verbundkoeffizienten für Stahlflaschen

Spalte	1	2	3
Zeile	Einbetonierte Bewehrung	Gerippt	Glatt
1	κ_{b1k}	11,9	7,7
2	κ_{b2}	1,2	1,8
3	κ_{b3}	0,7	1,0
4	κ_{b4}	0,5	0,7

RV 6.1.2.4 Örtliche Verstärkungen

(RV 1) Bei örtlichen Verstärkungen muss die Verbundlänge beiderseits des Bereiches der erforderlichen Verstärkung jeweils mindestens der Bauteildicke zuzüglich der Verankerungslänge $l_{bL,max}$ nach Gleichung (RV 8.11) entsprechen. Der Klebeverstärkung dürfen nur Zugkräfte in Höhe der maximal am Einzelriss aufnehmbaren Verbundbruchkraft $F_{bLRd,max}$ nach Gleichung (RV 6.51) zugewiesen werden.

$$F_{bLRd,max} = \frac{f_{bLk,max} \cdot b_L \cdot t_L}{\gamma_{BA}} \quad (RV 6.51)$$

(RV 2) Falls die geklebte Bewehrung durch Bügel umschlossen ist, dürfen der Klebeverstärkung Zugkräfte in Höhe der am Einzelriss aufnehmbaren Verbundbruchkraft unter Anrechnung der Verbundkrafterhöhung durch die Bügelumschließung nach Gleichung (RV 6.28) zugewiesen werden.

RV 6.1.3 Biegeverstärkung mit in Schlitze verklebten CFK-Lamellen

RV 6.1.3.1 Grundlagen

(RV 1) Neben dem Nachweis der Biegung nach Abschnitt RV 6.1.3.2 und dem Nachweis der Verankerung nach Abschnitt RV 6.1.3.3 muss auch der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit nach Abschnitt 6.2 sowie der Nachweis der Vermeidung des Versatzbruches nach Abschnitt RV 6.2.7 geführt werden.

(RV 2) Falls die Biegeverstärkung für nicht vorwiegend ruhende Belastungen bemessen werden soll, muss zusätzlich der Nachweis der Ermüdung nach Abschnitt RV 6.8.10 geführt werden.

RV 6.1.3.2 Nachweis der Biegetragfähigkeit

(RV 1) Die Dehnung der CFK-Lamelle darf den Wert $\varepsilon_{LRd,max}$ nach Gleichung (RV 6.52) nicht überschreiten.

$$\varepsilon_{LRd,max} \leq \kappa_\varepsilon \cdot \varepsilon_{Lud} \quad (RV 6.52)$$

Dabei ist:

$$\kappa_\varepsilon = 0,8$$

(RV 2) Die statische Nutzhöhe d_L der CFK-Lamellen ist nach Gleichung (RV 6.53) anzunehmen.

$$d_L = h - \left(t_s - \frac{b_L}{2} \right) \quad (RV 6.53)$$

(RV 3) Die maximale Zugkraft bestimmt sich unter Berücksichtigung des Faktors κ_ε mit Gleichung (RV 6.54).

$$F_{LRd} = \kappa_\varepsilon \cdot \frac{f_{Luk}}{\gamma_{LL}} \cdot A_L \quad (RV 6.54)$$

(RV 4) Innerhalb der Grenzdehnungen nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.1, sowie Abschnitt RV 6.1.3.2 (RV 1) dieser Richtlinie 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.

RV 6.1.3.3 Nachweis der Verbundtragfähigkeit, Zugkraftdeckung

(RV 1) Die Zugkraftdeckung ist für den Grenzzustand der Tragfähigkeit über die gesamte Bauteillänge nachzuweisen (Bild RV 6.12). Hierfür ist die Zugkraftlinie unter Berücksichtigung des Versatzmaßes nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9.2.1.3 (2) bzw. 9.3.1.1 (4), zu ermitteln. Unterschiedliche Dehnungen der einzelnen Bewehrungslagen sowie Abstufungen des Betonstahlquerschnitts sind zu berücksichtigen. Die über Verbundwirkung zwischen CFK-Lamelle und Betonbauteil verankerbare Lamellenzugkraft ist für Verbundlängen l_b bis 115 mm nach Gleichung (RV 6.55), für größere Verbundlängen nach Gleichung (RV 6.56) zu bestimmen.

$$\text{Für } l_{bL} \leq 115 \text{ mm: } F_{bLRd} = b_L \cdot \tau_{bLd} \cdot \sqrt[4]{a_r} \cdot l_{bL} \cdot (0,4 - 0,0015 \cdot l_{bL}) \cdot 0,95 \quad (\text{RV 6.55})$$

$$\text{Für } l_{bL} > 115 \text{ mm: } F_{bLRd} = b_L \cdot \tau_{bLd} \cdot \sqrt[4]{a_r} \cdot \left(26,2 + 0,065 \cdot \tanh\left(\frac{a_r}{70}\right) \cdot (l_{bL} - 115) \right) \cdot 0,95 \quad (\text{RV 6.56})$$

Dabei ist:

F_{bLRd}	Bemessungswert der Verbundtragfähigkeit pro Lamelle in N
l_{bL}	Verankerungslänge der Lamelle nach Bild RV 6.12 in mm
τ_{bLd}	Bemessungswert der Schubtragfähigkeit des Klebstoffs nach Gleichung (RV 8.12)
b_L	Breite der CFK-Lamelle in mm
a_r	Abstand der Lamellenlängsachse zum freien Bauteilrand in mm, a_r darf höchstens mit 150 mm angesetzt werden

(RV 2) 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 darf nach Bild RV 6.12 unter Beachtung der relevanten Bestimmungen nach EN 1992-1-1, Abschnitt 9.2.1.3 (2) bzw. 9.3.1.1 (4), 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 RV 6.12 vereinfachend bis zum Punkt A), nach EN 1992-1-1 zu führen.

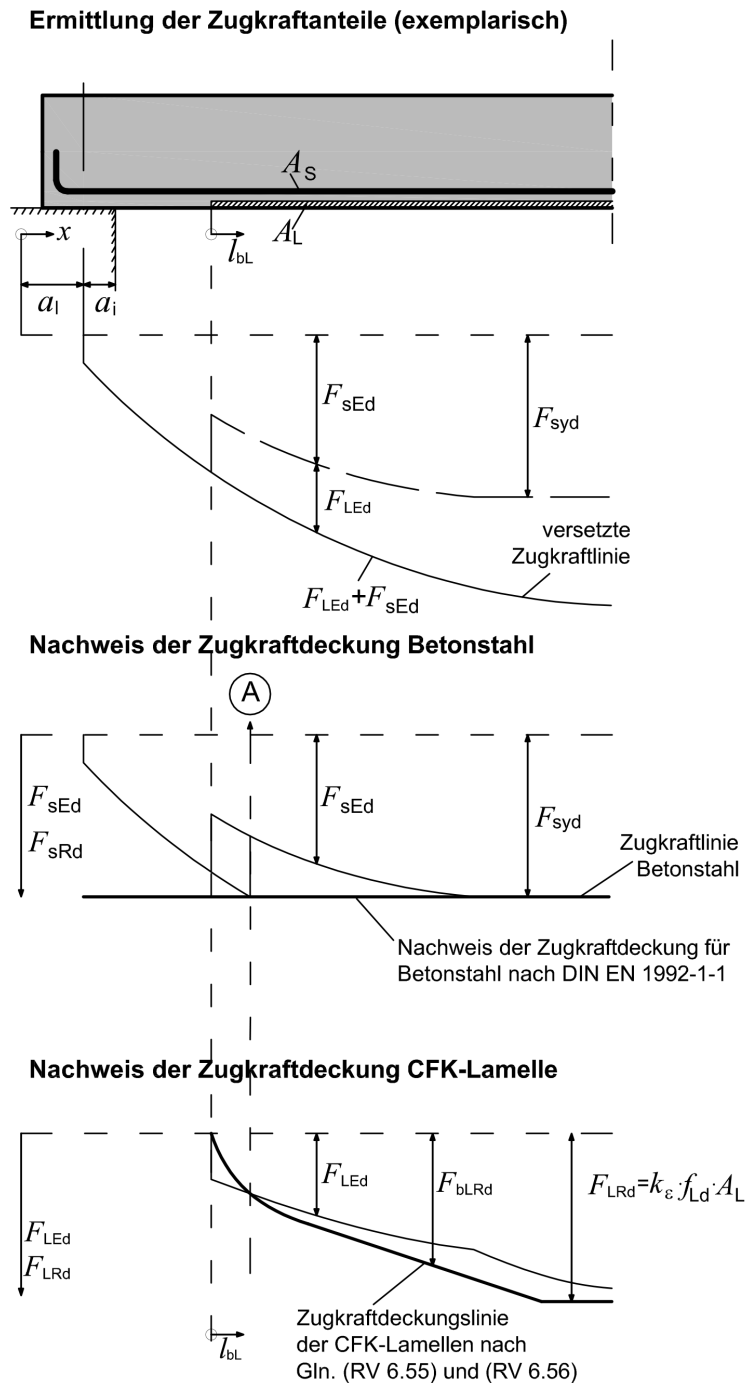


Bild RV 6.12 – Verankerungsnachweis der in Schlitze verklebten CFK-Lamellen

RV 6.1.4 Stützenverstärkung durch Umschnürung

RV 6.1.4.1 Allgemeines

(RV 1) Eine Umschnürung kann genutzt werden, um konstruktiv erforderliche Querbewehrung zu ergänzen und damit die Anwendung der Berechnung nach DIN EN 1992-1-1 zu ermöglichen (siehe Abschnitt 9.5).

(RV 2) Die Umschnürung kann für Rundstützen darüber hinaus auch zur Aktivierung der mehraxialen Festigkeit des Stützenbetons verwendet werden. Ein entsprechendes Berechnungsverfahren wird im folgenden Abschnitt RV 6.1.4.2 beschrieben.

(RV 3) Umschnürte Druckglieder verkürzen sich infolge der höheren Belastung stärker als bügelbewehrte Stahlbetondruckglieder. Die Auswirkungen dieser größeren Verformungen auf angrenzende Bauteile sind gegebenenfalls zu beachten.

RV 6.1.4.2 Rundstützen mit Aktivierung der mehraxialen Festigkeit

(RV 1) Zur Sicherstellung einer Aktivierung der mehraxialen Festigkeit des Betons darf die rechnerische Dicke t_L , die sich aus der Gelegedicke multipliziert mit der Zahl der Lagen ergibt, den Wert aus Gleichung (RV 6.57) nicht unterschreiten.

$$t_L \geq \frac{k_0 \cdot D \cdot f_{cm}^2}{E_L} \quad (\text{RV 6.57})$$

(RV 2) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit N_{Rd} von Stahlbetonstützen mit kreisförmigem Querschnitt, rotationssymmetrisch angeordneter Betonstahlhänagsbewehrung und vollflächiger Umschnürung mit Kohlenstofffasergelegen nach Abschnitt RV 9.5.4, die durch exzentrisch wirkende Normalkräfte beansprucht werden, darf für die Randbedingungen (RV 6.58), (RV 6.59), (RV 6.60) und (RV 6.61) mit den Gleichungen (RV 6.62) und (RV 6.63) ermittelt werden.

$$D \geq 120 \text{ mm} \quad (\text{RV 6.58})$$

$$\lambda \leq 40 \quad (\text{RV 6.59})$$

$$\frac{e_0}{D} \leq 0,25 \quad (\text{RV 6.60})$$

$$f_{cm} \leq 58 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{RV 6.61})$$

(RV 3) Die Faktoren k_0 bis k_9 stellen bausatzspezifische Werte dar, die aus der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zu entnehmen sind. Richtwerte für eine Vordimensionierung können Anhang RV K entnommen werden.

(RV 4) Die geometrischen Größen des umwickelten Stützenquerschnitts können nach Bild RV 6.13 bestimmt werden.

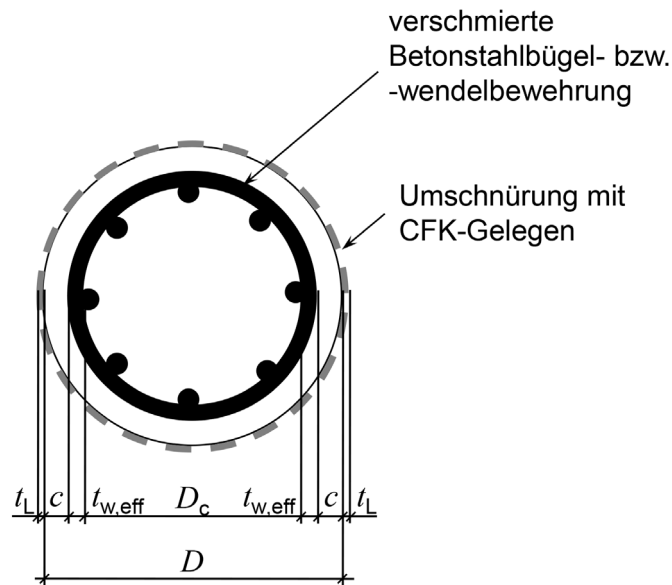


Bild RV 6.13 – Querschnitt der umschnürten Stahlbetonstütze

(RV 5) Die Tragfähigkeit der Stütze darf mit Gleichung (RV 6.62) berechnet werden. Dazu ist der bezogene Winkel θ , der die Lage des Spannungsblocs im umschnürten Querschnitt unter Berücksichtigung zeitabhängiger Effekte und Theorie 2. Ordnung beschreibt, nach Bild RV 6.14 zu ermitteln. Der Winkel θ ist für eine kombinierte Einwirkung aus den Bemessungswerten der Normalkraft N_{Ed} und des Biegemoments M_{Ed} nach Theorie 1. Ordnung mit den Gleichungen (RV 6.62) und (RV 6.63) iterativ zu ermitteln.

$$N_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{LG}} \cdot \theta \cdot \alpha_1 \cdot f_{cck} \cdot A_c \cdot \left(1 - \frac{\sin(2 \cdot \pi \cdot \theta)}{2 \cdot \pi \cdot \theta} \right) + \frac{1}{\gamma_s} \cdot (\theta_c - \theta_t) \cdot f_{yk} \cdot A_s \quad (\text{RV 6.62})$$

$$N_{Rd} \cdot \left(e_{tot} + \frac{l^2}{\pi^2} \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \phi_{bal} \cdot K_{\phi} \right) = \frac{1}{\gamma_{LG}} \cdot \frac{2}{3} \cdot \alpha_1 \cdot f_{cck} \cdot A_c \cdot \frac{D}{2} \cdot \left(\frac{\sin^3(\pi \cdot \theta)}{\pi} \right) + \frac{1}{\gamma_s} \cdot f_{yk} \cdot A_s \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{\sin(\pi \cdot \theta_c) + \sin(\pi \cdot \theta_t)}{\pi} \quad (RV 6.63)$$

Dabei ist:

- l Länge des Druckgliedes
- ξ_1 Faktor zur Berücksichtigung der Abnahme der Krümmung bei einem Anstieg der Druckkraft N_u
- ξ_2 Faktor zur Berücksichtigung der Geometrie des Druckgliedes und der Dehnung der Umschnürringbewehrung

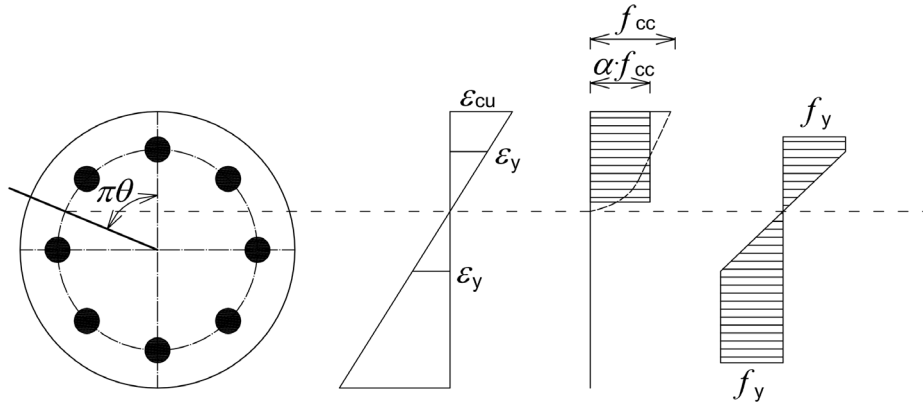


Bild RV 6.14 – Schematische Darstellung der vereinfachten Querschnittsbemessung

(RV 6) Für die Spannungs-Dehnungs-Linie der mit CF-Gelegen umschnürten, bügel- bzw. wendelbewehrten Stahlbetonstütze darf der Völligkeitsbeiwert α_1 des Spannungsblocks mit dem folgenden Ausdruck ermittelt werden.

$$\alpha_1 = 1,17 - 0,2 \cdot \frac{f_{cck}}{f_{ck}} \quad (RV 6.64)$$

(RV 7) Der charakteristische Wert der Druckfestigkeit des umschnürten Betons darf in Abhängigkeit von den Eigenschaften der CF-Gelege und der Bügel- bzw. Wendelbewehrung bestimmt werden.

$$f_{cck} = f_{ck} + k_1 \cdot \left[E_{jl} \cdot \varepsilon_{juk} + (\rho_{wy} \cdot f_{ywk} - \Delta p) \cdot \left(\frac{D_c - \frac{s_w}{2}}{D} \right)^2 \right] \quad (RV 6.65)$$

(RV 8) Die auf den Stützendurchmesser D bezogene Steifigkeit der Umschnürringbewehrung aus CF-Gelegen darf nach Gleichung (RV 6.66) ermittelt werden. Hierbei ergibt sich die rechnerische Dicke der Umschnürringbewehrung t_L aus der Anzahl der Lagen multipliziert mit der rechnerischen Gelegedicke.

$$E_{jl} = \frac{2 \cdot E_L \cdot t_L}{D} \quad (RV 6.66)$$

(RV 9) Für die Festlegung des charakteristischen Werts der Dehnung der Umschnürringbewehrung werden im Minuenden der Gleichung (RV 6.67) die Randbedingungen am Bauteil durch α_r , die Umgebungsbedingungen Temperatur und Feuchtigkeit durch α_T und α_F , die Art der Einwirkung durch α_E sowie die Dauer der Einwirkung im Grenzzustand der Tragfähigkeit durch α_Z berücksichtigt. Außerdem werden durch den Subtrahenden die tragfähigkeitsmindernden zeitabhängigen Einflüsse aus der vorhergegangenen Belastung berücksichtigt. Dazu wird die aus der Längsverformung der Stahlbetonstütze infolge Kriechens resultierende Dehnung $\varepsilon_{cc}(\Delta t)$ der CF-Gelege, die vereinfachend für eine Querdehnzahl $\nu = 0,2$ bestimmt wird, als tragfähigkeitsmindernder Eigenspannungszustand aufgefasst. Durch den Beiwert $\alpha_k = 1,5$ werden die erhöhten Streuungen der Kriechverformungen umschnürter Druckglieder berücksichtigt.

$$\varepsilon_{\text{juk}} = \alpha_r \cdot \alpha_T \cdot \alpha_F \cdot \alpha_E \cdot a_Z \cdot \varepsilon_{\text{Lk}} - \alpha_k \cdot \nu \cdot \varepsilon_{\text{cc}}(\Delta t) \quad (\text{RV 6.67})$$

$$\alpha_r = k_2 \quad (\text{RV 6.68})$$

$$\alpha_T = k_3 \quad (\text{RV 6.69})$$

$$\alpha_F = k_4 \quad (\text{RV 6.70})$$

$$\alpha_E = k_5 \quad (\text{RV 6.71})$$

$$\alpha_Z = k_6 \quad (\text{RV 6.72})$$

$$\alpha_k = 1,5 \quad (\text{RV 6.73})$$

(RV 10) Die Ansätze für das Kriechen des umschnürten Betons beruhen auf dem Kriechansatz nach DIN EN 1992-1-1, der für den mit CF-Gelegen umschnürten Beton modifiziert wurde.

$$\varepsilon_{\text{cc}}(\Delta t) = k_7 \cdot \beta_c(\Delta t) \cdot \beta(f_{\text{cm}}) \cdot \beta_{0,k} \cdot \frac{\sigma_{\text{cp}}}{E_{\text{cm}}} \quad (\text{RV 6.74})$$

(RV 11) Mit dem Ansatz für den Beiwert zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung $\beta_c(\Delta t)$ können auch kurze Restlebensdauern ab dem Zeitpunkt der Verstärkung berücksichtigt werden.

$$\beta_c(\Delta t) = 1 \quad \text{für übliche Verstärkungsaufgaben} \quad (\text{RV 6.75})$$

$$\beta_c(\Delta t) = \left[\frac{\Delta t / 1,7}{\beta_H + \Delta t / 1,7} \right]^{0,3} \quad \begin{array}{l} \text{für Verstärkungsaufgaben an Bauteilen} \\ \text{mit kurzen Restlebensdauern} \end{array} \quad (\text{RV 6.76})$$

(RV 12) Wegen der vollflächigen Umschnürung mit den CF-Gelegen darf der Wert β_H zur Beschreibung des Einflusses der Feuchtigkeit unabhängig von der Luftfeuchtigkeit angesetzt werden.

$$\beta_H = 250 \quad \text{für } f_{\text{cm}} \leq 35 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{RV 6.77})$$

$$\beta_H = 250 \cdot \alpha_3 \quad \text{für } f_{\text{cm}} > 35 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{RV 6.78})$$

$$\alpha_3 = \left[\frac{35}{f_{\text{cm}}} \right]^{0,5} \quad (\text{RV 6.79})$$

(RV 13) Der Beiwert $\beta(f_{\text{cm}})$ beschreibt den Einfluss der Betondruckfestigkeit zum Zeitpunkt der Verstärkung. Die Betondruckfestigkeit zum Zeitpunkt des Belastungsbeginns kann sich aufgrund der Nacherhärtung von der 28 Tage-Druckfestigkeit f_{cm} unterscheiden.

$$\beta(f_{\text{cm}}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{\text{cm}}}} \quad (\text{RV 6.80})$$

(RV 14) Sofern die kriechwirksame Druckspannung σ_{cp} 45 % der Betondruckfestigkeit $f_{\text{cm}}(t_{\text{V0}})$ zum Zeitpunkt der Verstärkung t_{V0} überschreitet, müssen nichtlineare Effekte berücksichtigt werden.

$$\beta_{0,k} = e^{(2,7 \cdot (\kappa_{\sigma} - 0,45))} \quad \text{für } \kappa_{\sigma} > 0,45 \quad (\text{RV 6.81})$$

$$\beta_{0,k} = 1 \quad \text{für } \kappa_{\sigma} \leq 0,45 \quad (\text{RV 6.82})$$

$$\kappa_{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{cp}}}{f_{\text{cm}}} \quad (\text{RV 6.83})$$

(RV 15) Die kriechwirksame Druckspannung wird aus den quasi-ständigen Einwirkungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, der Normalkraft N_{Eqp} und dem Moment M_{Eqp} nach Theorie 1. Ordnung unter Berücksichtigung der planmäßigen und ungewollten Ausmitte e_0 und e_i , unter Ansatz der ideellen Querschnittsgrößen A_i und I_i ermittelt.

$$\sigma_{cp} = \left| \frac{N_{Eqp}}{A_i} \right| + \left| \frac{M_{Eqp}}{I_i \cdot \frac{2}{D}} \right| \quad (RV 6.84)$$

$$A_i = A_c + (\alpha_s - 1) \cdot A_s \quad (RV 6.85)$$

$$\alpha_s = \frac{E_s}{E_{cm}} \quad (RV 6.86)$$

$$I_i = I_c + (\alpha_s - 1) \cdot \sum_j z_{js}^2 \cdot A_s^j \quad (RV 6.87)$$

(RV 16) Für die Ermittlung der linear-elastischen Verformungsbezugsgröße darf der Sekantenmodul E_{cm} des einaxial druckbeanspruchten Betons zum Zeitpunkt der Verstärkung t_{V0} nach DIN EN 1992-1-1 verwendet werden.

(RV 17) Für die Ermittlung der Umschnürungswirkung der Betonstahlbewehrung wird der bezogene Bewehrungsgrad ρ_{wy} benötigt, der mit der rechnerischen Dicke $t_{w,eff}$ der verschmierten Bügel- bzw. Wendelbewehrung ermittelt wird:

$$\rho_{wy} = \frac{2 \cdot t_{w,eff}}{D_c} \quad (RV 6.88)$$

$$t_{w,eff} = \frac{A_{sw}}{2 \cdot s_w} \quad (RV 6.89)$$

(RV 18) Wegen der unterschiedlichen Einflussflächen der Umschnürungsbewehrung aus Betonstahl und CF-Gelegen ist eine ungleichmäßige Verteilung des Querdrucks über den Querschnitt zu berücksichtigen.

$$p_1 = E_{jl} \cdot \varepsilon_{juk} \quad (RV 6.90)$$

$$p_2 = \frac{2 \cdot (E_L \cdot t_L \cdot \varepsilon_{juk} + t_{w,eff} \cdot f_{ywk}) - p_1 \cdot c}{D_c + c} \quad (RV 6.91)$$

$$\Delta p = p_1 - \frac{2 \cdot E_L \cdot t_L \cdot \varepsilon_{juk} - (p_1 + p_2) \cdot c}{D_c} \quad (RV 6.92)$$

(RV 19) Der Kennwert f_{ck}^* der vereinfachten Spannungs-Dehnungs-Linie für die Bemessung darf unter Berücksichtigung der Querdruckdifferenz Δp bestimmt werden. Dabei wird im folgenden Ausdruck durch die zweite Klammer berücksichtigt, dass sich zwischen den im Abstand s angeordneten einzelnen Schenkeln der Bügel- bzw. Wendelbewehrung Druckbögen ausbilden, die zu einer Reduzierung der wirksamen Einflussfläche dieser Umschnürungsbewehrung führen.

$$f_{ck}^* = f_{ck} + k_1 \cdot (\rho_{wy} \cdot f_{ywk} - \Delta p) \cdot \left(\frac{D_c - \frac{s_w}{2}}{D} \right)^2 \quad (RV 6.93)$$

(RV 20) Die bezogenen Winkel θ_c und θ_t beschreiben die Spannungsverteilung in der verschmiert betrachteten, rotationssymmetrisch angeordneten Betonstahllängsbewehrung.

$$0 \leq \theta_c = 1,25 \cdot \theta - 0,125 \leq 1 \quad (RV 6.94)$$

$$0 \leq \theta_t = 1,125 - 1,5 \cdot \theta \leq 1 \quad (RV 6.95)$$

(RV 21) Die Lastausmitte e_{tot} nach Theorie 1. Ordnung setzt sich zusammen aus der planmäßigen Lastausmitte e_0 und der zusätzlichen ungewollten Lastausmitte e_i nach DIN EN 1992-1-1.

$$e_{tot} = e_0 + e_i \quad (RV 6.96)$$

(RV 22) Der Faktor ξ_1 berücksichtigt näherungsweise die Abnahme der Bauteilkrümmung bei einem Anstieg der Längsdruckkraft.

$$\xi_1 = \frac{N_{\text{balk}}}{N_{\text{Rk}}} = \frac{0,8 \cdot f_{\text{cck}} \cdot A_c}{N_{\text{Rd}} \cdot \gamma_{\text{LG}}} \leq 1 \quad (\text{RV 6.97})$$

(RV 23) Durch den Faktor ξ_2 werden die Geometrie des Druckgliedes und die Dehnung aus der Umschnürrungswirkung berücksichtigt.

$$\xi_2 = 1,15 + 0,06 \cdot \rho_\varepsilon - (0,01 + 0,012 \cdot \rho_\varepsilon) \cdot \frac{l}{D} \leq 1 \quad (\text{RV 6.98})$$

$$\rho_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{juk}}}{\varepsilon_{\text{c2}}} \quad (\text{RV 6.99})$$

(RV 24) Der folgende Ausdruck für die maximale Krümmung des umschnürten Querschnitts gilt für Querschnitte mit rotationssymmetrisch angeordneter Betonstahlbewehrung.

$$\phi_{\text{bal}} = 2 \cdot \frac{\varepsilon_{\text{cu}} + \varepsilon_{\text{yk}}}{D + D_c - (2 \cdot \phi_w + \phi_s)} \quad (\text{RV 6.100})$$

$$\varepsilon_{\text{cu}} = \varepsilon_{\text{c2}} \cdot \left(1,75 + 19 \cdot \frac{E_{\text{jl}} \cdot \varepsilon_{\text{juk}}}{f_{\text{cm}}} \right) \quad (\text{RV 6.101})$$

$$\varepsilon_{\text{yk}} = \frac{f_{\text{yk}}}{E_s} \quad (\text{RV 6.102})$$

Dabei ist:

ε_{c2} Längsdehnung des einaxialen druckbeanspruchten Betons beim Erreichen der Druckfestigkeit:
 $\varepsilon_{\text{c2}} = 0,002$

(RV 25) Der Faktor K_ϕ nach DIN EN 1992-1-1, Gleichung (5.37), berücksichtigt die Vergrößerung der Krümmung durch die zeitabhängigen Kriechvorgänge durch eine lineare Erhöhung mit der effektiven Endkriechzahl φ_{ef} . Die effektive Kriechzahl φ_{ef} in Gleichung (5.37) ist mit Gleichung (RV 6.103) zu bestimmen.

$$\varphi_{\text{ef}} = k_7 \cdot \frac{16,8}{\sqrt{f_{\text{cm}} [\text{N/mm}^2]}} \cdot \beta_{0,k} \frac{M_{\text{Eqp}}}{M_{\text{Ed}}} \quad (\text{RV 6.103})$$

6.2 Querkraft

6.2.1 Nachweisverfahren

(RV 12) Prinzipiell muss die Querkrafttragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2, eingehalten sein. Bei Bauteilen mit aufgeklebter Biegeverstärkung nach Abschnitt RV 6.1.1 und RV 6.1 gelten jedoch weitere Anforderungen nach Abschnitt 6.2.3 (RV 10) bis (RV 12).

(RV 13) Falls die Querkrafttragfähigkeit nach diesem Abschnitt nicht nachgewiesen werden kann, darf eine Querkraftverstärkung nach Abschnitt RV 6.2.6 durchgeführt werden.

6.2.2 Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

(RV 8) Bei der Ermittlung des Bemessungswertes für den Querkraftwiderstand $V_{\text{Rd,c}}$ nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.2, darf die geklebte Bewehrung nicht bei der Fläche der Zugbewehrung A_{sL} angerechnet werden.

6.2.3 Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

(RV 9) Bei alten Bauteilen ist darauf zu achten, dass gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, Abschnitt 9.2.2 (4), das 0,5-fache der erforderlichen Querkraftbewehrung durch Bügel abgedeckt ist. Sollte dies nicht erfüllt sein, so ist der Differenzbetrag durch aufgeklebte Bügel gemäß Abschnitt RV 6.2.6 abzudecken.

(RV 10) Bei Bauteilen mit aufgeklebter Biegeverstärkung nach Abschnitt RV 6.1.1 und RV 6.1.2 muss bei Überschreitung des Grenzwerts nach Gleichung (RV 6.104) eine Verbügelung gemäß (RV 11) durchgeführt werden.

$$\frac{V_{Ed} \cdot \sigma_{sw}}{V_{Rd,max}} \leq \begin{cases} 75 \text{ N/mm}^2 & \text{für gerippte Bügel} \\ 25 \text{ N/mm}^2 & \text{für glatte Bügel} \end{cases} \quad (\text{RV 6.104})$$

Dabei ist:

- V_{Ed} einwirkende Querkraft
- $V_{Rd,max}$ Querkraftwiderstand gemäß DIN EN 1992-1-1, Gleichung (6.9) bzw. (6.14)
- σ_{sw} Bügelspannung in Analogie zur DIN EN 1992-1-1, Gleichung (6.8) bzw. (6.13)

(RV 11) Bei Überschreiten der Grenze in Gleichung (RV 6.104) ist die Zugkraft der Lamelle durch aufgeklebte Bügel abzudecken. Die aufgeklebten Bügel sind für die Querkraft nach Gleichung (RV 6.105) zu bemessen und gemäß RV 9.2.7 auszubilden. Falls die aufgeklebten Bügel nicht für die Querkrafttragfähigkeit des Bauteils benötigt werden, können diese gemäß RV 9.2.7.1 Fall 2 nach RV 9.2.6 bemessen werden. Falls die aufgeklebten Bügel auch für die Querkrafttragfähigkeit des Bauteils benötigt werden, sind diese gemäß RV 9.2.7.1 Fall 1 nach RV 6.2.6 zu bemessen.

$$V_{LEd} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{EA_L}{EA_L + EA_s} \cdot V_{Ed} \\ V_{Ed} - V_{Rds} \end{array} \right. \quad (\text{RV 6.105})$$

Dabei ist:

- EA_L Dehnsteifigkeit der geklebten Biegeverstärkung
- EA_s Dehnsteifigkeit der einbetonierten Biegebewehrung

(RV 12) Bei allen biegeverstärkten Bauteilen nach Abschnitt RV 6.1.1, RV 6.1.2, RV 6.1.3 ist bei einer Überschreitung des Grenzwertes nach Gleichung (RV 6.106) eine Verbügelung gemäß (RV 11) durchzuführen.

$$V_{Ed} \leq 0,33 \cdot f_{ck}^{2/3} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{RV 6.106})$$

6.2.4 Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten

(RV 8) Die Querbewehrung nach Abschnitt 6.2.4 (4) der DIN EN 1992-1-1 darf durch geklebte Bewehrung ergänzt werden. Für die geklebte Bewehrung darf als aufnehmbare Zugkraft nur die verankerbare Kraft angesetzt werden.

6.2.5 Schubkraftübertragung in Fugen

RV 6.2.5.1 Bemessung der Reprofilierungsfuge

(RV 1) Bei einem Ausgleich der Bauteiloberfläche im Bereich der geklebten Bewehrung ist abhängig von Lage und Größe der Ausgleichsfläche nach Tabelle RV 6.3 die Schubkraftübertragung in der Fuge zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht rechnerisch nachzuweisen.

(RV 2) Die Schubbeanspruchung der Fuge ist aus der Zugkraftänderung der geklebten Bewehrung zu bestimmen. Der Bemessungswert des über die Fuge zu übertragenden Längskraftanteils ist dabei unter der Voraussetzung einer ebenen Dehnungsverteilung und unter Berücksichtigung des Versatzmaßes sowie von Vordehnungen der Betonstahlbewehrung zum Zeitpunkt der Verstärkung zu ermitteln.

(RV 3) Für den Nachweis der Schubkraftübertragung in der Fuge zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht gelten die Regeln nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.5.

(RV 4) Bei aufgeklebten Stahllaschen, aufgeklebten CFK-Lamellen und CF-Gelegen kann auf den Nachweis der Reprofilierungsfuge verzichtet werden, falls für die Verbundspannung τ_{11} der Wert aus der Prüfung der Verbundfestigkeit im Haftzugversuch eingesetzt wird. Die Haftzugversuche sind gemäß Teil 4 dieser Richtlinie auszuwerten.

Tabelle RV 6.3 – Nachweise bei Ausgleich bzw. Ergänzung von Betonoberflächen

Spalte	1		2
Zeile	Ausgleichsflächen		Nachweise
1	Großflächig		Rechnerischer Nachweis des Verbundes zwischen Altbeton und Ausgleichsschicht sowie Prüfung der Verbundfestigkeit im Haftzugversuch
2	Kleinflächig	im Verankerungsbereich der Lamelle bis zu einem Abstand von 1500 mm vom Lamellenende	
3		sonstige Flächen	Prüfung der Verbundfestigkeit im Haftzugversuch

RV 6.2.6 Querkraftverstärkung

(RV 1) Zur Querkraftverstärkung können geschlossene oder nicht geschlossene Bügel (Bild RV 6.15), die durch Klebeverbund außen auf das zu verstärkende Bauteil appliziert werden, verwendet werden.

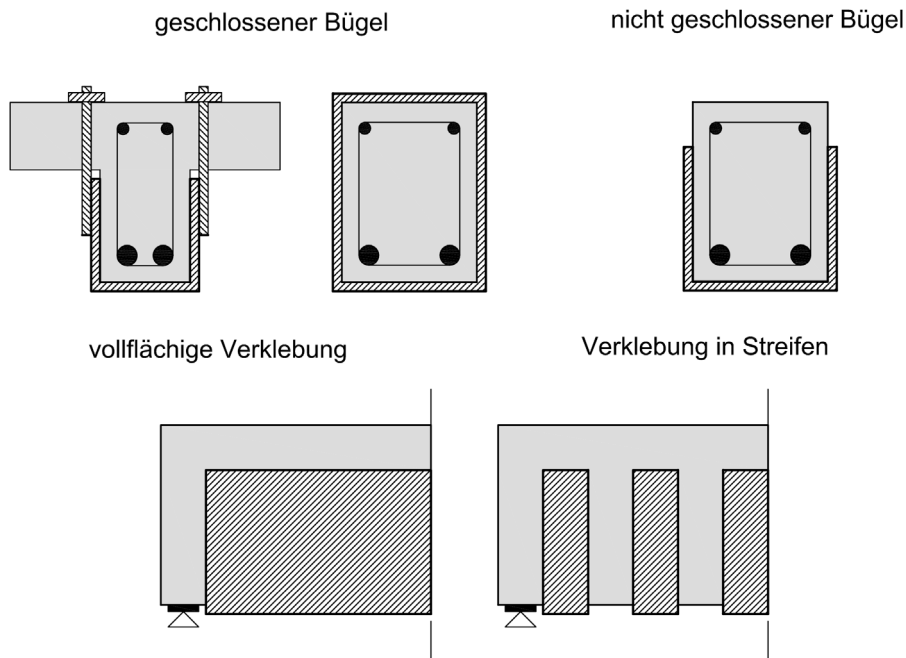


Bild RV 6.15 – Schematische Darstellung der möglichen Querkraftverstärkungsarten

(RV 2) Nicht geschlossene Bügel dürfen zur Querkraftverstärkung nur bei Rechteckquerschnitten angewendet werden. Bei Plattenbalken müssen die Bügel stets in der Druckzone verankert werden.

(RV 3) Falls eine Endverbügelung aufgrund der Versatzbruchbildung nach Abschnitt RV 6.2.7 notwendig ist, können diese Bügel ebenfalls zur Querkraftverstärkung angerechnet werden.

(RV 4) Der Querkraftwiderstand eines Bauteils mit Querkraftverstärkung darf in Änderung zu DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.1, nach Gleichung (RV 6.107) berechnet werden.

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{Rd,Lw} + V_{ccd} + V_{td} \quad (RV 6.107)$$

(RV 5) Für alle Traganteile ist der Druckstrebenwinkel nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.3, in Verbindung mit dem Nationalen Anhang zu bestimmen.

(RV 6) Die Druckstreben Tragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1, Gleichung (6.9), ist bei einer Querkraftverstärkung mit dem gewählten Druckstrebenwinkel ebenfalls nachzuweisen.

(RV 7) Bei geneigten Bügeln darf die Tragfähigkeit der Zugstrebe und der Druckstrebe nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.3 (4), berechnet werden.

(RV 8) Die zusätzlich aufnehmbare Querkraft darf mit Formel (RV 6.108) berechnet werden. Dabei darf der Druckstrebenwinkel nach (RV 5) bestimmt werden.

$$V_{Rd,Lw} = \frac{A_{Lw}}{s_{Lw}} \cdot z \cdot f_{Lwd} \cdot \cot \theta \quad (\text{RV 6.108})$$

(RV 9) Die Fläche der Querkraftverstärkung berechnet sich in Abhängigkeit der Applizierungsart nach Gleichung (RV 6.109). (Begriffe vgl. Bild RV 6.15)

$$\frac{A_{Lw}}{s_{Lw}} = \begin{cases} \frac{2 \cdot t_{Lw} b_{Lw}}{s_{Lw}} & \text{Verklebung in Streifen} \\ \frac{1}{2 \cdot t_{Lw}} & \text{Vollflächige Verklebung} \end{cases} \quad (\text{RV 6.109})$$

(RV 10) Die Tragfähigkeit der Querkraftverstärkung f_{Lwd} wird in Abhängigkeit des Materials und der Verstärkungsart mit folgenden Gleichungen bestimmt:

- Geschlossener Bügel aus Stahl: Gleichung (RV 6.110)
- Geschlossener Bügel aus Faserverbundwerkstoff: Gleichung (RV 6.115)
- Nicht geschlossene Bügel aus Stahl: Gleichung (RV 6.117)
- Nicht geschlossene Bügel aus Faserverbundwerkstoff: Gleichung (RV 6.117)

Geschlossener Bügel aus Stahl

(RV 11) Die Tragfähigkeit eines geschlossenen Bügels aus Stahl ergibt sich aus dem Minimum der Fließgrenze sowie der Spannung, die bei eventuell vorhandenen Überlappungsstößen übertragen werden kann.

$$f_{Lwd,GS} = \min\{f_{yd}; f_{Gud,Lw}\} \quad (\text{RV 6.110})$$

(RV 12) Die Spannung, die bei Überlappungsstößen übertragen werden kann, berechnet sich mit den Gleichungen (RV 6.111) bis (RV 6.114) in Abhängigkeit der Lamellendicke t_L , dem E-Modul E_L und der Übergreifungslänge l .

$$f_{Gud,Lw} = \frac{f_{Guk,Lw}}{\gamma_{BG}} \quad (\text{RV 6.111})$$

$$f_{Guk,Lw} = \begin{cases} f_{Guk,Lw,max} \cdot \frac{l_{u,Lw}}{l_{u,Lw,max}} \left(2 - \frac{l_{u,Lw}}{l_{u,Lw,max}} \right) & l_{u,Lw} < l_{u,Lw,max} \\ f_{Guk,Lw,max} & l_{u,Lw} \geq l_{u,Lw,max} \end{cases} \quad (\text{RV 6.112})$$

$$f_{Guk,Lw,max} = 1,004 \cdot \sqrt{\frac{E_{Lw}}{t_{Lw}}} \quad (\text{RV 6.113})$$

$$l_{u,Lw,max} = 0,121 \cdot \sqrt{E_{Lw} \cdot t_{Lw}} \quad (\text{RV 6.114})$$

Dabei ist:

- E_{Lw} E-Modul des Stahllaschenbügels in N/mm²
 t_{Lw} Dicke des Stahllaschenbügels in mm

Geschlossener Bügel aus Faserverbundwerkstoff

(RV 13) Die Tragfähigkeit eines geschlossenen Bügels aus Faserverbundwerkstoff ergibt sich mit Gleichung (RV 6.115).

$$f_{Lwd,GF} = k_R \cdot \alpha_{Zeit} \cdot f_{Ld} \quad (\text{RV 6.115})$$

(RV 14) Dabei wird der Abminderungsfaktor k_R in Abhängigkeit des Ausrundungsradius r_c mit Gleichung (RV 6.116) bestimmt.

$$k_R = \begin{cases} 0,5 \cdot \frac{r_c}{60\text{mm}} \left(2 - \frac{r_c}{60\text{mm}} \right) & r_c < 60\text{mm} \\ 0,5 & r_c \geq 60\text{mm} \end{cases} \quad (\text{RV 6.116})$$

(RV 15) Der Zeitstandsbeiwert α_{Zeit} beträgt 0,75.

(RV 16) Die konstruktiven Regeln nach Abschnitt RV 9.2.7 für die Überlappungslänge sowie für die Ausrundungen sind zu berücksichtigen.

Nicht geschlossene Bügel

(RV 17) Die Tragfähigkeit ergibt sich aus dem Minimum der Festigkeit der geschlossenen Umwicklung und der Verbundfestigkeit, die sich in Abhängigkeit der geometrischen Verhältnisse aus Bild RV 6.16 mit den Gleichungen (RV 6.118) bis (RV 6.120) ergibt.

$$f_{LWd} = \min\{f_{bLWd}; f_{LWd,G}\} \quad (RV 6.117)$$

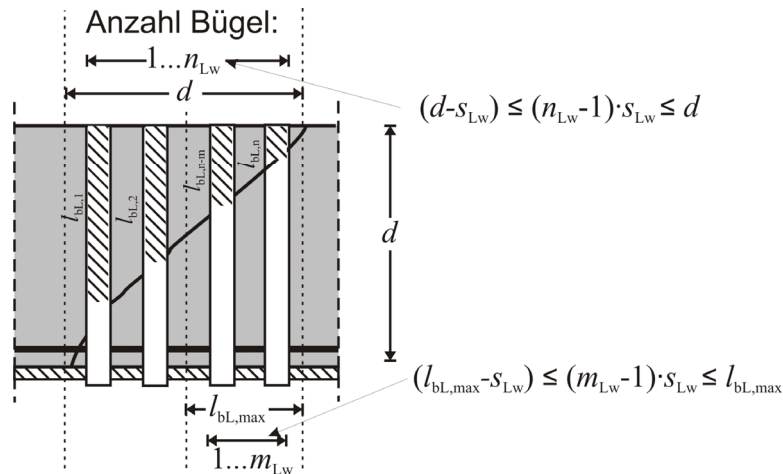


Bild RV 6.16 – Schematische Darstellung der geometrischen Situation bei nicht geschlossenen Bügeln

Bei $d \geq l_{bL,max}$ und $l_{bL,max} \leq s_{LW} \leq d$ ist $f_{bLWd} = \frac{f_{bLk,max}}{\gamma_{BA}}$ (RV 6.118)

Bei $d \geq l_{bL,max}$ und $s_{LW} \leq l_{bL,max}$ ist $f_{bLWd} = \frac{f_{bLk,max}}{\gamma_{BA}} \cdot \left(\left(1 - \frac{(m_{LW}-1)}{(n_{LW}-1)} \right) + \frac{m_{LW} \cdot (m_{LW}-1) \cdot s_{LW}}{2 \cdot (n_{LW}-1) \cdot l_{bL,max}} \right)$ (RV 6.119)

Bei $d \leq l_{bL,max}$ und $s_{LW} \leq d$ ist $f_{bLWd} = \frac{f_{bLk,max}}{\gamma_{BA}} \cdot \frac{n_{LW} \cdot s_{LW}}{2 \cdot l_{bL,max}}$ (RV 6.120)

Dabei ist:

n_{LW}	Ganzzahlquotient d/s_{LW}
m_{LW}	Ganzzahlquotient $l_{bL,max}/s_{LW}$
d	statische Nutzhöhe
s_{LW}	Abstand der aufgeklebten Bügel
$f_{bLk,max}$	Verbundfestigkeit gemäß Abschnitt RV 8.4.6
$l_{bL,max}$	effektive Verbundlänge gemäß Abschnitt RV 8.4.6

(RV 18) Bei $s_{LW} \geq d$ ist die Lage der inneren Bügel zu bestimmen und die äußeren Bügel sind so zu legen, dass genau ein aufgeklebter Bügel zwischen zwei inneren Bügeln liegt. Die Tragfähigkeit ist in Abhängigkeit der Bauteilhöhe mit Gleichung (RV 6.118) bis (RV 6.120) zu bestimmen.

(RV 19) Die Verbundfestigkeiten $f_{bLk,max}$ sowie die effektiven Verbundlängen $l_{bL,max}$ können nach Abschnitt RV 8.4.6 bestimmt werden.

(RV 20) Die konstruktiven Regeln nach Abschnitt RV 9.2.7 für die Überlappungslänge sowie für die Ausrundungen sind zu berücksichtigen.

RV 6.2.7 Endverbügelung zur Vermeidung eines Versatzbruches

(RV 1) Falls die einwirkende Querkraft am Endauflager bzw. am Trägerende größer ist als die aufnehmbare Querkraft nach Gleichung (RV 6.121), ist eine Verbügelung am Lamellenende nach Abschnitt RV 9.2.6 vorzusehen.

$$V_{Rd,c,LE} = 0,75 \cdot \left(1 + 19,6 \cdot \frac{(100\rho_{s1})^{0,15}}{a_{LE}^{0,36}} \right) \cdot V_{Rd,c} \quad (RV 6.121)$$

Dabei ist:

- $V_{Rd,c}$ nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.2, in Verbindung mit dem Nationalen Anhang und Abschnitt 6.2.2 dieser Richtlinie
- ρ_{s1} Längsbewehrungsgrad der internen Betonstahlbewehrung
(nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.2.2)
- a_{LE} Abstand der Lamelle vom Endauflager bzw. vom Trägerende in mm

6.3 Torsion

6.3.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.3.2 Nachweisverfahren

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.3.3 Wölbkrafttorsion

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.4 Durchstanzen

6.4.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.4.2 Lasteinleitung und Nachweisschnitte

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.4.3 Nachweisverfahren

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.4.4 Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung

(RV 3) Bei der Ermittlung des Bemessungswertes für den Durchstanzwiderstand $v_{Rd,c}$ nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.4.4, darf die geklebte Bewehrung nicht bei der Fläche der Zugbewehrung A_{sl} angerechnet werden.

6.4.5 Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.5 Stabwerkmodelle

6.5.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.5.2 Bemessung der Druckstreben

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.5.3 Bemessung der Zugstreben

(RV 4) Für die geklebte Bewehrung darf als Zugstrebenkraft nur die verankerbare Kraft angesetzt werden.

6.5.4 Bemessung der Knoten

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.6 Verankerung der Längsbewehrung und Stöße

(RV 4) Die geklebte Bewehrung gilt als ausreichend verankert, falls die Nachweise nach Abschnitt RV 6.1.1 für aufgeklebte CFK-Lamellen oder CF-Gelege bzw. die Nachweise nach Abschnitt RV 6.1.2 für aufgeklebte Stahllaschen bzw. die Nachweise nach Abschnitt RV 6.1.3 für in Schlitze verklebte Lamellen eingehalten sind.

(RV 5) Die Stöße der geklebten Bewehrung sind gemäß RV 8.7.6 zu behandeln.

6.7 Teilflächenbelastung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.8 Nachweis gegen Ermüdung

6.8.1 Allgemeines

(RV 3) Ein Nachweis gegen Ermüdung muss unter nicht vorwiegend ruhender Belastung für den Verbund der geklebten Bewehrung erfolgen. Für aufgeklebte CFK-Lamellen ist dieser Nachweis nach Abschnitt RV 6.8.8, für aufgeklebte Stahllaschen nach Abschnitt RV 6.8.9 und für in Schlitze verklebte CFK-Lamellen nach Abschnitt RV 6.8.10 zu führen. Als Querkraftverstärkung können Stahllaschen verwendet werden, falls diese mechanisch in der Druckzone verankert sind. Die mechanische Verankerung sowie die Stahlteile müssen für die Ermüdungsbeanspruchung nach den entsprechenden Regelwerken nachgewiesen werden.

(RV 4) Neben dem Nachweis gegen Ermüdung der geklebten Bewehrung muss für den Beton, den Betonstahl und den Spannstahl der Nachweis gegen Ermüdung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8, erfolgen. Der Nachweis der Ermüdung des Betonstahls und des Spannstahls nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8, gilt nur für Betonstähle und Spannstähle nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 3.2 und 3.3. Falls andere / ältere Betonstähle und Spannstähle in dem zu verstärkenden Bauteil vorhanden sind, sind weitere Untersuchungen notwendig.

6.8.2 Innere Kräfte und Spannungen beim Nachweis gegen Ermüdung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.8.3 Einwirkungskombinationen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.8.4 Nachweisverfahren für Betonstahl und Spannstahl

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.8.5 Nachweis gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Schwingbreiten

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.8.6 Vereinfachte Nachweise

Keine Ergänzungen oder Änderungen

6.8.7 Nachweis gegen Ermüdung des Betons unter Druck oder Querkraftbeanspruchung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

RV 6.8.8 Aufgeklebte CFK-Lamellen

(RV 1) Die Kräfte unter nicht vorwiegend ruhender Belastung in der CFK-Lamelle sind an jedem Zwischenrisselement und an der Endverankerung zu ermitteln. Der Ermüdungsnachweis ist am maßgebenden Zwischenrisselement und an der Endverankerung zu führen. Dabei ist die zu verankernde Lamellenkraftdifferenz nach Abschnitt RV 6.8.8.1 nachzuweisen. Wenn dieser Nachweis nicht erfüllt werden kann, ist die Schwingbreite der zu verankernden Lamellenkraft nach Abschnitt RV 6.8.8.2 nachzuweisen. Die Lamellenkräfte können dabei unter Annahme eines ebenen Dehnungszustandes ermittelt werden.

RV 6.8.8.1 Nachweis der Lamellenkraftdifferenz

(RV 1) Auf den Nachweis der Einhaltung der Schwingbreite darf verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass unter der Einwirkungskombination nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.3, der elastische Bereich im Verbundspannungs-Verschiebungsgesetz nicht überschritten wird. Dazu muss die folgende Bedingung eingehalten werden:

$$\Delta F_{LRd,fat1} = 0,348 \cdot f_{ctm,surf}^{1/4} \cdot \Delta F_{LRd} \text{ [kN]} \geq \Delta F_{LE,eq} \text{ [kN]} \quad (\text{RV 6.122})$$

Dabei ist:

$f_{ctm,surf}$ Oberflächenzugfestigkeit in N/mm²

ΔF_{LRd} Bemessungswert des Widerstandes der Lamellenkraftänderung in kN

$\Delta F_{LE,eq}$ Lamellenkraftdifferenz ΔF_L nach Gleichung (RV 6.13) am maßgebenden Zwischenrisselement unter der Einwirkungskombination nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.3 (3), in kN bzw. Lamellenkraft unter der Einwirkungskombination nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.3 (3), an der Endverankerung am Biegeriss, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, unter der Berücksichtigung des Versatzmaßes in kN

(RV 2) Der Bemessungswert des Widerstandes der Lamellenkraftänderung ΔF_{LRd} wird mit Gleichung (RV 6.123) bestimmt.

$$\Delta F_{LRd} = \frac{\Delta F_{Lk,BL}}{\gamma_{BA}} \quad (\text{RV 6.123})$$

Dabei ist:

$\Delta F_{Lk,BL}$ Grundwert des Verbundkraftwiderstandes am Zwischenrisselement nach Gleichung (RV 6.15)

γ_{BA} Sicherheitsbeiwert für den Verbund bei aufgeklebten Lamellen

RV 6.8.8.2 Nachweis der Schwingbreite am höher belasteten Rissufer

(RV 1) Wird die Bedingung nach (RV 6.122) nicht eingehalten, muss der folgende Nachweis unter der Einwirkungskombination nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.3, geführt werden:

$$\Delta F_{LRd,fat2} \geq \Delta F_{LEd,fat} \quad (\text{RV 6.124})$$

(RV 2) Die aufnehmbare Schwingbreite der Lamellenkraft am höher belasteten Rissufer $\Delta F_{LRd,fat2}$ wird wie folgt ermittelt.

$$\Delta F_{LRd,fat2} = \alpha \cdot \Delta F_{LRd} \quad (\text{RV 6.125})$$

Dabei ist:

ΔF_{LRd} Bemessungswert des Widerstandes der Lamellenkraftänderung nach Gleichung (RV 6.123), wobei für die die Lamellenkraft am niedriger beanspruchten Rissufer die Oberlast F_{LEd}^O anzusetzen ist.

α Abminderungsbeiwert zur Ermittlung von $\Delta F_{LRd,fat2}$:
 $\alpha = -c \cdot \Delta F_{LEd}^U / \Delta F_{LRd} + c$ (vgl. Bild RV 6.17)

c Beiwert zur Berücksichtigung der Lastspielzahl

$$c = 0,342 \cdot \frac{N^{-\frac{1}{k}}}{N^*}$$

N Lastspielzahl der Einwirkung

N^* Bezugswert der Lastspielzahl $N^* = 2 \cdot 10^6$

k Exponent zur Ermittlung des Beiwertes c
 $k = 23,2$ für $N < N^*$
 $k = 45,4$ für $N \geq N^*$

(RV 3) Der Bemessungswert der Schwingbreite aus den einwirkenden Lamellenkräften am höher belasteten Rissufer $\Delta F_{LEd,fat}$ wird wie folgt ermittelt:

$$\Delta F_{LEd,fat} = \Delta F_{LEd}^O - \Delta F_{LEd}^U \quad (\text{RV 6.126})$$

Dabei ist:

ΔF_{LEd}^O Wert der Lamellenkraftdifferenz ΔF_L bei Oberlast unter zyklischer Einwirkung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.3 (3), am maßgebenden Zwischenrisselement, bzw. Lamellenkraft unter zyklischer Einwirkung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.3 (3), an der Endverankerung am Biegeriss, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, unter der Berücksichtigung des Versatzmaßes in kN

ΔF_{LEd}^U Wert der Lamellenkraftdifferenz ΔF_L bei Unterlast unter nichtzyklischer Einwirkung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.3 (2), am maßgebenden Zwischenrisselement, bzw. Lamellenkraft unter nichtzyklischer Einwirkung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.3 (2), an der Endverankerung am Biegeriss, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, unter der Berücksichtigung des Versatzmaßes in kN

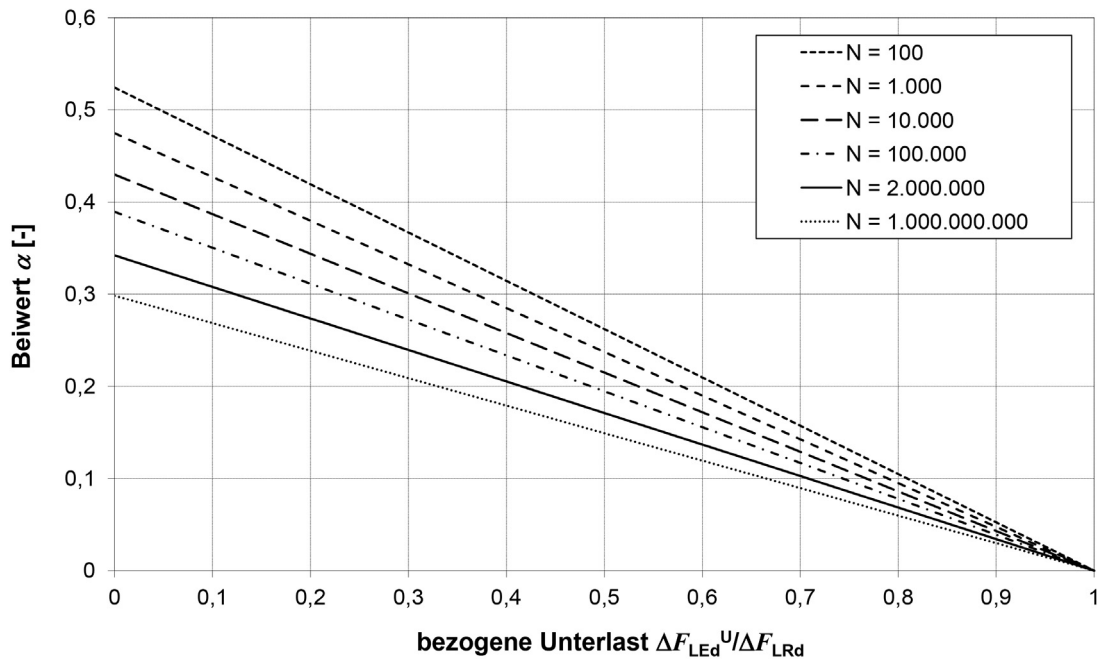


Bild RV 6.17 – Diagramm zur Ermittlung des Abminderungsbeiwerts α

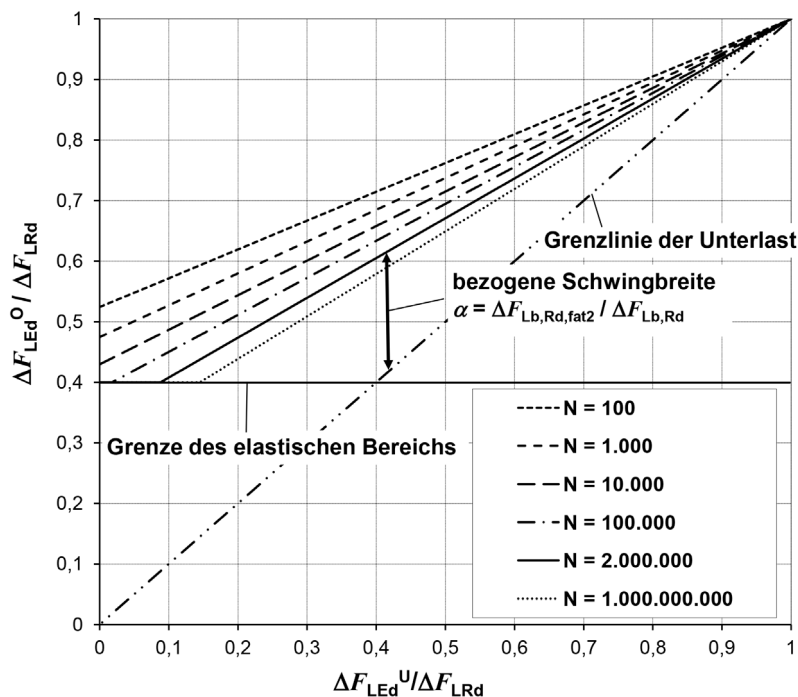


Bild RV 6.18 – Goodman-Smith-Diagramm zur Veranschaulichung des Nachweises gegen Ermüdung

RV 6.8.9 Aufgeklebte Stahllaschen

(RV 1) Neben dem Nachweis des Verbundes nach Gleichung (RV 6.127) muss auch der Nachweis der Ermüdung der Stahllasche nach DIN EN 1993-1-9 erfolgen.

(RV 2) Die Kräfte unter nicht vorwiegend ruhender Belastung in der Stahllasche sind am Biegeriss, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, unter Berücksichtigung des Versatzmaßes zu ermitteln. An dieser Stelle darf unter der Einwirkungskombination nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.3 (3), der elastische Bereich im Verbundspannungs-Verschiebungsgesetz nicht überschritten werden. Dazu muss die folgende Bedingung eingehalten werden:

$$F_{bLRd, fat1} = 0,348 \cdot f_{ctm, surf}^{1/4} \cdot f_{LbRd}(l_{Lb}) \cdot b_L \cdot t_L \geq F_{LE, equ} \quad (RV 6.127)$$

Dabei ist:

$f_{ctm, surf}$ Oberflächenzugfestigkeit in N/mm²

$f_{LbRd}(l_{Lb})$ Bemessungswert der Verbundfestigkeit nach Abschnitt RV 8.4.6 in N/mm²

$F_{LE, equ}$ Lamellenkraft am Biegeriss, der dem Momentennullpunkt am nächsten ist, unter der Berücksichtigung des Versatzmaßes unter der Einwirkungskombination nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.3 (3), in kN

RV 6.8.10 In Schlitze verklebte CFK-Lamellen

(RV 1) Bis zu $2 \cdot 10^6$ Lastspielen darf ein ausreichender Widerstand gegen Ermüdung der in Schlitze verklebten CFK-Lamellen angenommen werden, wenn unter häufiger zyklischer Einwirkung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.3 (3), die Endverankerungskraft unter Berücksichtigung des Versatzmaßes den Wert von 0,6 F_{bLRd} (F_{bLRd} nach den Gleichungen (RV 6.55) und (RV 6.56)) und die Lamellenschwingbreite den Wert nach Gleichung (RV 6.128) nicht überschreitet.

$$\Delta\sigma_L \leq \frac{500 \text{ N/mm}^2}{t_L} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (RV 6.128)$$

Dabei ist:

t_L Dicke der Lamelle in mm

(RV 2) Als Vereinfachung zu Absatz (RV 1) darf der Nachweis auch unter Verwendung der häufigen Einwirkungskombination analog zu DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.8.6, geführt werden. Kann dieser erbracht werden, sind keine weiteren Überprüfungen notwendig.

(RV 3) Bemessungsverfahren für Lastspielzahlen größer $2 \cdot 10^6$ werden in dieser Richtlinie nicht geregelt.

7 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

7.1 Allgemeines

(RV 4) Für die Nachweise im Gebrauchszustand darf die Spannungs-Dehnungs-Linie der CFK-Lamellen als linear angenommen werden. Die Nachweise sind auf Grundlage des mittleren E-Moduls zu führen.

7.2 Begrenzung der Spannungen

Beton, Betonstahl und Spannstahl

(RV 8) Es gelten die Spannungsbegrenzungen nach DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA.

(RV 9) Die Dehnung des Bewehrungsstahls darf unter seltener Einwirkungskombination im verstärkten Querschnitt auf

$$\varepsilon_s \leq \frac{f_{yk}}{E_s} \quad (RV 7.1)$$

begrenzt werden.

Aufgeklebte CFK-Lamellen und GFK-Gelege

(RV 10) Unter seltener Einwirkungskombination sind die Dehnungen der CFK-Lamelle auf

$$\varepsilon_L \leq 0,2\% \quad (RV 7.2)$$

zu begrenzen.

(RV 11) Werden diese Dehnungen überschritten, ist die Bauteilverformung nachzuweisen, ein Nachweis der Beschränkung der Rissbreite und ein genauer Nachweis des Verbundes im Gebrauchszustand zu führen. Beim Nachweis des Verbundes im Gebrauchszustand muss eine bereichsweise Entkopplung der Lamelle vermieden werden.

In Schlitze verklebte CFK-Lamellen

(RV 12) Unter seltener Einwirkungskombination sind die Dehnungen der CFK-Lamelle auf

$$\varepsilon_L \leq 0,2\% \quad (\text{RV 7.3})$$

zu begrenzen.

(RV 13) Werden diese Dehnungen überschritten, ist die Bauteilverformung nachzuweisen und ein Nachweis der Beschränkung der Rissbreite zu führen.

Aufgeklebte Stahllaschen

(RV 14) Unter seltener Einwirkungskombination ist die Spannung der Stahllasche im verstärkten Querschnitt auf

$$\sigma_s \leq 0,8 f_{yk} \quad (\text{RV 7.4})$$

zu begrenzen.

Stützenverstärkung durch Umschnürung

(RV 15) Um unzulässige Schädigungen des Betongefüges im Gebrauchszustand zu vermeiden, muss die rechnerisch erforderliche Dicke der Umschnürungsbewehrung t_L , die sich aus der Gelegedicke multipliziert mit der Anzahl der Lagen ergibt, der folgenden Bedingung genügen:

$$t_L \leq \frac{D}{2 \cdot E_L \cdot \varepsilon_{\text{juk}}} \cdot \frac{1}{k_1} \cdot \left[\gamma_{LG} \cdot \left[\gamma_F \cdot (k_8 - k_9 \cdot f_{ck}) \cdot \left(\alpha_{cc} \cdot f_{ck} + \frac{A_s}{A_c} \cdot |\varepsilon_{c2}| \cdot E_s \right) - \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{A_s}{A_c} \right] - f_{ck} \right] \quad (\text{RV 7.5})$$

Dabei ist:

D	Querschnittsdurchmesser des Druckgliedes in mm
E_L	E-Modul der geklebten Bewehrung in N/mm ²
ε_{juk}	charakteristischer Wert der Dehnung der Umschnürungsbewehrung nach (RV 6.67)
γ_{LG}	Sicherheitsbeiwert CF-Gelege
γ_F	gewichteter Sicherheitsbeiwert für die Einwirkungen entsprechend der Beiträge der ständigen und veränderlichen Einwirkungen zur maßgebenden Schnittgrößenkombination im Grenzzustand der Tragfähigkeit
k_1	Systembeiwert (Anhang K)
k_8	Systembeiwert (Anhang K)
k_9	Systembeiwert (Anhang K)
f_{ck}	charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons
α_{cc}	Abminderungsbeiwert für die einaxiale Betondruckfestigkeit am Bauwerk $\alpha_{cc} = 0,85$
A_s	Querschnitt der Betonstahllängsbewehrung
A_c	Betonquerschnitt
$ \varepsilon_{c2} $	Betrag der zulässigen Betonstauchung, sollte zu ε_{c2} gemäß DIN EN 1992-1-1, Tabelle 3.1, bestimmt werden. Eine Berücksichtigung der günstigen Wirkung des Kriechens des Betons bei geringen Ausmitten gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NCI zu 6.1 (3)P, ist zulässig.
E_s	Elastizitätsmodul der Betonstahllängsbewehrung
f_{yk}	charakteristischer Wert der Streckgrenze der Betonstahllängsbewehrung

7.3 Begrenzung der Rissbreiten

7.3.1 Allgemeines

(RV 11) Auf den Nachweis der Beschränkung der Rissbreiten darf im Allgemeinen verzichtet werden. Soll eine rissbreitenbeschränkende Wirkung der in Schlitze verklebten oder aufgeklebten Lamellen angesetzt werden, so darf die Rissbreite bei abgeschlossenem Rissbild mit Gleichung (RV 7.6) ermittelt werden.

7.3.2 Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite

Keine Ergänzungen oder Änderungen

7.3.3 Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

7.3.4 Berechnung der Rissbreite

Keine Ergänzungen oder Änderungen

RV 7.3.5 Rissbreitenbeschränkende Wirkung der geklebten Bewehrung

RV 7.3.5.1 Allgemeines

(RV 1) Die nachträgliche Rissbreitenbegrenzung setzt voraus, dass die vorhandenen Risse verpresst oder durch saisonale Zwangsbeanspruchungen weitgehend geschlossen sind.

$$w_k = s_{cr,max} \cdot (\varepsilon_{Lm} - \varepsilon_{cm}) \quad (RV 7.6)$$

(RV 2) Die Rissbreite ergibt sich aus dem doppelten Schlupf der Bewehrung.

$$w_k = 2 \cdot s_{sr} = 2 \cdot s_{Lr} \quad (RV 7.7)$$

(RV 3) Die mittlere Lamellendehnung ist mit Gleichung (RV 7.8) zu ermitteln und die mittlere Betondehnung darf mit Gleichung (RV 7.9) bestimmt werden oder kann vereinfacht mit Null angenommen werden.

$$\varepsilon_{Lm} = \varepsilon_L^{\parallel} \cdot \eta_L - 0,5 \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct,eff} \cdot \left(\frac{\xi_L^2}{E_s A_s + E_L A_L \cdot \xi_L^2} \right) \quad (RV 7.8)$$

$$\varepsilon_{cm} = 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{E_c} \quad (RV 7.9)$$

Dabei ist:

$A_{ct,eff}$	Wirkungsbereich der Bewehrung. $A_{ct,eff}$ ist die Betonfläche um die Zugbewehrung mit der Höhe $h_{c,ef}$, wobei $h_{c,ef}$ das Minimum von $[2,5(h - d_s); (h - x)/3; h/2]$ ist (siehe DIN EN 1992-1-1, Bild 7.1)
ξ_L	Verhältnis der Verbundfestigkeit von der geklebten Bewehrung zur einbetonierten Bewehrung nach Gleichung (RV 7.11)
$f_{ct,eff}$	Mittelwert der wirksamen Zugfestigkeit des Betons, der beim Auftreten der Risse zu erwarten ist (siehe auch DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.3.2)
$\varepsilon_L^{\parallel}$	Dehnung der Lamelle im Riss, ermittelt mit den bernoullischen Annahmen zur Balkentheorie
η_L	Beiwert zur Berücksichtigung der verschiedenen Dehnsteifigkeiten und Verbundfestigkeiten nach Gleichung (RV 7.13); bei nicht vorhandener Betonstahlbewehrung darf dieser Beiwert zu 1,0 gesetzt werden

(RV 4) Der maximale Rissabstand $s_{cr,max}$ darf mit Gleichung (RV 7.10) ermittelt werden. Die mittlere Verbundspannung τ_{Lm} der geklebten Bewehrung darf je nach Verstärkungsart nach Abschnitt RV 7.3.5.2 oder RV 7.3.5.3 ermittelt werden.

$$s_{cr,max} = \frac{A_{c,eff} \cdot f_{ct,eff}}{2 \cdot \tau_{Lm}} \cdot \frac{k_{Lb} \cdot E_L \cdot t_L \cdot \xi_L^2}{E_s A_s + E_L A_L \cdot \xi_L^2} \quad (RV 7.10)$$

(RV 5) Das Verhältnis der Verbundfestigkeit der geklebten Bewehrung zur einbetonierten Bewehrung darf nach Gleichung (RV 7.11) in Abhängigkeit der mittleren Verbundspannungen nach Gleichung (RV 7.14) und Abschnitt RV 7.3.5.2 oder RV 7.3.5.3 bestimmt werden. Der Beiwert η_L zur Berücksichtigung der verschiedenen Dehnsteifigkeiten darf nach Gleichung (RV 7.13) mit dem Beiwert δ_L nach Gleichung (RV 7.12) bestimmt werden.

$$\xi_L = \sqrt{\frac{\tau_{Lm} \cdot E_s \cdot \phi_s}{\tau_{sm} \cdot k_{Lb} \cdot E_L \cdot t_L}} \quad (\text{RV 7.11})$$

$$\delta_L = \frac{\varepsilon_{Lr}}{\varepsilon_{sr}} = \frac{2 \cdot \xi_L^2}{\xi_L^2 + 1} \quad (\text{RV 7.12})$$

$$\eta_L = \frac{(1 + E_L A_L I(E_s A_s)) \cdot \delta_L}{1 + E_L A_L I(E_s A_s) \cdot \delta_L} \quad (\text{RV 7.13})$$

(RV 6) Die mittleren Verbundspannungen der einbetonierten Bewehrung können mit Gleichung (RV 7.14) berechnet werden. In Gleichung (RV 7.14) ist der Beiwert α_s aus Tabelle RV 7.1 zu bestimmen. Der Faktor $k_{s,eff}$ in Gleichung (RV 7.14) ist mit dem k_s -Wert aus Tabelle RV 7.1 und dem Faktor k_t nach Gleichung (RV 7.16) zur Berücksichtigung des Verbundkriechens mit Gleichung (RV 7.15) zu bestimmen.

$$\tau_{sm} = \frac{k_{s,eff} \sqrt{f_{cm}}}{\alpha_s + 1} \cdot s_{sr}^{\alpha_s} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (\text{RV 7.14})$$

$$k_{s,eff} = \frac{1}{(1 + k_t)^{\alpha_s}} k_s \quad (\text{RV 7.15})$$

$$k_t = (1 + 10 \cdot t)^{0,08} - 1 \quad (\text{RV 7.16})$$

Dabei ist:

- t Restnutzungsdauer in Stunden
- f_{cm} mittlere Zylinderdruckfestigkeit in N/mm²
- s_{sr} Schlupf des Betonstahls nach Gleichung (RV 7.7)

Tabelle RV 7.1 – Verbundbeiwerte der einbetonierten Bewehrung für die Berechnung der Rissbreite

Spalte	1	2		3	
Zeile		Gerippte Stäbe		Glatte Stäbe	
1	Verbundbedingungen	Gut	Mäßig	Gut	Mäßig
2	α_s	0,25	0,25	0	0
3	k_s	2	1	0,25	0,13

RV 7.3.5.2 In Schlitze verklebte CFK-Lamellen

(RV 1) Die mittleren Verbundspannungen der in Schlitze verklebten CFK-Lamellen können mit Gleichung (RV 7.17) berechnet werden. In Gleichung (RV 7.17) ist der Beiwert α_L mit Gleichung (RV 7.18) über die einseitige Klebstoffdicke t_G zu bestimmen. Der Faktor $k_{L,eff}$ in Gleichung (RV 7.17) ist mit den Gleichungen (RV 7.19) bis (RV 7.20) zu bestimmen.

$$\tau_{Lm} = \frac{k_{L,eff}}{\alpha_L + 1} \cdot s_{Lr}^{\alpha_L} \cdot (1 - \alpha_L) \quad (\text{RV 7.17})$$

$$\alpha_L = 0,38 \cdot t_G - 0,11 \leq 0,31 \quad (\text{RV 7.18})$$

$$k_{L,eff} = \frac{1}{(1 + k_t)^{\alpha_L}} k_L \quad (\text{RV 7.19})$$

$$k_L = 5^{\alpha_L} \cdot \tau_{bGk} \quad (\text{RV 7.20})$$

$$k_t = (1 + 10 \cdot t)^{0,14} - 1 \quad (\text{RV 7.21})$$

$$k_{Lb} = 2 \quad (\text{RV 7.22})$$

Dabei ist:

t Restnutzungsdauer in Stunden

τ_{bGk} charakteristischer Wert der Verbundfestigkeit bei Klebstoffversagen nach Gleichung (RV 8.13) in N/mm²

t_G Klebstoffdicke in mm

s_{Lr} Lamellenschlupf nach Gleichung (RV 7.7)

(RV 2) Für die rissbreitenbeschränkende Wirkung der in Schlitze verklebten Lamellen darf der Lamellenabstand 200 mm nicht überschreiten.

RV 7.3.5.3 Aufgeklebte Bewehrung

(RV 1) Die mittleren Verbundspannungen dürfen bei aufgeklebter Bewehrung näherungsweise als konstant angenommen werden und können mit Gleichung (RV 7.23) berechnet werden. Die Randwerte s_{L0k} und τ_{L1k} können dem Anhang RV K entnommen werden oder sind durch die bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt.

$$\tau_{Lm} = \begin{cases} \frac{\tau_{L1k}}{2 \cdot s_{L1k}} \cdot s_{Lr} & \text{für } 0 \leq s_{Lr} \leq s_{L1k} \\ \frac{\tau_{L1k} \cdot (s_{Lr}^2 - 2 \cdot s_{Lr} \cdot s_{L0k} + s_{L1k} \cdot s_{L0k})}{2 \cdot s_{Lr} \cdot (s_{L1k} - s_{L0k})} & \text{für } s_{L1k} \leq s_{Lr} \leq s_{L0k} \end{cases} \quad (\text{RV 7.23})$$

$$s_{L1k} = 2,5 \cdot \frac{50 \text{ mm}}{E_{cm}} \cdot \tau_{L1k} \quad (\text{RV 7.24})$$

$$k_{Lb} = 4 \quad (\text{RV 7.25})$$

Dabei ist:

s_{Lr} Lamellenschlupf nach Gleichung (RV 7.7)

(RV 2) Für die rissbreitenbeschränkende Wirkung der aufgeklebten Lamellen darf der Achsabstand a_L nicht größer als die Vorgaben nach RV 8.2.1.1 sein. Ebenfalls muss für den Achsabstand $a_L \leq 3 \cdot b_L$ eingehalten sein.

(RV 3) Für die Anwendung der rissbreitenbeschränkenden Wirkung der aufgeklebten Bewehrung muss die Bedingung nach Gleichung (RV 7.26) erfüllt sein.

$$\frac{E_s \cdot \phi_s}{E_L \cdot t_L} \leq 32 \quad (\text{RV 7.26})$$

7.4 Begrenzung der Verformungen

7.4.1 Allgemeines

(RV 7) Die Grenzwerte für die Verformungen nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.4.1, sollten auch nach den Verstärkungsmaßnahmen eingehalten werden.

(RV 8) Eine Berechnung der Verformungen kann nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.4.3, erfolgen. Ein Nachweis der Verformungen ohne direkte Berechnung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.4.2, darf für verstärkte Bauteile im Regelfall nicht angewendet werden.

7.4.2 Nachweis der Begrenzung der Verformungen ohne direkte Berechnung

(RV 3) Ein Nachweis der Verformungen ohne direkte Berechnung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.4.2, darf für verstärkte Bauteile im Regelfall nicht angewendet werden.

7.4.3 Nachweis der Begrenzung der Verformungen mit direkter Berechnung

(RV 8) Bei der Berechnung der Verformungen nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.4.3, darf die Wirkungsweise der Lamelle in den Durchbiegungsparametern α berücksichtigt werden.

(RV 9) Die Verformungen zum Zeitpunkt der Verstärkung müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

8 Allgemeine Bewehrungsregeln

8.1 Allgemeines

(RV 5) Es gelten die allgemeinen Bewehrungsregeln gemäß DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA, sofern nachfolgend nicht anders festgelegt.

8.2 Stababstände von Betonstählen

RV 8.2.1 Lamellenabstände

RV 8.2.1.1 Biegeverstärkung mit aufgeklebten Stahlflaschen, CFK-Lamellen und CF-Gelegen

(RV 1) Für die Achsabstände a_L von Zuglamellen gelten folgende Regelungen:

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

(RV 2) Der Randabstand der Lamellenlängskante von der Bauteilkante muss mindestens der erforderlichen Betondeckung c_{nom} der einbetonierten Bewehrung entsprechen.

RV 8.2.1.2 Biegeverstärkung mit in Schlitze verklebten CFK-Lamellen

RV 8.2.1.2.1 Randabstände

(RV 1) Zum freien Bauteilrand muss ein Mindestabstand a_r eingehalten werden, der dem größeren Wert nach den Gleichungen (RV 8.1) und (RV 8.2) entspricht.

$$a_r \geq 2 \cdot b_L \quad (\text{RV 8.1})$$

$$a_r \geq d_g \quad (\text{RV 8.2})$$

Dabei ist:

b_L Breite der CFK-Lamelle

d_g Größtkorndurchmesser der Gesteinskörnung

(RV 2) Für eine Anordnung der CFK-Lamellen an beiden Seiten eines freien Randes nach Bild RV 8.1 muss ein Mindestrandabstand von einer der beiden Lamellen nach Gleichung (RV 8.3) eingehalten werden.

$$a_r \geq 4 \cdot b_L \quad (\text{RV 8.3})$$

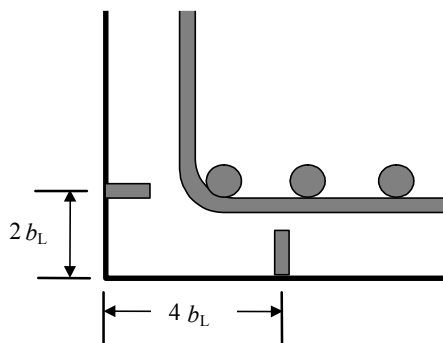


Bild RV 8.1 – Randabstände bei Anordnung von Lamellen zu beiden Seiten einer Kante

(RV 3) 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 gelten Abschnitt (RV 1) und (RV 2). Der Krümmungsradius der eingeklebten Lamellen muss mindestens 2 m betragen.

RV 8.2.1.2.2 Achsabstände

(RV 1) Für die Mindestachsabstände a_L von Zuglamellen gelten folgende Regelungen:

$$a_L \geq d_g \quad (\text{RV 8.4})$$

$$\text{für } a_s > 2 \cdot \phi \text{ gilt } a_L \geq b_L \quad (\text{RV 8.5})$$

Dabei ist:

- ϕ Durchmesser der parallel zu den CFK-Lamellen verlaufenden Betonstahlbewehrung
- a_s lichter Abstand zwischen zwei Stäben der parallel zu den CFK-Lamellen verlaufenden Bewehrung
- d_g Größtkorndurchmesser der Gesteinskörnung

(RV 2) Für lichte Abstände der Betonstahl-Längsbewehrung kleiner als $2d_s$ sind die Mindestachsabstände der Zuglamellen nach Bild RV 8.2 einzuhalten.

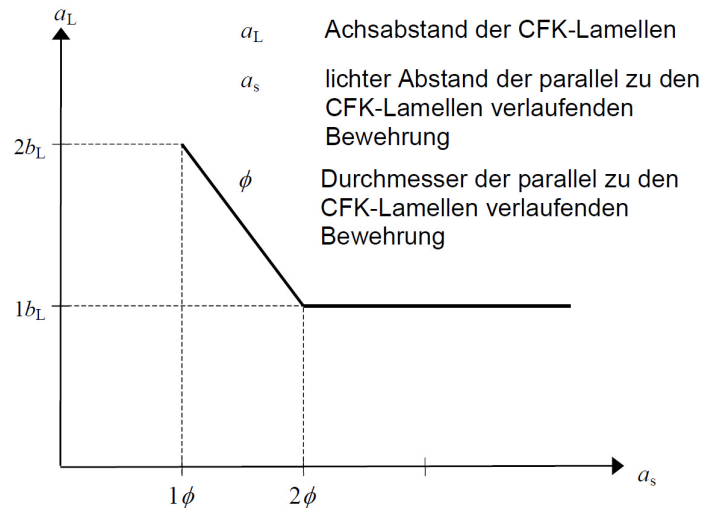


Bild RV 8.2 – Mindestachsabstände der Zuglamellen

(RV 3) Für die maximalen Achsabstände a_L von Zuglamellen gelten folgende Regelungen:

$$a_L \leq 0,2 l_0 \quad (\text{RV 8.6})$$

$$a_L \leq 4 h \quad (\text{RV 8.7})$$

Dabei ist:

- l_0 effektive Stützweite in mm, bei Kragarmen: $l_0 = 2 l_k$
- h Bauteildicke in mm

8.3 Biegen von Betonstählen

RV 8.3.1 Biegung der geklebten Bewehrung

(RV 1) Stahllaschen dürfen zur Bügelverstärkung werkseitig vorgebogen werden.

(RV 2) Gerade gefertigte CFK-Lamellen dürfen nicht planmäßig mit einem kleineren Radius als 1000-mal ihrer Dicke gebogen angeordnet werden.

(RV 3) CF-Gelege dürfen planmäßig gebogen angeordnet werden, wenn ein Ausrundungsradius der Betondeckung von 25 mm vorhanden ist.

8.4 Verankerung der Längsbewehrung

8.4.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.4.2 Bemessungswert der Verbundfestigkeit

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.4.3 Grundwert der Verankerungslänge

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.4.4 Bemessungswert der Verankerungslänge

Keine Ergänzungen oder Änderungen

RV 8.4.5 Verankerung der geklebten Bewehrung

(RV 1) Zur Verankerung der in Schlitze verklebten CFK-Lamellen müssen die Nachweise nach Abschnitt RV 6.1.3.2 erfüllt sein.

(RV 2) Zur Verankerung der aufgeklebten CFK-Lamelle und CF-Gelege müssen für die Biegeverstärkung die Nachweise nach Abschnitt RV 6.1.1 beachtet werden. Bei aufgeklebten Bügeln sind Abschnitt RV 6.2.7 und Abschnitt RV 9.2.7 zu beachten.

(RV 3) Bei der Verankerung der aufgeklebten Stahllaschen müssen für die Biegeverstärkung die Nachweise nach Abschnitt RV 6.1.2 beachtet werden. Bei aufgeklebten Bügeln sind Abschnitt RV 6.2.7 und Abschnitt RV 9.2.7 zu beachten.

RV 8.4.6 Grundmaß des Verbundes für aufgeklebte Bewehrung

(RV 1) Der Verbund aufgeklebter Bewehrung wird durch die Differentialgleichung des verschieblichen Verbundes beschrieben. Als Verbundspannungsschlupfbeziehung wird am ebenen Element ein bilinearer Verbundansatz verwendet, der durch die drei Randwerte s_{L0k} , τ_{L1k} und τ_{LRk} beschrieben wird. Diese Randwerte sind entweder dem Anhang RV K zu entnehmen oder können durch die bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt werden.

(RV 2) Die maximal durch Verbund am Einzelriss aufnehmbare Lamellenspannung ergibt sich nach Gleichung (RV 8.8).

$$f_{bLk,max} = \sqrt{\frac{E_{Lm} \cdot s_{L0k} \cdot \tau_{L1k}}{t_L}} \quad (RV 8.8)$$

$$f_{bLk}(l_{bL}) = \begin{cases} f_{bLk,max} \cdot \frac{l_{bL}}{l_{bL,max}} \left(2 - \frac{l_{bL}}{l_{bL,max}} \right) & l_{bL} < l_{bL,max} \\ f_{bLk,max} & l_{bL} \geq l_{bL,max} \end{cases} \quad (RV 8.9)$$

$$f_{bLd}(l_{bL}) = \frac{f_{bLk}(l_{bL})}{\gamma_{BA}} \quad (RV 8.10)$$

(RV 3) Die dazugehörige maximal wirksame Verbundlänge der aufgeklebten Bewehrung ergibt sich aus der Gleichung (RV 8.11) mit $\kappa_{Lb} = 1,128$.

$$l_{bL,max} = \frac{2}{\kappa_{Lb}} \cdot \sqrt{\frac{E_{Lm} \cdot t_L \cdot s_{L0k}}{\tau_{L1k}}} \quad (RV 8.11)$$

RV 8.4.7 Grundmaß des Verbundes für in Schlitze verklebte Bewehrung

(RV 1) Die Verbundfestigkeit in Schlitze verklebter Bewehrung ergibt sich nach Gleichung (RV 8.12) aus dem Minimum der Verbundfestigkeit von Beton und Klebstoff.

$$\tau_{bLd} = \frac{1}{\gamma_{BE}} \cdot \min \begin{cases} \tau_{bGk} \cdot \alpha_{bG} \\ \tau_{bck} \cdot \alpha_{bc} \end{cases} \quad (RV 8.12)$$

mit der Verbundspannung des Klebstoffs nach Gleichung (RV 8.13):

$$\tau_{bGk} = k_{sys} \cdot \sqrt{\left(2 \cdot f_{Gtk} - 2 \cdot \sqrt{f_{Gtk}^2 + f_{Gck} \cdot f_{Gtk}} + f_{Gck} \right) \cdot f_{Gtk}} \quad (RV 8.13)$$

und der Verbundspannung des Betons nach Gleichung (RV 8.14):

$$\tau_{bck} = k_{bck} \cdot \sqrt{f_{cm}} \quad (RV 8.14)$$

Dabei ist:

- f_{cm} mittlere Zylinderdruckfestigkeit des Betons in N/mm²
- k_{sys} produktspezifischer Systembeiwert für das Klebstoffverbundversagen gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung [-]
Für eine Vordimensionierung kann $k_{sys} = 0,6$ verwendet werden.

k_{bck}	produktspezifischer Systembeiwert für das Verbundversagen des Betons gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung [-] Für eine Vordimensionierung kann $k_{bck} = 4,5$ verwendet werden.
α_{bG}	produktspezifischer Systembeiwert für das Dauerstandsverhalten des Klebstoffs gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung [-] Für eine Vordimensionierung kann $\alpha_{bG} = 0,5$ verwendet werden.
α_{bc}	produktspezifischer Systembeiwert für das Dauerstandsverhalten des Betons gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung [-] Für eine Vordimensionierung kann $\alpha_{bc} = 0,9$ verwendet werden.

8.5 Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.6 Verankerung mittels angeschweißter Stäbe

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.7 Stöße und mechanische Verbindungen

8.7.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.7.2 Stöße

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.7.3 Übergreifungslänge

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.7.4 Querbewehrung im Bereich der Übergreifungsstöße

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.7.5 Stöße von Betonstahlmatten aus Rippenstahl

Keine Ergänzungen oder Änderungen

RV 8.7.6 Lamellenstöße

RV 8.7.6.1 Aufgeklebte CFK-Lamellen

(RV 1) Geklebte Lamellen dürfen durch Überlappung gestoßen werden, wenn die Stoßfuge in einem Bereich angeordnet wird, in dem die vorhandene Lamellenzugkraft nicht größer als die maximal in der Stoßfuge übertragbare Kraft nach Gleichung (RV 8.15) ist. Der Stoß zwischen Lamellen darf als geklebter Übergreifungsstoß ausgebildet werden. Die Übergreifungslänge darf mit Gleichung (RV 8.16) bestimmt werden.

$$F_{üd,max} = \frac{0,753}{\gamma_{BG}} \cdot b_L \cdot \sqrt{E_{Lm} \cdot t_L} \quad (RV 8.15)$$

$$l_{ü,max} = 0,161 \cdot \sqrt{E_{Lm} \cdot t_L} \quad (RV 8.16)$$

(RV 2) Für nicht vorwiegend ruhende Beanspruchung sind geklebte Lamellenstöße nicht zulässig.

RV 8.7.6.2 Aufgeklebte CF-Gelege

(RV 1) Geklebte CF-Gelege dürfen unter folgenden Bedingungen durch Übergreifung gestoßen werden: Der Übergreifungsstoß muss in einem Bereich angeordnet werden, in dem die vorhandene Gelegezugkraft höchstens 60 % der Grenzzugkraft des Geleges beträgt.

(RV 2) Die einzelnen Gelegelagen beider zu stoßender Gelegeabschnitte müssen sich wechselweise mit 250 mm übergreifen.

(RV 3) Für nicht vorwiegend ruhende Beanspruchung sind geklebte Gelegestöße nicht zulässig.

RV 8.7.6.3 Aufgeklebte Stahllaschen

(RV 1) Geklebte Laschen dürfen durch Überlappung gestoßen werden, wenn die Stoßfuge in einem Bereich angeordnet wird, in dem die vorhandene Lamellenzugkraft nicht größer als die maximal in der Stoßfuge übertragbare Kraft nach Gleichung (RV 8.17) ist. Die Verbindung zwischen der Lasche und dem Überlappingsblech gleicher Dicke t_L ist durch Kehlnähte, die nach DIN EN 1993-1-8 zu bemessen sind, vor der Klebung der Lasche auszuführen und auf der Seite wachsender Zugkraft anzuordnen. Auf der Seite abnehmender Zugkraft darf das Überlappingsblech auf die Lasche geklebt werden. Die Übergreifungslänge darf mit Gleichung (RV 8.18) bestimmt werden.

$$F_{üd,max} = \frac{1,004}{\gamma_{BG}} \cdot b_L \cdot \sqrt{E_{Lm} \cdot t_L} \quad (\text{RV 8.17})$$

$$l_{ü,max} = 0,121 \cdot \sqrt{E_{Lm} \cdot t_L} \quad (\text{RV 8.18})$$

(RV 2) Für nicht vorwiegend ruhende Beanspruchung sind geklebte Lamellenstöße nicht zulässig.

8.8 Zusätzliche Regeln bei großen Stabdurchmessern

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.9 Stabbündel

8.9.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.9.2 Verankerung von Stabbündeln

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.9.3 Gestoßene Stabbündel

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.10 Spannglieder

8.10.1 Anordnung von Spanngliedern und Hüllrohren

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.10.2 Verankerung von Spanngliedern im sofortigen Verbund

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.10.3 Verankerungsbereiche bei Spanngliedern im nachträglichen oder ohne Verbund

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.10.4 Verankerungen und Spanngliedkopplungen für Spannglieder

Keine Ergänzungen oder Änderungen

8.10.5 Umlenkstellen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9 Konstruktionsregeln

9.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.2 Balken

9.2.1 Längsbewehrung

9.2.1.1 Mindestbewehrung und Höchstbewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.2.1.2 Weitere Konstruktionsregeln

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.2.1.3 Zugkraftdeckung

(RV 5) Für jedes Bauteil sind die versetzte Zugkraft- und die Zugkraftdeckungslinie für den Grenzzustand der Tragfähigkeit darzustellen. Ein Einschneiden der versetzten Zugkraftlinie ist nicht zulässig.

9.2.1.4 Verankerung der unteren Bewehrung an Endauflagern

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.2.1.5 Verankerung der unteren Bewehrung an Zwischenauflagern

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.2.2 Querkraftbewehrung

(RV 9) Geklebte Bewehrung als Querkraftzulage ist nicht zulässig.

9.2.3 Torsionsbewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.2.4 Oberflächenbewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.2.5 Indirekte Auflager

Keine Ergänzungen oder Änderungen

RV 9.2.6 Verbügelung der geklebten Bewehrung

(RV 1) Der Verankerungsbereich der Biegeverstärkung ist bei Nichterfüllung des Nachweises nach Abschnitt RV 6.2.7 mit einem Laschenbügel aus Stahl oder schubfest verklebten CF-Gelegen zu umschließen. Der Bügel darf höchstens 50 mm vom Lamellenende entfernt angebracht werden (Bild RV 9.1).

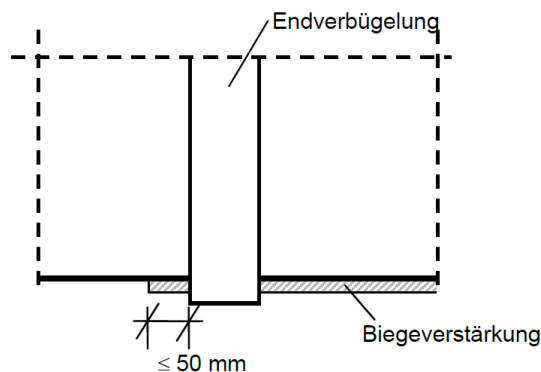


Bild RV 9.1 – Anordnung des Laschenbügels oder CF-Geleges am Lamellenende

(RV 2) Der nach Abschnitt (RV 1) anzuordnende Laschenbügel ist für den Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft nach Gleichung (RV 9.1) auszulegen.

$$F_{LwEd} = F_{LEd}^* \cdot \tan \theta \quad (\text{RV 9.1})$$

(RV 3) Bei aufgeklebten CFK-Lamellen, CF-Gelegen und Stahllaschen entspricht F_{LEd}^* der maximalen Verbundkraft nach Gleichung (RV 9.2).

$$F_{LEd}^* = f_{bLk,max} \cdot b_L \cdot t_L \quad (\text{RV 9.2})$$

(RV 4) Bei in Schlitze verklebten CFK-Lamellen entspricht F_{LEd}^* dem Bemessungswert der Zugkraft der verankerten CFK-Lamellen an deren Ende, die unter der Annahme einer ebenen Dehnungsverteilung und eines starren Verbundes sowie unter Berücksichtigung des Versatzmaßes zu berechnen ist.

(RV 5) In Gleichung (RV 9.1) entspricht θ der dem Querkraftnachweis zugrunde liegenden Druckstrebenwinkel gemäß Abschnitt 6.2 bzw. RV 6.2.6.

(RV 6) Die Verankerung des Bügels kann durch Klebeverbund oder durch eine Verankerung in der Druckzone erfolgen. Der im Bereich der Endverankerung anzuordnende Laschenbügel darf auf die zur Aufnahme der Querkraft erforderlichen Laschenbügel angerechnet werden, wenn dieser den Anforderungen nach Abschnitt RV 6.2.6 entspricht.

(RV 7) Auf die Verankerung der Bügel in der Druckzone darf verzichtet werden, sofern die auf die Bügel entfallende Zugkraft über Klebeverbund an das Betonbauteil übertragen werden kann. Der Nachweis darf nach Gleichung (RV 9.3) erfolgen.

$$F_{LwEd} \leq 2 \cdot F_{bLwRd} \quad (\text{RV 9.3})$$

(RV 8) Die Verbundbruchkraft je Bügelschenkel F_{bLwRd} ist nach Gleichung (RV 9.4) zu berechnen. Die Bügel sind über die gesamte Steghöhe zu verkleben. Als Verbundlänge l_{bL} darf nur die Hälfte der vorhandenen Klebelänge angesetzt werden. Die Verbundfestigkeit $f_{bLd}(l_{bL})$ ist nach Abschnitt RV 8.4.6 zu bestimmen.

$$F_{bLwRd} = b_{Lw} \cdot t_{Lw} \cdot f_{bLd}(l_{bL}) \quad (\text{RV 9.4})$$

(RV 9) Falls eine Verbügelung gemäß Abschnitt 6.2.3 (RV 10), (RV 11) und (RV 12) erforderlich ist, die nicht für die Querkrafttragfähigkeit des Bauteils benötigt wird, kann auf eine Verankerung in der Druckzone verzichtet werden. Die Bemessung der Bügel erfolgt gemäß Gleichung (RV 9.5).

$$V_{LEd} \leq \frac{2 \cdot F_{bLwRd}}{s_{Lw}} \cdot z \cdot \cot \theta \quad (\text{RV 9.5})$$

Dabei ist:

F_{bLwRd}	nach Abschnitt (RV 8) und Gleichung (RV 9.4)
$\cot \theta$	Druckstrebenneigung der Querkraftbemessung
s_{Lw}	Abstand der aufgeklebten Bügel
z	innerer Hebelarm des Bauteils, kann vereinfacht zu $0,9 \cdot d$ angenommen werden

RV 9.2.7 Konstruktive Ausbildung der aufgeklebten Bügel

RV 9.2.7.1 Allgemeines

(RV 1) Im Allgemeinen sind für die aufgeklebten Bügel drei Fälle zu unterscheiden:

- Fall 1: Der aufgeklebte Bügel wird aufgrund der Querkraftbemessung benötigt. Dieser Bügel ist nach Abschnitt RV 6.2.7 bemessen. Werden Laschenbügel als geschlossene Bügel nach Abschnitt RV 6.2.7 ausgeführt, darf der Achsabstand benachbarter Laschenbügel nicht größer als die Balkenhöhe sein. Wenn die Laschenbügel als nicht geschlossene Bügel nach Abschnitt RV 6.2.7 ausgeführt werden, darf der Achsabstand nicht größer als die halbe Balkenhöhe sein. Die Bügel nach Fall 1 können zusätzlich als Endverbügelung nach Abschnitt RV 9.2.6 dienen. Ebenfalls darf mit diesem Bügel eine Verbundkrafterhöhung nach Abschnitt RV 6.1.1.4.4 in Rechnung gestellt werden. Hierbei sind die Einwirkungen aus der Querkraft nach Abschnitt RV 6.2.6, die Einwirkungen aufgrund der Verbügelung gemäß Abschnitt RV 9.2.6 und die Einwirkung aus der Rissöffnungskraft $F_u (\alpha_b)$ nach Gleichung (RV 6.31) zu überlagern.
- Fall 2: Der aufgeklebte Bügel dient als Endverbügelung oder ist aufgrund der Verbügelung gemäß Abschnitt 6.2.3 (RV 10), (RV 11) und (RV 12) erforderlich. Dieser Bügel ist nach Abschnitt RV 9.2.6 bemessen und angeordnet. Es ist nicht erforderlich, diesen Bügel in der Druckzone zu verankern. Mit diesem Bügel darf zusätzlich eine Verbundkrafterhöhung nach Abschnitt RV 6.1.1.4.4 in Rechnung gestellt werden. Hierbei sind die Einwirkungen aufgrund der Verbügelung gemäß Abschnitt RV 9.2.6 mit Einwirkung aus der Rissöffnungskraft $F_u (\alpha_b)$ nach Gleichung (RV 6.31) zu überlagern.
- Fall 3: Der aufgeklebte Bügel wird aufgrund einer Verbundkrafterhöhung nach Abschnitt RV 6.1.1.4.4 angeordnet. Dieser Bügel darf beliebig angeordnet werden und ist für die Rissöffnungskraft $F_u (\alpha_b)$ nach Gleichung (RV 6.31) zu bemessen. Eine Verankerung darf entweder über Klebeverbund nach Abschnitt RV 9.2.6 (RV 8) oder durch zusätzliche Verankerungselemente in der Druckzone erfolgen.

RV 9.2.7.2 Stahllaschenbügel

(RV 1) Die Laschenbügel sind rechtwinklig zur Bauteilachse anzuordnen und über die gesamte Steghöhe zu verkleben. Der Mittenabstand darf dabei die Bauteilhöhe h nicht überschreiten.

(RV 2) Bei Verankerung in der Druckzone darf die zu verankernde Zugkraft auf 2/3 ihres Rechenwertes abgemindert werden, wenn die Einwirkungen vorwiegend ruhend sind.

(RV 3) Bei Bauteilen, die von oben nicht zugänglich sind, darf die Verankerung der Laschenbügel in der Druckzone durch zugelassene Klebeanker erfolgen.

(RV 4) Bei Verankerung durch Klebeverbund sind die Laschenbügel konstruktiv mittels Absturzsicherung (z. B. Dübel) für den Brandfall zu sichern.

(RV 5) Geklebte Laschen dürfen durch Überlappung nach Bild RV 9.2 gestoßen werden, wenn die vorhandene Laschenkraft nicht größer als die maximal in der Stoßfuge übertragbare Kraft nach Gleichung (RV 9.6) ist. Die Übergreifungslänge darf mit Gleichung (RV 9.7) bestimmt werden.

$$F_{ü, \max} = \frac{1,004}{\gamma_{BG}} \cdot b_L \cdot \sqrt{E_{Lm} \cdot t_L} \quad (\text{RV 9.6})$$

$$l_{ü, \max} = 0,121 \cdot \sqrt{E_{Lm} \cdot t_L} \quad (\text{RV 9.7})$$

(RV 6) Bei einem Überlappungsstoß nach (RV 5) bzw. Bild RV 9.2 muss die Schenkellänge der Umschließungsbügel mindestens $l_{s,U} = b_w - 20$ [mm] betragen. Die Schenkellänge des Schlusswinkels muss mindestens $l_{s,A} = (b_w - b_L)/2 + 20$ [mm] betragen, falls eine Verbundkrafterhöhung durch den Bügel nach Abschnitt RV 6.1.1.4.4 angesetzt wird. Andernfalls muss die Schenkellänge des Schlusswinkels mindestens $l_{s,A} = 0,5 \cdot l_{ü, \max}$ betragen.

(RV 7) Für nicht vorwiegend ruhende Beanspruchungen sind geklebte Laschenstöße nicht zulässig.

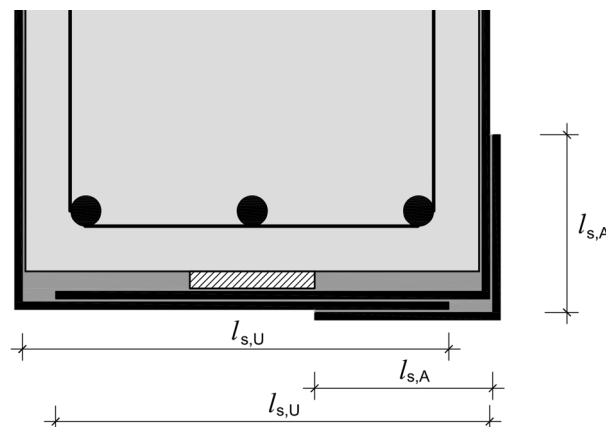


Bild RV 9.2 – Konstruktion eines geklebten Bügelüberlappungsstoßes

RV 9.2.7.3 CF-Gelege

(RV 1) Die CF-Gelege müssen mit einem rechten Winkel der Fasern zur Bauteilachse über die gesamte Steghöhe auflaminiert werden.

(RV 2) Die Lagen können einzeln mit einer Übergreifungslänge von 250 mm gestoßen werden.

(RV 3) Der Mittenabstand der Schub-CF-Gelegestreifen darf die Bauteilhöhe h nicht überschreiten.

(RV 4) Die Ecken der Stege sind mindestens mit $r \geq 25$ mm auszurunden.

9.3 Vollplatten

9.3.1 Biegebewehrung

9.3.1.1 Allgemeines

(RV 6) Für jedes Bauteil sind die versetzte Zugkraft- und die Zugkraftdeckungslinie für den Grenzzustand der Tragfähigkeit darzustellen. Ein Einschneiden der versetzten Zugkraftlinie ist nicht zulässig.

(RV 7) Bei Platten muss die Querbewehrung gemäß DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9.3.1.1, vorhanden sein. Fehlende Querbewehrung darf durch geklebte Bewehrung ergänzt werden. Dabei ist für die Bemessung als maximale Lamellenkraft die Verbundbruchkraft nach Abschnitt RV 6.1.1.5 bzw. RV 6.1.2.4 anzusetzen.

(RV 8) Bei einachsig gespannten Platten sind für die Querbewehrung 20 % der vorhandenen Betonstahlbewehrung auch bei verstärkten Bauteilen ausreichend.

(RV 9) Bei gelenkig gelagerten Platten ist in der Regel mindestens die Hälfte der erforderlichen Feldbewehrung über das Auflager zu führen und dort sinngemäß nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 8.4.4, zu verankern. Dabei ist das Versatzmaß a_l der Platten ohne Querkraftbewehrung mit $1,0d$ anzusetzen. Wird bei verstärkten Platten weniger als 50 % der erforderlichen Feldbewehrung im Auflager verankert, ist das Versatzmaß mit dem Faktor $0,5 \cdot (\text{erf } A_{s,\text{Feld}} / \text{vorh } A_{s,\text{Auflager}}) \geq 1,0$ zu vergrößern. Unabhängig davon sind bei verstärkten Bauteilen stets mindestens 25 % von $A_{s,\text{Feld}}$ über das Auflager zu führen.

(RV 10) Bei dem Nachweis der Endverankerung der Lamelle bzw. Stahllasche nach Abschnitt RV 6.1.1.4 und RV 6.1.2.3 darf das Versatzmaß bei Platten in Änderung zu DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9.3.1.1 (4), zu $0,5 \cdot h$ bestimmt werden. Bei der Verankerung der Längsbewehrung ist das Versatzmaß gemäß DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9.3.1.1 (4), anzusetzen.

9.3.1.2 Bewehrung von Platten in Auflagernähe

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.3.1.3 Eckbewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.3.1.4 Randbewehrung an freien Rändern von Platten

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.3.2 Querkraftbewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.4 Flachdecken

9.4.1 Flachdecken im Bereich von Innenstützen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.4.2 Flachdecken im Bereich von Randstützen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.4.3 Durchstanzbewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.5 Stützen

9.5.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.5.2 Längsbewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.5.3 Querbewehrung

(RV 7) Bei unverstärkten Stützen mit unzureichender Querbewehrung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9.5.3, darf die fehlende Querbewehrung durch aufgeklebte CF-Gelege ergänzt werden. Diese müssen mindestens zweilagig als Umwicklung verklebt werden. Der erforderliche Gelegequerschnitt darf mit Gleichung (RV 9.8) berechnet werden. Die Konstruktionshinweise gemäß RV 9.5.4 sind ebenfalls zu beachten.

$$A_{L,\text{erf}} = \frac{A_{s,\text{erf}} \cdot f_{yd}}{0,9 \cdot f_{Lwd,\text{GF}}} \quad (\text{RV 9.8})$$

Dabei ist:

$A_{s,\text{erf}}$	erforderliche Querbewehrung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9.5.3
f_{yd}	Bemessungswert der Fließgrenze der Längsbewehrung
$f_{Lwd,\text{GF}}$	Bemessungswert der Festigkeit des Geleges nach Gleichung (RV 6.115)

RV 9.5.4 Stützenverstärkung

(RV 1) Zur Stützenverstärkung nach Abschnitt RV 6.1.4 müssen die Stützen horizontal und vollflächig über die gesamte Stützhöhe nach Bild RV 9.3 mit CF-Gelegen umwickelt und verklebt werden.

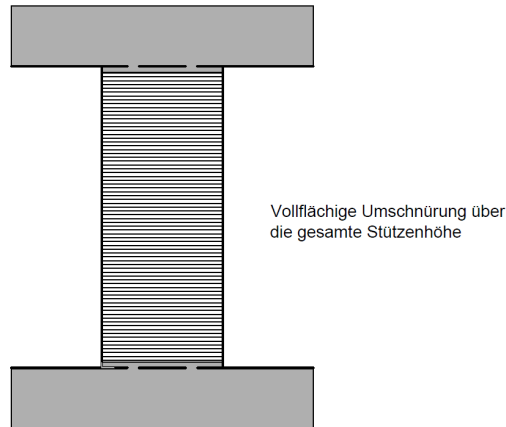


Bild RV 9.3 – Anordnung der CF-Gelege

(RV 2) Die Überlappungslänge der CF-Gelege muss mindestens 250 mm betragen.

(RV 3) Die Ecken der Rechteckstützen sind mindestens mit $r \geq 25$ mm auszurunden.

9.6 Wände

9.6.1 Allgemeines

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.6.2 Vertikale Bewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.6.3 Horizontale Bewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.6.4 Querbewehrung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.7 Wandartige Träger

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.8 Gründungen

9.8.1 Pfahlkopfplatten

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.8.2 Einzel- und Streifenfundamente

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.8.3 Zerrbalken

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.8.4 Einzelfundament auf Fels

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.8.5 Bohrpfähle

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.9 Bereiche mit geometrischen Diskontinuitäten oder konzentrierten Einwirkungen (D-Bereiche)

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.10 Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Ereignissen

9.10.1 Allgemeines

(RV 7) Stahllaschen und Stahllaschenbügel sind konstruktiv mittels Absturzsicherung (z. B. Dübel) für den Brandfall zu sichern.

9.10.2 Ausbildung von Zugankern

Keine Ergänzungen oder Änderungen

9.10.3 Durchlaufwirkung und Verankerung von Zugankern

Keine Ergänzungen oder Änderungen

10 Zusätzliche Regeln für Bauteile und Tragwerke aus Fertigteilen

Keine Ergänzungen oder Änderungen

11 Zusätzliche Regeln für Bauteile und Tragwerke aus Leichtbeton

Dieser Teil der Richtlinie gilt nicht für das Verstärken von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen aus Leichtbeton.

12 Tragwerke aus unbewehrtem oder gering bewehrtem Beton

Keine Ergänzungen oder Änderungen

Anhang A – Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten für Baustoffe

Keine Ergänzungen oder Änderungen

Anhang B – Kriechen und Schwinden

Keine Ergänzungen oder Änderungen

Anhang C – Eigenschaften des Betonstahls

Keine Ergänzungen oder Änderungen

Anhang D – Genauere Methode zur Berechnung von Spannkraftverlusten aus Relaxation

Keine Ergänzungen oder Änderungen

Anhang E – Indikative Mindestfestigkeitsklassen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit

Keine Ergänzungen oder Änderungen

Anhang F – Gleichungen für Zugbewehrung für den ebenen Spannungszustand

Keine Ergänzungen oder Änderungen

Anhang G – Boden-Bauwerk-Interaktion

Keine Ergänzungen oder Änderungen

Anhang H – Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung

Keine Ergänzungen oder Änderungen

Anhang I – Ermittlung der Schnittgrößen bei Flachdecken und Wandscheiben

Keine Ergänzungen oder Änderungen

Anhang J – Konstruktionsregeln für ausgewählte Beispiele

Keine Ergänzungen oder Änderungen

Anhang RV K – Empfohlene Systembeiwerte (informativ)

RV K.1 Verbundwerte für aufgeklebte Bewehrung

Tabelle RV K.1 – Verbundwerte für aufgeklebte Bewehrung

Spalte	1	2	3	4
Zeile		\bar{a}_{1k}	s_{L0k}	\bar{a}_{LFk}
1	Stahllaschen	$0,300 \cdot \sqrt{\alpha_{cc} \cdot f_{cm} \cdot \alpha_{ct} \cdot f_{ctm,surf}}$	0,185 mm	0
2	CFK-Lamellen	$0,366 \cdot \sqrt{\alpha_{cc} \cdot f_{cm} \cdot \alpha_{ct} \cdot f_{ctm,surf}}$	0,201 mm	$10,8 \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{cm}^{-0,89}$

Dabei ist:

- $f_{ctm,surf}$ Mittelwert der Oberflächenzugfestigkeit in N/mm² (nach Teil 4)
- f_{cm} Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit in N/mm² (nach Teil 4)
- α_{cc} Beiwert zur Berücksichtigung der Langzeitauswirkungen auf die Betondruckfestigkeit.
 α_{cc} gemäß DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang
- α_{ct} Beiwert zur Berücksichtigung der Langzeitauswirkungen auf die Betonzugfestigkeit.
 α_{ct} gemäß DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang

RV K.2 Systembeiwerte für Stützen

Empfehlungen für die Vorbemessung:

- $k_0 = 0,2 \cdot 1/(N/mm^2)$
- $k_1 = 2,0$
- $k_2 = 0,25$
- $k_3 = 0,7$
- $k_4 = 1,0$ (Hochbau)
- $k_5 = 1,0$ (Hochbau)
- $k_6 = 0,75$
- $k_7 = 0,39$
- $k_8 = 0,89$
- $k_9 = 0,44 \cdot 10^{-2}$

Anhang RV L – Ermittlung von Querschnittswerten (informativ)

RV L.1 Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

RV L.1.1 Allgemein

(RV 1) Im Bereich linear-elastischen Betonverhaltens und reiner Biegebeanspruchung ($N_{Ed} = 0$) entspricht die Dehnungsnulllinie der mechanischen Schwerpunktlinie des gerissenen Querschnitts. Für diese Voraussetzung sind die Spezialfälle des Rechteckquerschnitts und des Plattenbalkenquerschnitts in den nachfolgenden Abschnitten gelöst.

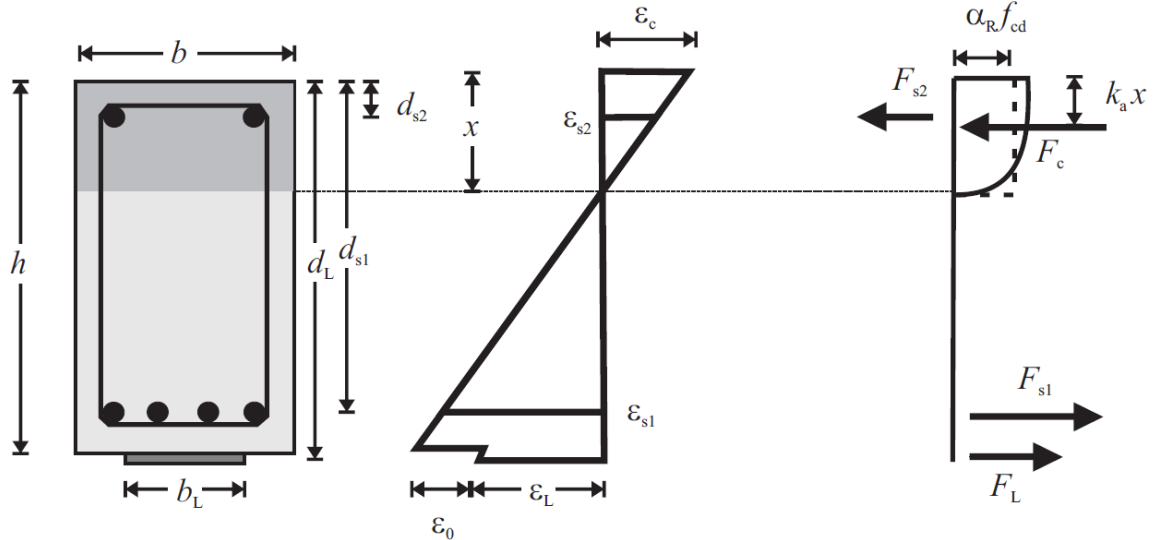


Bild RV L.1 – Formelzeichen zur Ermittlung der Querschnittswerte

RV L.1.2 Rechteckquerschnitte

(RV 1) Bei Rechteckquerschnitten darf die Druckzone mit der Gleichung (RV L.1) bestimmt werden. Falls keine Druckbewehrung vorhanden ist, kann ρ_{s2} zu null gesetzt werden.

$$x = \left[-(\alpha_L \cdot \rho_L + \alpha_s \cdot (\rho_{s1} + \rho_{s2})) + \sqrt{(\alpha_L \cdot \rho_L + \alpha_s \cdot (\rho_{s1} + \rho_{s2}))^2 + 2 \cdot \left(\alpha_L \cdot \rho_L \cdot \frac{d_L}{h} + \alpha_s \cdot \left(\rho_{s1} \cdot \frac{d}{h} + \rho_{s2} \cdot \frac{d_2}{h} \right) \right)} \right] \cdot h \quad (\text{RV L.1})$$

Dabei ist:

$$\rho_{s1} = \frac{A_{s1}}{b \cdot h} \quad \rho_{s2} = \frac{A_{s2}}{b \cdot h} \quad \rho_L = \frac{A_L}{b \cdot h}$$

$$\alpha_s = \frac{E_s}{E_c} \quad \alpha_L = \frac{E_L}{E_c}$$

(RV 2) Die inneren Hebelarme können vereinfacht mit Gleichung (RV L.2) beziehungsweise (RV L.3) bestimmt werden

$$z_s = d - k_a \cdot x \approx d - 0,4 \cdot x \quad (\text{RV L.2})$$

$$z_L = h - k_a \cdot x \approx h - 0,4 \cdot x \quad (\text{RV L.3})$$

RV L.1.3 Plattenbalken

(RV 1) Bei Plattenbalken, bei denen die Druckzone nur in der Platte liegt, darf die Gleichung (RV L.1) mit $b = b_{\text{eff}}$ angewendet werden.

(RV 2) Bei Plattenbalken, bei denen die Druckzone auch im Steg liegt, darf die Druckzone mit Gleichung (RV L.4) und den zugehörigen Werten nach den Gleichungen (RV L.5) und (RV L.6) verwendet werden.

$$x = \left(-A + \sqrt{A^2 + B} \right) \cdot h \quad (\text{RV L.4})$$

$$A = \frac{h_t}{h} \cdot \left(\frac{b_{\text{eff}}}{b_w} - 1 \right) + \alpha_s \cdot (\rho_{s1} + \rho_{s2}) + \alpha_L \cdot \rho_L \quad (\text{RV L.5})$$

$$B = 2 \cdot \left(\frac{h_t}{h} \right)^2 \cdot \left(\frac{b_{\text{eff}}}{b_w} - 1 \right) + 2 \cdot \left(\alpha_L \cdot \rho_L \cdot \frac{d_L}{h} + \alpha_s \cdot \left(\rho_{s1} \cdot \frac{d}{h} + \rho_{s2} \cdot \frac{d_2}{h} \right) \right) \quad (\text{RV L.6})$$

(RV 3) Die inneren Hebelarme können vereinfacht mit Gleichung (RV L.7) beziehungsweise (RV L.8) bestimmt werden.

$$z_s = d - k_a \cdot x \approx d - 0,4 \cdot x \quad (\text{RV L.7})$$

$$z_L = h - k_a \cdot x \approx h - 0,4 \cdot x \quad (\text{RV L.8})$$

RV L.2 Im Grenzzustand der Tragfähigkeit

(RV 1) Mithilfe des Gleichgewichts der äußeren und der inneren Kräfte nach Gleichung (RV L.9) und (RV L.11) dürfen am gerissenen Querschnitt iterativ die Dehnungen und somit die Kräfte und Hebelarme bestimmt werden. Nachfolgend ist der dafür benötigte Formelapparat angegeben.

(RV 2) Das Gleichgewicht der äußeren Kräfte erhält man über das Gleichsetzen der Einwirkung und des Widerstandes.

$$M_{\text{Rd}} = M_{\text{Ed}} \quad (\text{RV L.9})$$

(RV 3) Der Widerstand des Querschnitts auf Biegung berechnet sich über die Bewehrung und deren Hebelarm mit Gleichung (RV L.10).

$$M_{\text{Rd}} = A_{s1} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s1} \cdot (d - k_a \cdot x) + A_L \cdot E_L \cdot \varepsilon_L \cdot (d_L - k_a \cdot x) + A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s2} \cdot (k_a \cdot x - d_2) \quad (\text{RV L.10})$$

(RV 4) Das Gleichgewicht der inneren Kräfte wird mit Gleichung (RV L.11) beschrieben.

$$\alpha_R \cdot f_{\text{cd}} \cdot b \cdot x + A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s2} = A_{s1} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s1} + A_L \cdot E_L \cdot \varepsilon_L \quad (\text{RV L.11})$$

(RV 5) Die Dehnung der Bewehrungen kann dabei unter der Annahme eines ebenbleibenden Querschnitts über die Betonstauchung ermittelt werden.

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_c \cdot \frac{d_2 - x}{x} \leq \frac{f_{\text{yd}}}{E_s} \quad (\text{RV L.12})$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_c \cdot \frac{d - x}{x} - \varepsilon_0 \leq \frac{f_{\text{yd}}}{E_s} \quad (\text{RV L.13})$$

$$\varepsilon_L = \varepsilon_c \cdot \frac{d_L - x}{x} - \varepsilon_0 \leq \varepsilon_{\text{Lud}} \quad (\text{RV L.14})$$

(RV 6) Der Völligkeitsbeiwert und der Beiwert für den inneren Hebelarm auf Grundlage des Parabel-Rechteckdiagramms für den Beton ergeben sich in Abhängigkeit der Betonstauchung mit den Gleichungen (RV L.15) und (RV L.16). Die vereinfachte Ermittlung der Betondruckkräfte mit einem Spannungsblock nach DIN EN 1992-1-1 ist zulässig.

$$\alpha_R = \begin{cases} 1000\varepsilon_c \cdot \left(0,5 - \frac{1000}{12} \cdot \varepsilon_c\right) & \text{für } \varepsilon_c \leq 0,002 \\ 1 - \frac{2}{3000 \cdot \varepsilon_c} & \text{für } 0,002 \leq \varepsilon_c \leq 0,0035 \end{cases} \quad (\text{RV L.15})$$

$$k_a = \begin{cases} \frac{8 - 1000 \cdot \varepsilon_c}{4 \cdot (6 - 1000 \cdot \varepsilon_c)} & \text{für } \varepsilon_c \leq 0,002 \\ \frac{1000 \cdot \varepsilon_c \cdot (3000 \cdot \varepsilon_c - 4) + 2}{2000 \cdot \varepsilon_c \cdot (3000 \cdot \varepsilon_c - 2)} & \text{für } 0,002 \leq \varepsilon_c \leq 0,0035 \end{cases} \quad (\text{RV L.16})$$

RV L.3 Näherungsverfahren für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

(RV 1) Die Betonstahlspannung aus der Vordehnung kann vereinfacht mit Gleichung (RV L.17) aus dem Moment während des Verstärkens auf Gebrauchstauglichkeitsniveau bestimmt werden.

$$\sigma_{s,0}(x) = \frac{M_{\text{Eqp},0}(x)}{z_s \cdot A_s} = \frac{M_{\text{Eqp},0}(x)}{0,85 \cdot d \cdot A_s} \leq f_{yd} \quad (\text{RV L.17})$$

(RV 2) Das nach dem Verstärken wirksame Moment darf mit Gleichung (RV L.18) berechnet werden.

$$\Delta M_{\text{Ed}}(x) = M_{\text{Ed},V}(x) - M_{\text{Eqp},0}(x) \quad (\text{RV L.18})$$

(RV 3) Die Betonstahlspannung im verstärkten Zustand kann vereinfacht mit Gleichung (RV L.19) ermittelt werden.

$$\sigma_s(x) = \sigma_{s,0}(x) + \frac{\Delta M_{\text{Ed}}(x)}{z_m} \cdot \frac{d \cdot E_s}{d_L \cdot E_{Lm} \cdot A_L + d \cdot E_s \cdot A_s} \leq f_{yd} \quad (\text{RV L.19})$$

Dabei ist

$$z_m \approx 0,75 \cdot \frac{d_L \cdot E_{Lm} \cdot A_L + d \cdot E_s \cdot A_s}{E_{Lm} \cdot A_L + E_s \cdot A_s} \quad (\text{RV L.20})$$

(RV 4) Die Lamellenkraft darf vereinfacht in Abhängigkeit der Betonstahlspannung im verstärkten Zustand mit Gleichung (RV L.21) ermittelt werden.

$$F_{\text{LEd}}(x) = \begin{cases} \frac{\Delta M_{\text{Ed}}(x)}{z_m} \cdot \frac{d_L \cdot E_{Lm} \cdot A_L}{d_L \cdot E_{Lm} \cdot A_L + d \cdot E_s \cdot A_s} & \text{für } \sigma_s(x) < f_{yd} \\ \frac{M_{\text{Ed},V}(x)}{z_m} - A_s \cdot f_{yd} & \text{für } \sigma_s(x) \geq f_{yd} \end{cases} \quad (\text{RV L.21})$$

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung

Teil 2: Produkte und Systeme für das Verstärken

Teil 2: Produkte und Systeme für das Verstärken

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Anwendungsbereich.....	82
2 Normative Verweisungen	82
3 Verstärkungssystem.....	82
3.1 Allgemeines.....	82
3.2 Klebstoff	83
3.3 CFK-Lamellen	83
3.4 CF-Gelege.....	84
3.5 Produkte für Ausgleichsschichten	84
3.6 Primer für den Korrosionsschutz.....	85
3.7 Stahlprofile und Befestigungssysteme.....	85

1 Anwendungsbereich

- (1) Dieser Teil der Richtlinie enthält eine allgemeine Beschreibung der Produkte und Systeme für das Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung.
- (2) Bei Anwendung der Richtlinie im bauaufsichtlichen Bereich ist für die Verstärkungssysteme als Verwendbarkeitsnachweis eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich.
- (3) Die Anforderungen an Produkte und Systeme für das Verstärken von Betonbauteilen gemäß den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind zu beachten.

2 Normative Verweisungen

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

DIN 18551, *Spritzbeton - Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN EN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen*

DIN EN 206-1, *Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

DIN EN 1993-1-1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

DIN EN 2561, *Luft- und Raumfahrt - Kohlenstoffaserverstärkte Kunststoffe - Unidirektionale Lamine - Zugprüfung parallel zur Faserrichtung*

DIN EN 10025-2, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*

DIN EN 14487-1, *Spritzbeton - Teil 1: Begriffe, Festlegungen und Konformität*

DAfStb-Richtlinie *Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Ausgabe 2001*

DAfStb-Richtlinie *Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel*

3 Verstärkungssystem

3.1 Allgemeines

(1) Ein Verstärkungssystem besteht aus unterschiedlichen, aufeinander abgestimmten Bauprodukten. Ihre Verwendbarkeit als Bestandteil des Verstärkungssystems ist im Rahmen eines allgemeinen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweises (z. B. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall) des Verstärkungssystems nachzuweisen. Im Richtlinien text wird im Regelfall der Begriff „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“ hierfür verwendet.

(2) Die einzelnen Produkte des Verstärkungssystems müssen vom Hersteller mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) nach den Übereinstimmungszeichen-Verordnungen der Länder gekennzeichnet sein.

(3) Ein Verstärkungssystem besteht insbesondere aus:

- den Verstärkungselementen aus Kohlefaserwerkstoffen (CFK-Lamellen oder CF-Gelege) oder Flachstahlprofilen (Stahllaschen oder Stahlwinkelprofile);
- dem Klebstoff;
- einem Primer auf Epoxidharzbasis als Bestandteil des Korrosionsschutzes von Stahlteilen;
- einem Reprofiliermörtel auf Epoxidharzbasis einschließlich Haftbrücke.

3.2 Klebstoff

(1) Zur Verklebung der Verstärkungsprofile sind für den Anwendungsfall zugelassene Klebstoffe zu verwenden. Die Anforderungen an die Klebstoffe sind in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt.

(2) Zu dem Klebstoff müssen mindestens folgende Angaben vorliegen:

- Produktbezeichnung und Hersteller;
- Chargennummer;
- Mindesthaltbarkeitsdatum;
- minimale und maximale Verarbeitungstemperatur;
- Mischungsverhältnis von Harz- und Härterkomponente;
- Hinweis auf Arbeitsvorschriften (Merkblatt) und Arbeitshygiene;
- Angaben zur Lagerung;
- Angaben zum Mischen;
- Gebindeverarbeitungszeit im Bereich der Anwendungstemperatur;
- Gefahrenhinweise;
- Hinweise zur Entsorgung.

(3) Die Richtlinie ist nur anwendbar, wenn im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle eine charakteristische Zugfestigkeit des Klebstoffs auf Epoxidharzbasis für das oberflächliche Verkleben von Verstärkungsprofilen $\geq 14 \text{ N/mm}^2$ gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen nachgewiesen ist.

ANMERKUNG: Durch Festlegung eines Mindestwertes für den charakteristischen Wert der Zugfestigkeit wird sichergestellt, dass die Grundannahme in der Bemessung, dass die oberflächennahe Betonschicht versagt, eingehalten ist.

(4) Für in Schlitze verklebte Lamellen sind entsprechende charakteristische Werte für die Druck- und die Zugfestigkeit den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu entnehmen.

3.3 CFK-Lamellen

(1) Die Kohlefaserlamellen (CFK-Lamellen) müssen werkmäßig hergestellte Profile aus Epoxidharz mit einem in den Produktzulassungen definierten Gehalt an unidirektionalen Kohlenstofffasern sein. Die Lamellen sind gekennzeichnet durch:

- ihre mechanischen Eigenschaften in Faserrichtung (Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul, Bruchdehnung);
- die Charakterisierung des Matrixharzes (Bindemittelart, Glasübergangstemperatur);
- ihre geometrischen Abmessungen (Lamellendicke und –breite);
- ihre Oberflächengestaltung (glatt, angeschliffen, profiliert).

(2) Entsprechende Festlegungen enthalten die jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. die Angaben des Herstellers zur Ausführung.

(3) Die Bemessungsgleichungen in Teil 1 dieser Richtlinie gelten für CFK-Lamellen, welche eine Dicke von 1 mm bis 3 mm aufweisen.

(4) Der mittlere Elastizitätsmodul der CFK-Lamellen, bestimmt nach DIN EN 2561, muss sich bei der Anwendung dieser Richtlinie im Bereich von 150 bis 230 kN/mm² befinden.

3.4 CF-Gelege

(1) Die Kohlefasergelege (CF-Gelege) sind unidirektional ausgerichtete Kohlenstofffasern. Die Gelege sind gekennzeichnet durch folgende Eigenschaften:

- Zugfestigkeit in Faserrichtung;
- Elastizitätsmodul in Faserrichtung;
- Bruchdehnung in Faserrichtung;
- geometrische Abmessungen und Flächengewicht;
- rechnerische Dicke (entspricht der theoretischen Dicke).

(2) Entsprechende Festlegungen enthalten die jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. die Angaben des Herstellers zur Ausführung.

(3) Für die Anwendung der Umschnürungsbewehrung bei der Verstärkung von Stützen sind zusätzlich die folgenden Systembeiwerte durch die in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung enthaltenen system-spezifischen Beiwerte zu ersetzen:

k_0	Beiwert zur Ermittlung der Mindestdicke der Umschnürungsbewehrung, um den streng monoton steigenden Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Linie des umschnürten Betons zu gewährleisten, der dem Bemessungskonzept zugrunde liegt
k_1	Beiwert für die Bestimmung der charakteristischen Druckfestigkeit des umschnürten Betons
k_2	Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses der Randbedingungen am Bauteil auf die ansetzbare Bruchdehnung der CF-Gelege
k_3	Beiwert zur Berücksichtigung des Temperatureinflusses auf die ansetzbare Bruchdehnung der CF-Gelege
k_4	Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses der Feuchtigkeit auf die ansetzbare Bruchdehnung der CF-Gelege
k_5	Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses der Art der Beanspruchung (vorwiegend ruhend bzw. nicht vorwiegend ruhend) auf die ansetzbare Bruchdehnung der CF-Gelege
k_6	Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses der Dauer der Beanspruchung auf die ansetzbare Bruchdehnung der CF-Gelege
k_7	Beiwert zur Bestimmung der effektiven Kriechzahl des umschnürten Betons
k_8, k_9	Beiwerte zur Ermittlung des Anteils der Tragfähigkeit der umschnürten Stütze, der im Gebrauchszustand nicht zu einer Schädigung führt

3.5 Produkte für Ausgleichsschichten

Zur Reprofilierung von Fehlstellen im Untergrund, auf die die Lamelle eingebettet oder aufgeklebt wird, können folgende Produkte mit nachgewiesenen Eigenschaften verwendet werden:

- Instandsetzungsbetone bzw. -mörtel der Beanspruchbarkeitsklasse M3 gemäß DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 2: Bauprodukte und Anwendung, Abschnitt 4.2;
- Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklasse;
- Vergussbeton nach der DAfStb-Richtlinie Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklasse;
- Spritzbeton nach DIN EN 14487-1 in Verbindung mit DIN 18551 unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklasse;
- zur Reprofilierung kleinflächiger Unebenheiten darf auch der in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen enthaltene Reparaturmörtel verwendet werden.

3.6 Primer für den Korrosionsschutz

(1) Für den Korrosionsschutz von Stahlprofilen sind für den Anwendungsfall zugelassene Primer zu verwenden. Die Anforderungen an die Primer sind in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt.

(2) Die Richtlinie ist nur anwendbar, wenn im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle eine charakteristische Zugfestigkeit des Primers für Stahlprofile $\geq 14 \text{ N/mm}^2$ gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen nachgewiesen ist.

(3) Zu dem Primer müssen mindestens folgende Angaben vorliegen:

- Produktbezeichnung und Hersteller;
- Chargennummer;
- Mindesthaltbarkeitsdatum;
- minimale und maximale Verarbeitungstemperatur;
- Mischungsverhältnis von Harz- und Härterkomponente;
- Hinweis auf Arbeitsvorschriften (Merkblatt) und Arbeitshygiene;
- Angaben zur Lagerung;
- Angaben zum Mischen;
- Angaben zur Aushärtedauer bis zum Erreichen der charakteristischen Zugfestigkeit;
- Gebindeverarbeitungszeit im Bereich der Anwendungstemperatur;
- Gefahrenhinweise;
- Hinweise zur Entsorgung.

3.7 Stahlprofile und Befestigungssysteme

(1) Die Stahlprofile müssen aus Stahl der Sorte S235 der Güteklasse JR oder J2 nach DIN EN 10025-2 bestehen. Die charakteristischen Materialkennwerte für Stahl der Sorte S 235 nach DIN EN 10025-2 sind DIN EN 1993-1-1, Tabelle 3.1, zu entnehmen.

(2) Es dürfen auch Stähle der Sorte S355 nach DIN EN 10025-2 verwendet werden. In der Bemessung dürfen hierbei jedoch keine höheren Materialkennwerte als die in der DIN EN 1993-1-1, Tabelle 3.1, für den Stahl der Sorte 235 angegebenen angesetzt werden.

(3) Unter folgenden Voraussetzungen darf der Stahl der Güteklasse JR nach DIN EN 10025-2 analog des Einsatzbereiches der Güteklasse J2 mit einer Stahllaschendicke $t_L \leq 15 \text{ mm}$ verwendet werden:

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

(4) Sofern Stahlteile am Bauteil verankert werden müssen, sind für den Anwendungsbereich bauaufsichtlich zugelassene Befestigungssysteme zu verwenden. Die Ankerschrauben müssen der Festigkeitsklasse 4.6, 5.6, 8.8 oder 10.9 entsprechen.

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung

Teil 3: Ausführung

Teil 3: Ausführung

Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Anwendungsbereich.....	91
2	Normative Verweisungen	91
3	Anforderungen an das ausführende Unternehmen.....	91
3.1	Allgemeines.....	91
3.2	Personal	92
3.2.1	Bauleiter	92
3.2.2	Baustellenfachpersonal.....	92
3.3	Geräteausstattung.....	93
3.4	Nachunternehmer	94
4	Ausführung der Bauteilverstärkungen	94
4.1	Allgemeines.....	94
4.2	Anforderungen an das Verstärkungssystem.....	94
4.3	Witterungs- und Umgebungsbedingungen	94
4.4	Untergrundvorbereitung	94
4.4.1	Verklebung von CFK-Lamellen und Stahllaschen auf die Bauteiloberfläche	94
4.4.2	Verklebung von CF-Gelegen.....	95
4.4.3	Verklebung in Schlitze in die Betonrandzone	95
4.5	Reprofilierarbeiten	96
4.6	Vorbereitung der Faserverbundwerkstoffe und Stahllaschen für die Verklebung	97
4.6.1	CFK-Lamellen	97
4.6.2	Stahllaschen.....	97
4.6.3	CF-Gelege.....	97
4.7	Anmischen des Klebstoffs.....	97
4.8	Klebearbeiten	98
4.8.1	Allgemeine Festlegungen.....	98
4.8.2	Oberflächige Verklebung der CFK-Lamellen und Stahllaschen	98
4.8.3	Oberflächige Verklebung der CF-Gelege.....	98
4.8.4	In Schlitze verklebte CFK-Lamellen	99
4.9	Belastung der Konstruktion	99
4.10	Bauteilexpositionen während der Ausführung	99
4.11	Grenzabmaße	99
5	Überwachung der Ausführung (Eigenüberwachung des ausführenden Unternehmens) .	99
5.1	Allgemeine Anforderungen.....	99
5.2	Kontrolle der Untergrundvorbereitung.....	100
5.2.1	Kontrolle der Betondruckfestigkeit	100
5.2.2	Kontrolle der Oberflächenzugfestigkeit des Untergrundes	100
5.2.3	Kontrolle der Betondeckung vor Schneidearbeiten bei in Schlitze eingeklebter Bewehrung ...	100
5.3	Kontrolle der Reprofilierarbeiten	102
5.3.1	Kontrolle der Verbundfestigkeit der Reprofilierschicht am Untergrund.....	102
5.3.2	Kontrolle der Druckfestigkeit des Reprofiliermaterials	102
5.4	Kontrolle der Klebearbeiten.....	103
5.4.1	Erhärtungsprüfung des Klebstoffs am Bauteil gegebenenfalls mit Ausgleichsschichten	103
5.4.2	Mechanische Eigenschaften des Klebstoffs und des Primers	103
5.4.3	Verbund des Klebstoffs auf vorbehandeltem Stahl.....	104
5.5	Kontrollen nach der Ausführung	105
5.6	Korrosionsschutzarbeiten.....	105

Anhang A – Ständige Baustoffprüfstelle (normativ)	106
Anhang B – Prüfverfahren in der Ausführung (normativ)	107
Anhang C – Überwachung der Arbeiten durch eine anerkannte Überwachungsstelle (normativ)	108
Anhang D – Eignungsnachweise für Unternehmen zum Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung (normativ)	109
D.1 Allgemeines	109
D.2 Formale Voraussetzungen an den Betrieb und das Fachpersonal	109
D.3 Eignungsversuche	110
D.3.1 Allgemeine Anforderungen	110
D.3.2 Verstärken mit CFK-Lamellen und Stahllaschen durch Aufkleben auf die Bauteiloberfläche ..	110
D.3.3 Verstärken mit CFK-Lamellen, Stahllaschen durch Aufkleben auf die Bauteiloberfläche sowie mit in Schlitze geklebter CFK-Lamellen	111
D.3.4 Verstärken durch Auflaminieren von CF-Gelegen auf die Bauteiloberfläche für Umwicklungen	111
D.3.5 Verstärken durch Auflaminieren von CF-Gelegen auf die Bauteiloberfläche für die Biegezugverstärkung	111
D.4 Zertifizierung des Fachbetriebs	112

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Richtlinie legt Regelungen hinsichtlich der Ausführung von Verstärkungsmaßnahmen mit geklebter Bewehrung fest.

2 Normative Verweisungen

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*

DIN 1045-3:2012-03, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 3: Bauausführung - Anwendungsregeln zu DIN EN 13670*

DIN 18551, *Spritzbeton - Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN EN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen*

DIN 18800-7, *Stahlbauten - Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation*

DIN V 18028, *Rissfüllstoffe nach DIN EN 1504-5:2005-03 mit besonderen Eigenschaften*

DIN EN 196-1, *Prüfverfahren für Zement - Teil 1: Bestimmung der Festigkeit*

DIN EN 206-1, *Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

DIN EN 1504-5, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität - Teil 5: Injektion von Betonbauteilen*

DIN EN 1542, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch*

DIN EN 1766, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Referenzbetone für Prüfungen*

DIN EN 1990, *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung*

DIN EN 1992-1-1, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

DIN EN 10025-2, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*

DIN EN 13670, *Ausführung von Tragwerken aus Beton*

DIN EN 13791, *Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen*

DIN EN 14487, *Spritzbeton - Teil 1: Begriffe, Festlegungen und Konformität*

DIN EN ISO 12944-2, *Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen*

DIN EN ISO 12944-4, *Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 4: Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitung*

DIN EN ISO 12944-7, *Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 7: Ausführung und Überwachung der Beschichtungsarbeiten*

DAfStb-Richtlinie *Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Ausgabe 2001*

DAfStb-Richtlinie *Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel*

DBV-Merkblatt „*Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode 2*“

3 Anforderungen an das ausführende Unternehmen

3.1 Allgemeines

(1) Für die Ausführung und Überwachung von Verstärkungsmaßnahmen mit geklebter Bewehrung werden an das ausführende Unternehmen Anforderungen bezüglich Personal, Geräteausstattung und Dokumentation gestellt.

(2) Der Nachweis der Fachqualifikation des Unternehmens erfolgt durch eine vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) zertifizierte Überwachungsstelle über

- die Zertifizierung gemäß Hersteller- und Anwenderverordnung (HAVO) für die Instandsetzung von tragenden Bauteilen, deren Standsicherheit gefährdet ist sowie
- einen Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung (Anforderungen gemäß Anhang D).

(3) Für Verstärkungsmaßnahmen mit geklebter Bewehrung dürfen nur die zugelassenen und im System geprüften Produkte verwendet werden.

(4) Die Angaben des Herstellers zur Ausführung gemäß den Regelungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Verstärkungssysteme sind zu beachten.

3.2 Personal

3.2.1 Bauleiter

(1) Die Verantwortlichkeiten und Aufgaben des Bauleiters sind in der jeweiligen Landesbauordnung geregelt. Verfügt der Bauleiter nicht über die erforderliche Sachkunde gemäß den Regelungen dieses Abschnittes, ist ein sachkundiger und erfahrener Fachbauleiter hinzuzuziehen.

(2) Die Aufgaben des Bauleiters als qualifizierte Führungskraft für Verstärkungsmaßnahmen mit geklebter Bewehrung sind insbesondere:

- das Überprüfen der verwendeten Baustoffe und Bauteile hinsichtlich Übereinstimmung mit den Angaben in den bautechnischen Unterlagen sowie Prüfen von Leistungsbeschreibungen im Sinne dieser Richtlinie;
- die Planung der Arbeitsabläufe auf der Grundlage der vom sachkundigen Planer erstellten Planungsunterlagen für die Verstärkungsmaßnahme;
- die Verwendung der vorgesehenen Baustoffe mit den geforderten Übereinstimmungsnachweisen;
- die Veranlassung der erforderlichen Prüfungen gegebenenfalls unter Hinzuziehung einer Baustoffprüfstelle gemäß Anhang A;
- das Anzeigen der Instandsetzungsmaßnahme bei der Überwachungsstelle;
- die Beurteilung der fachlichen Qualifikation des bei der Maßnahme eingesetzten Baustellenpersonals;
- die Auswertung der Ergebnisse der Eigenüberwachung durch das ausführende Unternehmen und das Ziehen von Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen für die weitere Durchführung der Maßnahme;
- die Übergabe der Ergebnisse der Eigenüberwachung an die Überwachungsstelle.

(3) Die verantwortliche Führungskraft muss als qualifizierte Führungskraft im Eignungsnachweis des ausführenden Unternehmens gemäß Anhang D zertifiziert sein.

3.2.2 Baustellenfachpersonal

(1) Auf jeder Baustelle muss eine geschulte, insbesondere handwerklich ausgebildete Fachkraft des Unternehmens ständig anwesend sein, die betontechnische und entsprechende andere baustofftechnische Kenntnisse, Fertigkeiten und praktische Erfahrung bei der Verarbeitung der vorgesehenen Produkte besitzt. Die Befähigung für Arbeiten nach dieser Richtlinie muss der anerkannten Überwachungsstelle durch die beiden folgenden Bescheinigungen nachgewiesen werden:

- Bescheinigung des Ausbildungsbeirates „Verarbeiten von Kunststoffen im Betonbau“ beim Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein e.V. in Form des SIVV-Scheins (Schützen, Instandsetzen, Verbinden und Verstärken von Bauteilen). Die Regelungen zu regelmäßigen Nachschulungen sind zu beachten.
- Eignungsnachweis des Fachpersonals für geklebte Bauteilverstärkungen gemäß Anhang D.

(2) Zu den Aufgaben der verantwortlichen Fachkräfte gehören u. a.

- die praktische Durchführung der Verstärkungsmaßnahme nach vorgegebenen Planungs- und Ausführungsunterlagen, z. B. Arbeitsplan, Angaben zur Ausführung;
- das Anleiten und Überwachen des übrigen mit der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme beauftragten Baustellenpersonals und/oder der Nachunternehmer;
- das Durchführen der im Rahmen der Eigenüberwachung erforderlichen Prüfungen sowie das Aufzeichnen der Ergebnisse.

(3) Die verantwortlichen Fachkräfte des ausführenden Unternehmens für Arbeiten nach dieser Richtlinie müssen als Fachkräfte mit besonderer Sachkunde und Erfahrung zertifiziert sein für:

- die Instandsetzung von tragenden Bauteilen nach der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Der Nachweis kann durch die Bescheinigung des Ausbildungsbeirates „Verarbeiten von Kunststoffen im Betonbau“ (SIVV-Schein) beim Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein E.V. geführt werden und
- die Verstärkung von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung gemäß den Regelungen in Anhang D.

(4) Das Unternehmen hat nachzuweisen, dass die verantwortlichen Fachkräfte in Abständen von höchstens drei Jahren über Schutz- und Instandsetzungs- sowie Verstärkungsmaßnahmen so unterrichtet und geschult werden, dass sie in der Lage sind, alle Maßnahmen für eine ordnungsgemäße Durchführung einer Verstärkungsmaßnahme einschließlich der Eigenüberwachung durchzuführen.

3.3 Geräteausstattung

(1) Für die Ausführung von Verstärkungsarbeiten mit geklebter Bewehrung müssen auf der Baustelle zum jeweils erforderlichen Zeitpunkt diejenigen Geräte und Einrichtungen funktionsfähig vorhanden sein, die eine ausreichende Vorbereitung des Betonuntergrundes, eine fachgerechte Ausführung der Arbeiten sowie die Ermittlung der geforderten Eigenschaften der Baustoffe und die Überprüfung der Arbeitsergebnisse ermöglichen. Dies sind insbesondere Einrichtungen und Geräte für

- das Lagern der Baustoffe;
- die Vorbereitung des Betonuntergrundes;
- das Abmessen und Mischen der Produkte;
- die Verarbeitung und Nachbehandlung der verarbeiteten Produkte;
- die Durchführung einer ordnungsgemäßen Eigenüberwachung.

(2) Alle Geräte und Einrichtungen sind vor ihrer erstmaligen Anwendung und dann in angemessenen Zeitabständen auf ihr einwandfreies Arbeiten zu überprüfen.

Tabelle 3.1 – Empfohlene Ausstattung der Betriebe (informativ)

Zeile	Empfohlene Geräteausstattung
1	Luftfeuchtemessgerät
2	Thermometer für Luft- und Bauteiltemperaturen
3	Rissbreitenmaßstab (Risschablone), Messlupe
4	Geräte zur Baustoff- oder Bauteilfeuchtemessung z. B. CM-Gerät (siehe Anhang B)
5	Haftzugprüfgerät einschließlich Prüfstempel Ø 20 mm und Ø 50 mm und eine auf Sa3 gestrahlte Stahlplatte mit einer Dicke ≥ 15 mm
6	Probekörperformen 40 mm x 40 mm x 160 mm nach DIN EN 196-1 und Zubehör
7	Lagerungseinrichtungen für Probekörper oder Klimakiste
8	Waage mit 20 kg Tragkraft und mindestens 1 g Ablesegenauigkeit. ANMERKUNG: Das Abwiegen von Einzelkomponenten auf der Baustelle ist ein Ausnahmefall.
9	Kernbohrmaschine und Zubehör (gegebenenfalls auch geeignet für die Überkopfanwendung)
10	Geräte für Untergrundvorbereitung z. B. durch Stemmen, Strahlen, Fräsen, Schleifen und für Reinigungsarbeiten sowie Geräte für das Herstellen der Schlitze
11	Geeignete Mischgeräte für die unterschiedlichen Produkte
12	Geräte zum Fördern, Verarbeiten, Glätten und Streichen
13	Bewehrungssuchgerät
14	Ebenheitsmessgerät

3.4 Nachunternehmer

- (1) Sofern das Unternehmen Nachunternehmer für Teilleistungen beauftragt, muss das beauftragende Unternehmen dafür sorgen, dass die Anforderungen nach den Abschnitten 3.1 bis 3.3 erfüllt werden.
- (2) Die Herstellung der Klebeverbindungen darf nur von Fachpersonal mit Eignungsnachweis zum Verstärken von Betonbauteilen gemäß Anlage D eines hierfür zertifizierten Unternehmens gemäß Abschnitt 3.1 ausgeführt werden.

4 Ausführung der Bauteilverstärkungen

4.1 Allgemeines

- (1) Im Zuge der Ausführung muss durch Vergleich der ermittelten Kennwerte aus der Eigenüberwachung der Ausführung nach Abschnitt 5 mit den in der Planungsphase stichprobenartig ermittelten Kennwerten überprüft werden, ob diese repräsentativ für den Ist-Zustand des Bauteils sind (Plausibilitätsprüfung). Treten Abweichungen auf, sind diese dem Auftraggeber mitzuteilen, damit die Planungsgrundlagen vom sachkundigen Planer überprüft und gegebenenfalls angepasst werden können.
- (2) Im Vorfeld der Verstärkungsmaßnahme ist eine Arbeitsanweisung mit Angaben zur Ausführung vom ausführenden Unternehmen oder durch das Nachunternehmen zu erstellen.

4.2 Anforderungen an das Verstärkungssystem

- (1) Die Anforderungen an das Verstärkungssystem (Faserverbundwerkstoffe, Stahllaschen, Klebstoff, Korrosionsschutz, Ausgleichsmörtel) sind in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen festgelegt, insbesondere:

- mechanische Eigenschaften;
- Anwendungs- und Verarbeitungstemperaturen;
- Feuchtebedingungen;
- Rollendurchmesser der Faserverbundwerkstoffe bzw. Biegedurchmesser der Stahllaschen;
- gegebenenfalls Schutzschichten für bestimmte Expositionen des verstärkten Bauteilbereiches.

- (2) Für jedes Verstärkungssystem hat der Hersteller bzw. Systemanbieter der zu verwendenden Produkte „**Angaben zur Ausführung**“ (früher: Ausführungsanweisung) aufzustellen. Sie müssen alle für die Ausführung erforderlichen Angaben im Sinne eines Verwendbarkeitsnachweises enthalten. Angaben zur Ausführung für bestimmte Stoffe können weitere Anforderungen an den Betonuntergrund, die Witterungsbedingungen und/oder Regelungen zur Begrenzung von Erschütterungen enthalten.

4.3 Witterungs- und Umgebungsbedingungen

- (1) Die Temperaturen des Betonuntergrundes und der unmittelbar überlagernden Luftschicht müssen während des Aufbringens und im angemessenen Zeitraum danach in der Regel mindestens 8 °C betragen. Die höchstzulässige Bauteilfeuchte darf 4 % nicht überschreiten. Die Oberflächentemperatur des Betons bzw. des jeweiligen Untergrundes muss für kunststoffgebundene Stoffe immer mindestens 3 K über dem Taupunkt liegen. Die relative Luftfeuchtigkeit darf 75 % nicht überschreiten. Gegebenenfalls sind in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen abweichende Werte angegeben.

- (2) Bei den Grenzwerten sind sowohl die Temperaturentwicklung für den Zeitraum der Ausführung und im angemessenen Zeitraum danach als auch die Abkühlung in der Nacht zu beachten (aufgrund der Wettervorhersage, gegebenenfalls unter Berücksichtigung örtlicher Besonderheiten).

- (3) Wenn während des Erhärtens der gegebenenfalls erforderlichen Ausgleichsschicht und den Klebearbeiten Erschütterungen (z. B. aus Baubetrieb oder Verkehr) zu erwarten sind, müssen diese im erforderlichen Maße vermindert oder ausgeschlossen werden, um schädigende Einflüsse auf den Klebeverbund zu vermeiden.

4.4 Untergrundvorbereitung

4.4.1 Verklebung von CFK-Lamellen und Stahllaschen auf die Bauteiloberfläche

- (1) Damit für Verstärkungsmaßnahmen mit geklebter Bewehrung an Betonbauteilen der angestrebte Erfolg nach Art, Güte und Dauer sicher erreicht werden kann, muss der betreffende Beton an seiner Oberfläche bestimmte Eigenschaften haben. Um dies zu erreichen, ist eine Untergrundvorbereitung erforderlich.

(2) Die zu verklebende Oberfläche des Betons muss für die Verklebung vorbereitet werden, bis die Gesteinskörnung mit einem Durchmesser > 4 mm sichtbar wird, z. B. durch

- Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln,
- Kugelstrahlen,
- Bearbeitung mit einer Nadelpistole,
- Schleifen.

(3) Risse im Beton im Bereich der Verstärkung, die zur Korrosion der Bewehrung führen können, oder Risse mit Flüssigkeitsdurchtritt sind gemäß DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen zu behandeln.

(4) Die zu verklebende Betonoberfläche muss staubfrei sowie frei von losen Teilen sein. Weiterhin muss die Betonoberfläche trocken im Sinne der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen sein. Die Bauteilfeuchte darf jedoch nicht mehr als 4 % betragen (siehe 4.3 (1)). Ferner dürfen keine parallel zur Oberfläche oder schalenförmig im oberflächennahen Bereich verlaufenden Risse und Ablösungen sowie keine artfremden Stoffe wie Gummiabrieb, Trennmittel, ungeeignete Altbeschichtungen, Ausblühungen, Öl, Bewuchs u. ä. vorhanden sein, die den Verbund der Klebeverbindung einschränken könnten.

(5) Nach der Untergrundvorbereitung ist die Oberflächenzugfestigkeit des Betonuntergrundes gemäß DIN EN 1542 zu prüfen. Der Erwartungswert des Mittelwerts der Oberflächenzugfestigkeit der Betonoberfläche oder der reprofilierten Betonoberfläche im Bereich der Klebeflächen ist gemäß Teil 4 dieser Richtlinie auszuwerten. Der Erwartungswert des Mittelwerts muss mindestens $1,0 \text{ N/mm}^2$ betragen. Sofern in der Statik der Klebeverstärkung ein höherer Wert angesetzt wurde, ist dieser nachzuweisen. Kann die geforderte Oberflächenzugfestigkeit nicht erzielt werden, ist vor Durchführung der Klebearbeiten der sachkundige Planer zu informieren. Gegebenenfalls können weitere Prüfungen erforderlich werden. Niedrigere Werte können ein Hinweis auf mangelnde Standsicherheit des Bauteils sein.

(6) Die zu verklebende Oberfläche des Betons sollte möglichst ebenflächig sein (siehe (8)). Hierfür ist erforderlichenfalls eine Ausgleichsschicht nach Abschnitt 4.5 zu verwenden.

(7) Unebenheiten bis 4 mm können durch den Klebstoff ausgeglichen werden.

(8) Bei Unebenheiten im Bereich zwischen 4 und 30 mm müssen diese z. B. durch Schleifen abgetragen oder mit einer Ausgleichsschicht gemäß Abschnitt 4.5 reprofiliert werden. Bei Unebenheiten > 30 mm ist eine gesonderte Bewertung durch den Tragwerksplaner erforderlich. Ausgenommen hiervon sind punktuelle Fehlstellen im Beton wie Betonabplatzungen oder Kiesnester. Diese sind fachgerecht freizulegen und zu reprofilieren.

4.4.2 Verklebung von CF-Gelegen

(1) Für die Verklebung von CF-Gelegen gelten die Ausführungen von 4.4.1. Zementgebundene Betonersatzsysteme oder Beton als Untergrund sind vor dem Verkleben durch Schleifen vorzubereiten.

(2) Geeignete Verfahren zur Untergrundvorbehandlung sind Schleifen, Strahlen oder Hochdruckwasserstrahlen. Die Zementschlämme ist so weit zu entfernen, dass das Korngerüst sichtbar wird. Unebenheiten bzw. Vertiefungen ab 3 mm sind mit einem geeigneten Epoxidharzmörtel gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung zu reprofilieren. Die Ebenheit darf dabei auf einer Prüfstrecke von 300 mm eine Abweichung von höchstens 1 mm betragen. Kanten bei Stützenumwicklungen sind mit einem Radius $r \geq 25$ mm auszurunden. Zum Zeitpunkt der Verklebung müssen die Flächen trocken (Restfeuchte < 4 %) sowie frei von Staub und losen Teilen sein. Die Haftzugwerte sind mit den in der statischen Berechnung angenommenen Werten abzugleichen.

4.4.3 Verklebung in Schlitz in die Betonrandzone

(1) Die CFK-Lamellen werden senkrecht in die Betonrandzone eingeklebt. In das Betonbauteil werden dazu Schlitz senkrecht zur Bauteiloberfläche geschnitten.

(2) Die Betondeckung der vorhandenen Betonstahlbewehrung muss so groß sein, dass die Bewehrung durch die Schneidearbeiten nicht beschädigt wird. Die Betondeckung im Bereich der in Schlitz zu verklebenden Lamellen muss nachgewiesen und dokumentiert werden.

(3) Folgende Randbedingungen sind hierbei einzuhalten:

- 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 t_s ergibt sich zu:

$$t_s \leq c - \Delta c_{\text{dev}} \quad (4.1)$$

mit:

c vorhandene Betondeckung der Bewehrung in mm

Δc_{dev} Vorhaltemaß in mm:

$$\Delta c_{\text{dev}} = \Delta c_{\text{Gerät}} + \Delta c_{\text{Schnitt}} + \Delta c_{\text{Bauteil}}$$

mit:

$\Delta c_{\text{Gerät}}$ gerätespezifische Fehlergrenze nach DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode 2“ bzw. nach Herstellerangaben, mindestens 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 sollte 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.

- Die Breite des Schlitzes b_s muss der folgenden Bedingung genügen:

$$t_L + 1 \text{ mm} \leq b_s \leq t_L + 3 \text{ mm} \quad (4.2)$$

mit:

t_s Tiefe des Schlitzes in mm (siehe oben)

t_L Dicke der einzelnen CFK-Lamelle in mm

(4) Die Schlitzte müssen staubfrei und frei von losen Teilen sein. Nicht tragfähige Schichten an den Seitenflächen des Schlitzes sind zu entfernen. Der maximale Feuchtegehalt im Schlitzbereich darf die in der Produktzulassung geregelten Werte nicht überschreiten.

4.5 Reprofilierarbeiten

(1) Reprofilierarbeiten am Untergrund können erforderlich werden, wenn

- Fehlstellen im Altbeton vorhanden sind, wie Betonabplatzungen, Kiesnester, etc.;
- Unebenheiten in der Bauteiloberfläche vorhanden sind, die eine ebenflächige Verklebung der Bewehrung zur Erfüllung der Anforderungen nach Abschnitt 5.5 nicht erlauben;
- nach der Untergrundvorbereitung Unebenheiten oder Fehlstellen über 4 mm vorhanden sind;
- eine unzureichende Betondeckung vorliegt.

(2) Unebenheiten oder Fehlstellen im Untergrund kleiner oder gleich 4 mm können mit dem Klebstoff gemäß Abschnitt 4.4 ausgeglichen werden. Unebenheiten oder Fehlstellen größer 4 mm müssen abgetragen oder reprofiliert werden.

(3) Die Reprofilierung dient der statischen Tragfähigkeit. Für den Ausgleich von klein- oder großflächigen Unebenheiten der Betonoberfläche bzw. von Fehlstellen im Klebebereich dürfen nur folgende Baustoffe verwendet werden, sofern die erforderliche Verbundfestigkeit zum Betonuntergrund erreicht und bei großflächigen Reprofilierungen gemäß Abschnitt 5.4.1 nachgewiesen wird:

- Instandsetzungsbetone bzw. –mörtel der Beanspruchbarkeitsklasse M3 gemäß DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 2: Bauprodukte und Anwendung, Abschnitt 4.2;
- Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklasse;
- Vergussbeton nach der DAfStb-Richtlinie Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklasse;
- Spritzbeton nach DIN EN 14487 in Verbindung mit DIN 18551 unter Berücksichtigung der jeweiligen Expositionsklasse.
- Zur Reprofilierung kleinflächiger Unebenheiten darf auch der in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen enthaltene Reparaturmörtel verwendet werden.

(4) Im Übrigen gilt für die Ausführung der Reprofilierungsarbeiten die DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen.

(5) Bei großflächig aufzubringenden Ausgleichsschichten muss die vom sachkundigen Planer vorgegebene Rautiefe des Untergrundes hergestellt werden.

4.6 Vorbereitung der Faserverbundwerkstoffe und Stahllaschen für die Verklebung

4.6.1 CFK-Lamellen

(1) Die CFK-Lamellen dürfen nicht abgekantet oder scharfen Querpressungen ausgesetzt werden. Sie dürfen, falls erforderlich, auf der Baustelle nur senkrecht zur Faserrichtung passend geschnitten werden.

(2) Die Lamellenoberfläche muss vor der Verklebung entsprechend den Vorgaben der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung vorbereitet werden.

ANMERKUNG Bei der Verarbeitung von Lösemitteln sind die Arbeitsschutzvorgaben der Berufsgenossenschaften zu beachten.

4.6.2 Stahllaschen

(1) Das Material der zu verklebenden Stahlteile und der Ankerschrauben zu deren Montage ist der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zu entnehmen.

(2) Schweißarbeiten an zusammenzufügenden Stahlteilen dürfen nur von Unternehmen vorgenommen werden, die im Besitz des Nachweises einer Herstellerqualifikation entsprechend DIN 18800-7 der Klassen B sind. Schweißarbeiten an bereits verklebten Stahleinzelnteilen sind nicht zulässig.

(3) Vor dem Verkleben müssen die Stahlteile mit Feststoffen gestrahlt werden, bis sie einen Reinheitsgrad Sa 2½ nach DIN EN ISO 12944-4 aufweisen.

(4) Stahlteile müssen bei Außenanwendung mit dem gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung zugelassenen Primer allseitig 2fach in einer Mindestdicke von 120 µm beschichtet werden. Nach Aushärtung des Primers ist dieser auf den zu verklebenden Flächen anzuschleifen. Er darf jedoch bei Außenanwendungen nicht abgeschliffen werden. Unmittelbar vor der Verklebung müssen die angeschliffenen Klebeflächen entstaubt und mit Lösemittel gemäß Herstellervorgaben gereinigt werden.

(5) Bei Innenanwendung (XC1) darf auch wie in Absatz (4) beschrieben verfahren werden. Auf ein vollflächiges Beschichten mit einem Primer darf bei Innenanwendung (XC1) verzichtet werden, wenn die Stahlteile direkt nach dem Strahlen verklebt werden oder die Stahlteile bis zur Verklebung durch Einschweißen in PE-Folie vor Korrosion geschützt sind.

(6) Die nicht verklebten Stahloberflächen erhalten nach der Verklebung der Stahllaschen einen zusätzlichen Korrosionsschutz größer gleich C3 nach DIN EN ISO 12944-2. Dieser Korrosionsschutz ist über die Klebstoffdicke und bis mindestens 10 mm links und rechts von der Stahllasche auf die Bauteiloberfläche aufzubringen.

ANMERKUNG Bei der Verarbeitung von Lösemitteln sind die Arbeitsschutzvorgaben der Berufsgenossenschaften zu beachten.

4.6.3 CF-Gelege

(1) Die CF-Gelege dürfen nicht abgekantet oder scharfen Querpressungen ausgesetzt werden.

(2) Die Gelegeoberfläche muss vor der Verklebung staubfrei sein.

(3) Die zusätzlichen Angaben der jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sind zu beachten.

4.7 Anmischen des Klebstoffs

(1) Der vom Hersteller empfohlene Temperaturbereich für das Anmischen des Klebstoffs ist zu beachten. Liegt die Klebstofftemperatur darunter, ist gegebenenfalls ein erhöhter Mischaufwand erforderlich.

(2) Das Mischen der Komponenten des Klebstoffs muss mechanisch mit einem niedrigtourig drehenden (< 300 U/min) Mischgerät erfolgen. Die Komponenten müssen sorgfältig so lange gemischt werden, bis eine homogene und schlierenfreie Klebmasse vorliegt. Die Mischung ist umzutopfen. Das fertige Gemisch darf keine Knollen oder dergleichen enthalten und muss einen gleichmäßigen Farbton aufweisen.

(3) Es dürfen keine wesentlichen Luftmengen eingemischt werden.

4.8 Klebearbeiten

4.8.1 Allgemeine Festlegungen

(1) Während der Klebearbeiten dürfen die Mindestwerte der Temperaturen von Luft und Beton und die Maximalwerte der relativen Luftfeuchte gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen nicht unter- bzw. überschritten werden. Die Temperatur des Bauteils muss um 3 K höher sein als die Taupunkttemperatur der Luft.

(2) Der Untergrund des Bauteils im Bereich der Klebeverstärkung muss trocken sein im Sinne der Regelungen der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. In Zweifelsfällen ist eine quantitative Bestimmung des Feuchtegehaltes vorzunehmen. Die zulässigen Feuchtegehalte sind den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu entnehmen.

4.8.2 Oberflächige Verklebung der CFK-Lamellen und Stahllaschen

(1) Vor der oberflächigen Verklebung der Laschen bzw. Lamellen ist auf den Betonuntergrund eine Kratzspachtelung mit dem Klebstoff aufzubringen, um vorhandene Rautiefen und kleinere Fehlstellen vollflächig und fehlstellenfrei mit dem Klebstoff zu füllen. Wenn die Oberfläche geschliffen ist, kann auf die Kratzspachtelung verzichtet werden. In den geschliffenen Flächen muss dabei die Körnung zu erkennen sein. Die Prüfungen der Haftzugfestigkeiten nach Abschnitt 4.4.1 sind auf den geschliffenen Oberflächen durchzuführen.

(2) Der Klebstoff ist dachförmig, in Form eines gleichschenkligen Profils mit Überhöhung in der Mitte auf die Lasche bzw. Lamelle aufzutragen. Die Laschen bzw. Lamellen werden innerhalb der Verarbeitungszeit des Klebstoffs vorsichtig und gleichmäßig in die vorgespachtelte, noch frische Klebstoffschicht am Bauteil gedrückt. Der Klebstoff soll dabei nur gleichmäßig mit einem leichten Bauch aus der Fuge gedrückt werden, so dass eine Gesamtdicke der ausgehärteten Klebstoffschicht von mindestens 1 mm bis höchstens 5 mm entsteht.

(3) Innerhalb der Verarbeitungszeit gemäß den produktspezifischen Festlegungen in der jeweiligen Zulassung müssen der Klebstoff auf die Bauteile aufgetragen und die Bauteile in ihrer endgültigen Lage fixiert sein. Die Bauteile dürfen nach dem Fixieren bis zur ausreichenden Erhärtung des Klebstoffs oder der gegebenenfalls darunter aufgetragenen Reprofilierschichten keinen den Verbund schädigenden Erschütterungen und Bewegungen ausgesetzt sein.

(4) Bei Verstärkung mit Stahllaschen ist eine Unterstützung für die Dauer der Aushärtung des Klebstoffs gemäß den Regelungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen des Klebstoffs erforderlich. Die Unterstützungsdauer kann verkürzt werden, wenn durch Haftzugversuche nach Abschnitt 4.4.1 der Nachweis geführt werden kann, dass Betonbruch erreicht wird.

(5) CFK-Lamellen können ohne weitere Unterstützung verklebt werden.

(6) CFK-Lamellen dürfen nur zweilagig miteinander verklebt werden, wenn dies in den statischen Nachweisen vorgegeben wird. In diesem Fall muss nach erfolgter Aushärtung der ersten bereits verklebten Lamelle deren glatte und beschriftete Sekundärklebeseite vorsichtig aufgeraut und mit dem Lösemittel gemäß Angaben zur Ausführung des Herstellers gereinigt und entfettet werden. Sofern auch diese Seite mit einem Abreißgewebe ausgestattet ist, muss dieses entfernt werden. Weitere Vorbereitungen sind in diesem Fall nicht erforderlich. Die zweite Lamellenschicht ist wie beschrieben vorzubereiten und zu verkleben.

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

4.8.3 Oberflächige Verklebung der CF-Gelege

(1) Je nach Systemzulassung ist vor dem Auftrag des Laminierharzes ein Primer aufzutragen. Die Wartezeiten sind den jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu entnehmen. Je nach CF-Gelege-Typ sind evtl. vorhandene Schutzfolien zu entfernen und das Gelege mit einem geeigneten Hilfsmittel wie Rolle oder Gummilippe in das frische Laminierharz einzuarbeiten. Dabei ist darauf zu achten, dass sich keine Falten bzw. Hohlstellen bilden. Das applizierte CF-Gelege wird anschließend mit einer Lage Laminierharz eingebettet. Falls mehrere Lagen erforderlich sind, so ist mit dem Aufbau analog fortzufahren. Die maximalen bzw. minimalen Temperatur- und Luftfeuchtigkeiten sowie Verbrauchsmengen sind den jeweiligen Zulassungen zu entnehmen.

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

4.8.4 In Schlitz verklebte CFK-Lamellen

- (1) Der Klebstoff ist in den Schlitz derart einzubringen, dass der Schlitz vollständig vom Klebstoff gefüllt wird. Die Lamelle ist anschließend innerhalb der ausnutzbaren Verarbeitungszeit vorsichtig in die Mitte des Schlitzes einzudrücken. Sie muss vollständig vom Schlitz aufgenommen werden.
- (2) 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.
- (3) Für die Klebeverstärkung dürfen nur die zugelassenen und im System geprüften Produkte verwendet werden.

4.9 Belastung der Konstruktion

- (1) Die Belastung der Konstruktion darf bei einer Oberflächentemperatur des Bauteils oder alternativ bei einer mittleren bauteilnahen Lufttemperatur von 20 °C in der Regel 2 Tage nach Beendigung der Klebearbeiten erfolgen.
- (2) Bei niedrigeren Temperaturen kann sich die Aushärtedauer verlängern, bei höheren Temperaturen ist eine geringere Wartezeit möglich. Maßgebend sind die Erhärtungsnachweise am Bauteil gemäß Abschnitt 5.4.1.
- (3) Die Belastung der verstärkten Konstruktion darf erst erfolgen, wenn die Ausgleichsschicht eine ausreichende Festigkeit aufweist. Dies ist dann der Fall, wenn die charakteristische Festigkeit des Produktes höher ist als die Druckfestigkeit des Altbetons und wenn die Verbundfestigkeit zum Untergrund größer ist als die statisch angesetzte Verbundfestigkeit. Dies ist im Einzelfall nach Abschnitt 5.3.1 nachzuweisen.

4.10 Bauteilexpositionen während der Ausführung

Während der Ausführung der Verstärkungsmaßnahme mit geklebter Bewehrung sind die verstärkten Bauteilbereiche vor direkter Bewitterung und mechanischer Beanspruchung zu schützen.

4.11 Grenzabmaße

Es gelten die Grenzabmaße von DIN EN 13670 bzw. DIN 1045-3. Für die statische Nutzhöhe sind die Grenzabmaße für die Bauteilabmessungen maßgebend.

5 Überwachung der Ausführung (Eigenüberwachung des ausführenden Unternehmens)

5.1 Allgemeine Anforderungen

- (1) Das bauausführende Unternehmen hat sich davon zu überzeugen, dass
 - die CFK-Lamellen, die CF-Gelege, der Klebstoff, der Primer und die für die Ausgleichsschichten zu verwendenden Produkte mit dem Ü-Zeichen gekennzeichnet sind;
 - die Stahllamellen nach DIN EN 10025-2 mit dem CE-Kennzeichen versehen sind;
 - das Verbrauchsdatum (Herstelldatum plus Lagerfähigkeit) noch nicht abgelaufen ist;
 - die Vorgaben zur Untergrundvorbereitung, zu Reprofilier- und Klebearbeiten sowie zu den Korrosions- und Schutzmaßnahmen eingehalten werden.
- (2) Im Vorfeld der Verstärkungsmaßnahme ist eine Arbeitsanweisung mit Angaben zur Ausführung zu erstellen.
- (3) Im Zuge der Ausführung sind fortlaufend nachvollziehbare Aufzeichnungen über alle für die Güte und Dauerhaftigkeit wichtigen Angaben vom Bauleiter, seinem Vertreter oder vom Baustellenfachpersonal zu erstellen. Sie müssen mindestens folgende Angaben enthalten:
 - Name, Ort und Art des Bauobjektes;
 - Namen des ausführenden und überwachenden Baustellenfachpersonals;
 - Benennung des verstärkten Bauteils (Balken, Platte, Feld- und/oder Stützbereich);
 - Anzahl und Abmessungen der Lamellen, Gelege oder Stahllaschen;
 - Beginn und Ende der Klebearbeiten;
 - Witterungsverhältnisse, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Taupunkt;

- Bauteiltemperaturen bis zur ausreichenden Erhärtung des Klebstoffs sowie die Untergrundfeuchte;
- Nachweis der verarbeiteten Stoffe mit Lieferwerk, Chargennummer und Angabe des Einbauorts der jeweiligen Charge;
- Nachweis der Funktionsfähigkeit der verwendeten Einrichtungen;
- Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen gemäß Abschnitten 5.2 bis 5.6 mit Zuordnung zu einzelnen Bauteilen bzw. Bauabschnitten;
- Bestätigung der Ausführung nach den zur Verfügung stehenden Planungsunterlagen und Arbeitsanweisungen; gegebenenfalls Dokumentation bei Abweichungen.

(4) Die Aufzeichnungen müssen auf der Baustelle verfügbar sein. Sie sind ebenso wie die Lieferscheine dem Beauftragten der Überwachungsstelle bzw. dem sachkundigen Planer auf Verlangen vorzulegen. Dem Auftraggeber sind nach Abschluss der Arbeiten wesentliche Nachweise zur auftraggeberseitigen Erstellung eines Bauwerksbuches zu übergeben.

(5) Nach Beendigung der Arbeiten sind die Ergebnisse wesentlicher Prüfungen im Rahmen der Überwachung der Ausführung durch das ausführende Unternehmen der Überwachungsstelle auf Anforderung zur Überprüfung zur Verfügung zu stellen.

(6) Art, Umfang und Häufigkeit der Überwachung der Ausführung durch das ausführende Unternehmen sind in den Abschnitten 5.2 bis 5.6 festgelegt, soweit sie nicht in der Normenreihe DIN 1045, in DIN 18551, der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen oder der DAfStb-Richtlinie Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel vorgeschrieben sind.

(7) Änderungen von Umfang und Häufigkeit der Prüfungen nach Tabelle 5.1 dürfen nur vor der Ausführung in Abstimmung mit dem sachkundigen Planer und der Überwachungsstelle festgelegt werden. Diese sind zu dokumentieren. Dies gilt sinngemäß auch für die Art der Prüfungen, wenn nachgewiesen ist, dass die abweichenden Prüfverfahren mindestens gleichwertig sind.

(8) Nach ungenügenden Prüfergebnissen sind vom Unternehmen die Ursachen festzustellen. Sind die Ursachen auf die Gegebenheiten des Bauwerkes zurückzuführen, ist der sachkundige Planer zur Festlegung weiterer Maßnahmen hinzuzuziehen.

(9) Stoffe, die den Anforderungen nicht entsprechen, sind auszusondern und als ungeeignet zu kennzeichnen.

(10) Betriebliche Einrichtungen nach Abschnitt 3.3, die den Anforderungen nicht genügen, sind als ungeeignet zu kennzeichnen und dürfen nicht benutzt werden.

5.2 Kontrolle der Untergrundvorbereitung

5.2.1 Kontrolle der Betondruckfestigkeit

Die Betondruckfestigkeit der jeweils zu verstärkenden Bauteile ist in der Regel zerstörungsfrei am Bauwerk gemäß DIN EN 13791 im Rahmen der Eigenüberwachung auf Plausibilität zu prüfen.

5.2.2 Kontrolle der Oberflächenzugfestigkeit des Untergrundes

Auf der vorbehandelten Betonfläche wird an mindestens 5 Stellen die Oberflächenzugfestigkeit des Betons gemäß DIN EN 1542 mit Ringnut ermittelt. Die Oberflächenzugfestigkeit des Betons muss nach Vorbereitung der Betonklebfläche die Anforderungen nach Abschnitt 4.4.1 (5) erfüllen.

5.2.3 Kontrolle der Betondeckung vor Schneidearbeiten bei in Schlitze eingeklebter Bewehrung

(1) Betondeckung, Lage und Durchmesser der Bewehrung sind zerstörungsfrei zu messen und zu protokollieren. Für die Handhabung des Gerätes ist die Betriebsanleitung maßgebend. Die Genauigkeit des Gerätes ist zu überprüfen, z. B. neben bereits freiliegender oder örtlich freizulegender Bewehrung.

(2) Zerstörende Messungen der Betondeckung sollten die Ausnahme sein.

Tabelle 5.1 – Art, Umfang und Häufigkeit der Prüfungen im Rahmen der Eigenüberwachung

Arbeits-schritt	Prüfung	Verkleben von CFK-Lamellen		Verkleben von CF-Gelegen		Verkleben von Stahl-laschen		Anforderungen	Häufigkeit
		Eingeschlitz in Beton-randzone	Auf Bauteil-oberfläche	Auf Bauteil-oberfläche	Auf Bauteil-oberfläche	Flachprofile auf Bauteil-oberfläche	Winkelprofile auf Bauteil-oberfläche		
Untergrund-vorbereitung	Sichtprüfung	X	X	X	X	X	X	Eignung des Untergrundes für die vorgesehene Maßnahme	-
	Oberflächenzugfestigkeit	O	X	X	X	X	X	gemäß Kap. 5.2.2	≥ 5 Einzelprüfungen insgesamt; ≥ 1 Prüfung je zu verstärkendes Bauteil bzw. Bauteilabschnitt
	Risse	X	X	X	X	X	X	Sichtprüfung auf Auffälligkeiten bzw. wesentliche Abweichungen von den Feststellungen des Planers; keine Risse, die zur Korrosion der Betonstahlbewehrung führen können (siehe 4.4.1 (3))	-
Flächige Reprofilierung	Rautiefe vor Reprofilierung	X	X	X	X	X	X	≥ 0,5 mm bei zugelassenem EP-Mörtel und PCC M3; ≥ 1,0 mm bei Spritzbeton bzw. Beton mit Haftbrücke; ≥ 2,5 mm bei Beton ohne Haftbrücke; Prüfung nach DIN EN 1766 mit dem Sandflächenverfahren oder Sichtprüfung über Vergleichsflächen; jeweils in Verbindung mit Verbundprüfungen.	≥ 1 m²; 3 Prüfungen je angefangene 50 m²
	Oberflächenzugfestigkeit	X	X	X	X	X	X	gemäß Kap. 5.2.2	≥ 5 Einzelprüfungen insgesamt; ≥ 1 Prüfung je zu verstärkendes Bauteil bzw. Bauteilabschnitt
	Verbundfestigkeit zum Untergrund	X	X	X	X	X	X	gemäß Kap. 5.2.1	gemäß Kap. 5.2.1
Klebararbeiten	Druckfestigkeit	X	X	X	X	X	X	gemäß Kap. 5.2.2	gemäß Kap. 5.2.2
	Witterungsbedingungen bei Verarbeitung	X	X	X	X	X	X	Produktspezifisch erforderliche Lufttemperatur und –feuchte im Bereich der Verklebung	Arbeitsmäßig vor Beginn der Arbeiten und in Zweifelsfällen, z. B. bei Änderung der Witterungsverhältnisse
	Bauteiloberfläche vor Klebarbeiten	Feuchte	X	X	X	X	X	trocken gemäß DafStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen bzw. Festlegung gemäß Zulassung des Klebers	vor Beginn der Arbeiten und in Zweifelsfällen
	Temperatur	X	X	X	X	X	X	gemäß Kap. 4.3	arbeitstäglich vor Beginn der Arbeiten und in Zweifelsfällen, z. B. bei Änderung der Witterungsverhältnisse
	Witterungsbedingungen	X	X	X	X	X	X	gemäß Kap. 4.3	arbeitstäglich vor Beginn der Arbeiten und in Zweifelsfällen, z. B. bei Änderung der Witterungsverhältnisse
Klebararbeiten	Erhärtungsprüfung am Bauteil	O	O	O	O	X	X	gemäß Kap. 5.4.1	gemäß Kap. 5.4.1
	Verbundprüfung	O	O	O	O	X	X	gemäß Kap. 5.4.3	gemäß Kap. 5.4.3
	Güteprüfung Kleber	X	O	O	O	O	O	gemäß Kap. 5.4.2	gemäß Kap. 5.4.2
	Zugfestigkeit	X	X	X	X	X	X	gemäß Kap. 5.4.2	gemäß Kap. 5.4.2
	Hohlstellen in Verklebung	O	O	O	O	X	X	gemäß Kap. 5.5	gemäß Kap. 5.5
	Einbettung der CFK-Lamellen in Schlitz	X	O	O	O	O	O	gemäß Kap. 5.5	gemäß Kap. 5.5
	Schichtdickennachweis des Korrosionsschutzes	O	O	O	O	X	X	gemäß Kap. 5.6	gemäß Kap. 5.6
	Ebenheit der verklebten Laschen/ Lamellen	O	X	O	O	X	O	gemäß Kap. 5.6	gemäß Kap. 5.6

x: Prüfung erforderlich; O: Prüfung nicht erforderlich

5.3 Kontrolle der Reprofilierarbeiten

5.3.1 Kontrolle der Verbundfestigkeit der Reprofilierschicht am Untergrund

(1) Bei Verklebungen auf großflächigen Ergänzungen der Oberfläche mit Produkten nach Teil 2, Abschnitt 3.5, wird auf der vorbehandelten Fläche die Verbundfestigkeit des Betonersatzsystems auf dem Untergrund im Haftzugversuch gemäß DIN EN 1542 ermittelt. Der Prüfumfang wird entsprechend der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 3, Anhang A, Zeile 4, festgelegt.

(2) Werden für Ausgleichsschichten Betonersatzstoffe gemäß DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen verwendet, sind die dort geregelten Eignungsprüfungen und Qualitätsnachweise zu führen. Zusätzlich sind in den Eignungsprüfungen Verbundprüfungen durchzuführen, in denen die für das Objekt erforderliche Verbundfestigkeit mindestens nachgewiesen wird. Die Durchführung dieser Nachweise und deren Dokumentation obliegen der in Anhang A beschriebenen Baustoffprüfstelle.

(3) Bei Herstellung von Ausgleichsschichten im Verankerungsbereich nach Teil 1, Abschnitt 6.2.5, ist der Verbund zwischen Betonuntergrund und Ausgleichsschicht nachzuweisen. Die Prüfung der Verbundfestigkeit erfolgt im Haftzugversuch gemäß DIN EN 1542 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:

- ≥ 5 Einzelprüfungen insgesamt oder
- ≥ 1 Prüfung je angefangene 50 m verklebter Lamelle im Bereich der Ausgleichsschicht;
- gegebenenfalls zusätzliche Prüfungen gemäß Festlegung durch den Planer.

(4) Die Prüfung muss bei Ausgleichsschichten für aufgeklebte Verstärkungen im Verankerungsbereich einen Bruch im Altbeton ergeben. Falls sich kein Betonbruch im Altbeton einstellt, muss der Verbundnachweis nach Teil 2 der Richtlinie mit den gemessenen Werten wiederholt werden.

(5) Die Prüfung muss bei Ausgleichsschichten für in Schlitze verklebte CFK-Lamellen im Verankerungsbereich einen Bruch im Altbeton ergeben. Falls sich kein Betonbruch im Altbeton einstellt, muss die erforderliche Verbundfestigkeit nachgewiesen werden. Diese ergibt sich gemäß DIN EN 1992-1-1 in Abhängigkeit von der im statischen Nachweis angesetzten Betondruckfestigkeit zu:

$$f_{ctk,surf,is} \geq f_{ctk,surf} = f_{ctk,0,05} \text{ für Betone bis C50/60.}$$

(6) Bei kleinflächigen Ausgleichsschichten muss die Verbundfestigkeit $f_{ctm} \geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ betragen. Die Prüfhäufigkeit ist in der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 3, geregelt.

5.3.2 Kontrolle der Druckfestigkeit des Reprofiliermaterials

(1) Die charakteristische Druckfestigkeit des verwendeten Reprofiliermaterials ist nachzuweisen. Tabelle 5.2 enthält eine Übersicht über die Anforderungen an die Probekörper.

Tabelle 5.2 – Anforderungen an die Probekörper und Prüfhäufigkeit bei Ausgleichsschichten

Ausgleichsschicht	Probekörper	Prüfhäufigkeit
Beton nach DIN 1045-2	Würfel 150 mm x 150 mm x 150 mm	gemäß Regelungen ÜK 2 der DIN 1045-3
Spritzbeton nach DIN 18551	Bohrkerne d = 100 mm aus Spritzplatten	
SPCC der Beanspruchungsklasse M3 nach DAfStb-Richtlinie Schutz und In- standsetzung von Betonbauteilen	Bohrkerne d = 50 mm aus Spritzplatten	
PCC der Beanspruchungsklasse M3 nach DAfStb-Richtlinie Schutz und In- standsetzung von Betonbauteilen	Prismen entsprechend DIN EN 196-1	je Charge bzw. je Arbeitstag 3 Prismen
Vergussbeton bis Größtkorn 6 mm	Prismen entsprechend DIN EN 196-1	

(2) Bei Verwendung von Prismen gemäß DIN EN 196-1 werden die Prüfwerte R_c zum Nachweis der Konformität aufgrund der Probengeometrie gemäß DAfStb-Richtlinie Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel wie folgt umgerechnet:

$$f_{c,cube} = 0,85 \times R_c \quad (5.1)$$

Der Nachweis der Konformität erfolgt gemäß DIN 1045-2:2008-08, Abschnitt 8.2.1.3, wobei der kleinere Wert maßgebend ist.

$$\text{Kriterium 1: } f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \times \sigma \quad (5.2)$$

$$\text{Kriterium 2: } f_{ci} \geq 0,9 \times f_{ck} \quad (5.3)$$

mit:

f_{ck}	nachzuweisende charakteristische Druckfestigkeit gemäß Teil 1, Abschnitt RV 6.2.5.1, in N/mm^2
f_{cm}	mittlere Druckfestigkeit in N/mm^2
σ	Standardabweichung der ermittelten Druckfestigkeiten
f_{ci}	kleinste ermittelte Druckfestigkeit in N/mm^2

5.4 Kontrolle der Klebearbeiten

5.4.1 Erhärtungsprüfung des Klebstoffs am Bauteil gegebenenfalls mit Ausgleichsschichten

(1) Die Erhärtung der Klebeverstärkung unter den klimatischen Bedingungen des Bauteils ist vor der Belastung in Haftzugversuchen im ausgeführten Schichtaufbau zu prüfen. Die Prüfung erfolgt in 5 Abreißprüfungen vor der Bauteilbelastung. Soll die Bauteilbelastung in Teilabschnitten erfolgen, ist die Erhärtungsprüfung in jedem dieser Teilabschnitte mit den Häufigkeiten nach Tabelle 5.1 durchzuführen. Die Haftzugprüfung nach DIN EN 1542 muss nach Klebstoffhärtung jeweils Betonbruch ergeben.

(2) Bei oberflächiger Verklebung von CFK-Lamellen sind Abschnitte der CFK-Lamelle von 50 mm x 50 mm mit dem zur Verstärkung verwendeten Klebstoff auf den Beton zu kleben. Die Prüfung erfolgt nach Herstellen einer Ringnut gemäß DIN EN 1542 bis in den Betonuntergrund.

(3) Bei oberflächiger Verklebung von CF-Gelegen sind Gewebeabschnitte von mindestens 300 mm x 300 mm in der zur Bauteilverstärkung verwendeten Lagenanzahl aufzubringen. Die Prüfung erfolgt nach Herstellen einer Ringnut gemäß DIN EN 1542 bis in den Betonuntergrund.

(4) Bei oberflächiger Verklebung von Stahllaschen sind Stahlstempel \varnothing 50 mm mit dem zur Verstärkung verwendeten Klebstoff auf den Beton zu kleben.

(5) Sofern Ausgleichsschichten im Bereich der CFK-Lamellen, CF-Gelege oder Stahllaschen zur Anwendung kommen, erfolgt die Haftzugprüfung am System Beton – Ausgleichsschicht – Klebstoff – Verstärkungselement.

5.4.2 Mechanische Eigenschaften des Klebstoffs und des Primers

(1) Zur Überprüfung der mechanischen Eigenschaften des verwendeten Klebstoffs und des Primers bei Stahllaschen müssen in einer Güteprüfung

- bei oberflächig verklebten Verstärkungen die Zugfestigkeit
- bei eingeschlitzte verklebten Verstärkungen die Zug- und Druckfestigkeit

nach Tabelle 5.3 nachgewiesen werden.

(2) Die Ermittlung der Zugfestigkeit des Klebstoffs und des Primers erfolgt im Haftzugversuch mit Prüfstämpeln \varnothing 20 mm, die auf eine Sa 3 gestrahlte Stahlplatte mit einer Dicke ≥ 15 mm verklebt und nach einer Erhärtungszeit von 7 Tagen geprüft werden. Der Nachweis erfolgt in mind. 6 Prüfungen je verwendeter Klebstoffcharge bzw. je 6 Klebetage.

(3) Die Ermittlung der charakteristischen Druckfestigkeit f_{Gck} des Klebstoffs erfolgt an Prismen entsprechend DIN EN 196-1 nach einer Erhärtungszeit von 7 Tagen. Der Nachweis erfolgt an mindestens 3 Prismen je verwendeter Klebstoffcharge bzw. je 3 Klebetage.

**Tabelle 5.3 – Mechanische Kennwerte des verwendeten Klebstoffs und des Primers
für die Güteprüfung bei Normallagerung 23 °C/50 % r. F.**

Eigenschaft	Kriterium 1	Kriterium 2
Charakteristische Zugfestigkeit $f_{Gt,k}$ in N/mm ²	$f_{Gt,k} \leq f_{Gt,m} - k_n \times s_{Gt}$	$f_{Gt,k} \leq f_{Gt,i} / 0,9$
Charakteristische Druckfestigkeit $f_{Gc,k}$ in N/mm ²	$f_{Gc,k} \leq f_{Gc,m} - k_n \times s_{Gc}$	$f_{Gc,k} \leq f_{Gc,i} / 0,9$
$f_{Gt,k}$ charakteristischer Wert der Zugfestigkeit; es werden folgende Fälle unterschieden: a) charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Klebstoffs für oberflächlich geklebte Lamellen: 12 N/mm ² b) charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Primers für Stahlflaschen: 12 N/mm ² c) charakteristischer Wert der Zugfestigkeit, der gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung für die Bemessung von in Schlitzte verklebten Lamellen nachgewiesen wurde $f_{Gc,k}$ charakteristischer Wert der Druckfestigkeit, der gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung für die Bemessung von in Schlitzte verklebten Lamellen nachgewiesen wurde $f_{Gt,m}$ mittlere Zugfestigkeit in N/mm ² $f_{Gc,m}$ mittlere Druckfestigkeit in N/mm ² $f_{Gt,i}$ kleinste ermittelte Zugfestigkeit in N/mm ² $f_{Gc,i}$ kleinste ermittelte Druckfestigkeit in N/mm ² s_{Gc}, s_{Gt} Standardabweichung der Druck- und Zugfestigkeit des Klebstoffs, k_n Faktor nach DIN EN 1990, siehe Tabelle 5.4		

(4) Die Standardabweichung der Druck- und Zugfestigkeit des Klebstoffs ist wie folgt zu ermitteln:

$$s_{Gc} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (f_{Gc,i} - f_{Gc,m})^2} \quad (5.4)$$

$$s_{Gt} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (f_{Gt,i} - f_{Gt,m})^2} \quad (5.5)$$

Tabelle 5.4 – Werte k_n

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

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

5.4.3 Verbund des Klebstoffs auf vorbehandeltem Stahl

(1) Zur Überprüfung der Haftung des Klebstoffs auf der vorbehandelten Stahlfläche bei einer Raumtemperatur von 20°C sind mindestens drei Prüfstempel Ø 20 mm auf eine Stahlplatte mit einer Dicke von 15 mm oder ein vergleichbar steifes Stahlprofil zu kleben und abzuziehen. Bei Prüfung nach 7 Tagen muss die charakteristische Haftzugfestigkeit $f_{Gt,k} \geq 12$ N/mm² erreicht werden.

(2) Die Stahlplatte ist wie die zu verklebenden Stahlflaschen vorzubehandeln (siehe Abschnitte 4.6.2 (3) bis (5)).

5.5 Kontrollen nach der Ausführung

- (1) Die Ebenheit der oberflächlich verklebten Lamellen oder Gelege ist sofort nach der Entfernung der gegebenenfalls verwendeten Unterstützung zu überprüfen. Dabei darf auf einer Prüfstrecke von 300 mm die Abweichung von einer ebenen Fläche nicht mehr als $\Delta h = 1 \text{ mm}$ betragen.
- (2) Einsinnige Krümmungen, welche die gezogenen Lamellen oder Gelege gegen den Beton drücken, sind nicht zu beanstanden.
- (3) Verklebte Stahllaschen sind nach der Aushärtung des Klebstoffs auf Hohlräume abzuklopfen. Bei Hohlräumen im Endbereich oder bei mehr als drei Fehlstellen im mittleren Bereich muss die Lasche entfernt werden. Bei Hohlräumen in anderen Bereichen oder weniger als 3 Hohlräumen dürfen diese durch druckloses Verfüllen mit Rissfüllstoffen auf Epoxidharzbasis gemäß DIN EN 1504-5 in Verbindung mit DIN V 18028 entsprechend den Vorgaben der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen gefüllt werden.
- (4) Die volle Einbettung von in Schlitze verklebten CFK-Lamellen muss überprüft werden. Verbundlose Bereiche der Lamelle von mehr als 5 % der Lamellenquerschnittsfläche müssen nachträglich in der Bemessung berücksichtigt werden.

5.6 Korrosionsschutzarbeiten

- (1) Die Dicke der wirksamen Korrosionsschutzbeschichtung auf Stahlteilen ist zerstörungsfrei am Bauteil nachzuweisen. Es gelten die Regelungen der DIN EN ISO 12944-7.

Anhang A – Ständige Baustoffprüfstelle (normativ)

- (1) Das ausführende Unternehmen muss über eine ständige Baustoffprüfstelle verfügen, wenn
- Betone der Überwachungsklassen 2 und 3 eingebaut werden;
 - Betonersatzsysteme zur maßgeblichen Ergänzung von Betonen der Überwachungsklassen 2 und 3 (Definitionen im Sinne der DIN 1045-3:2012-03, Tab. NA.1) eingebaut werden;
 - Oberflächenschutzsysteme bei direkt befahrenen Parkebenen einschließlich der Verschleißschichten hergestellt werden;
 - Bauteile mit Beton nach DIN 1045 oder Spritzbeton nach DIN 18551 verstärkt werden;
 - Verstärkungen von Bauteilen mit geklebter Bewehrung hergestellt werden;
- (2) Die ständige Baustoffprüfstelle muss
- mit allen Geräten und Einrichtungen zur Durchführung der Prüfungen nach Abschnitt 3.3 ausgestattet sein;
 - von einem in der Betontechnik und Instandhaltung von Betonbauteilen erfahrenen Fachmann geleitet werden, der die dafür notwendigen erweiterten betontechnologischen Kenntnisse (E-Schein) sowie Kenntnisse im Bereich des Schützens, Instandsetzens und Verstärkens von Bauteilen (SIVV-Schein) nachweisen kann.
 - Falls die Baustoffprüfstelle bei geklebten Bauteilverstärkungen zur Bewertung der Bausubstanz tätig ist, muss der Verantwortliche der Prüfstelle als qualifizierte Führungskraft für geklebte Bauteilverstärkungen gemäß Anhang D von einer hierfür anerkannten Überwachungsstelle zertifiziert sein.
- (3) Das ausführende Unternehmen oder der Leiter der zuständigen Betonprüfstelle hat für eine regelmäßige Schulung seiner Fachkräfte zu sorgen und diese Schulung in Aufzeichnungen festzuhalten.
- (4) Bedient sich das Bauunternehmen einer nicht unternehmenseigenen Prüfstelle, so sind die Prüfungsaufgaben der Prüfstelle durch schriftliche Vereinbarung zu übertragen. Diese Vereinbarung muss mindestens eine Laufzeit von einem Jahr haben. Dabei darf das Bauunternehmen keine Prüfstelle beauftragen, die auch den Hersteller des Betons oder des Betonersatzsystems überwacht oder von diesem wirtschaftlich abhängig ist.
- (5) Die ständige Baustoffprüfstelle hat insbesondere folgende Aufgaben:
- Beratung des Bauunternehmens und der Baustellen;
 - Durchführung der Prüfungen nach Abschnitt 5, soweit sie nicht durch das Personal der Baustelle durchgeführt werden;
 - Überprüfung der Geräteausstattung der Baustellen vor Beginn der Arbeiten;
 - laufende Überprüfung und Beratung bei Verarbeitung und Nachbehandlung der Betone bzw. Betonersatzsysteme sowie der Oberflächenschutzsysteme und Verstärkungsmaßnahmen gemäß Absatz (1). Die Ergebnisse dieser Überprüfungen sind aufzuzeichnen;
 - Beurteilung und Auswertung der Ergebnisse der Prüfungen nach Abschnitt 5 und Mitteilung der Ergebnisse an das Bauunternehmen und dessen Bauleitung;
 - Schulung des Baustellenfachpersonals.

Anhang B – Prüfverfahren in der Ausführung (normativ)

(1) Die Oberfläche des Untergrundes im Bereich der Verstärkung ist visuell zu prüfen auf das Vorhandensein von

- Fehlstellen wie z. B. Kiesnester, Graten und Unebenheiten, losen Teilen und Betonabplatzungen, insbesondere über der Bewehrung;
- Feuchtigkeit, Ausblühungen, Aussinterungen oder Bewuchs;
- Verunreinigungen durch Fremdstoffe, wie z. B. Öl, Fett und Reste von Altbeschichtungen.

(2) Oberflächennahe Hohlstellen können durch Klangunterschiede beim Abklopfen festgestellt werden.

(3) Die Prüfung des Feuchtegehaltes des Betonuntergrundes erfolgt qualitativ nach der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen mit Klassifizierung in die Feuchtezustände „trocken“, „feucht“ und „nass“. Die quantitative Bestimmung des Feuchtegehaltes des Betons darf näherungsweise mit dem CM-Gerät durchgeführt und nach DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen bewertet werden. Andere Prüfmethoden zur Bestimmung des Feuchtegehaltes von Beton sind zulässig, wenn deren Ergebnisse mindestens die gleiche Aussagekraft haben.

(4) Die Bestimmung der Rautiefe des Untergrundes erfolgt nach DIN EN 1766 mit dem Sandflächenverfahren nach Kaufmann.

(5) Die Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit des Untergrundes sowie der Verbundfestigkeiten einzelner Schichten vom Untergrund erfolgt nach DIN EN 1542. Die Prüfstellen werden bis in den Untergrund vorgebohrt.

(6) Die Erfassung von Rissen, die zur Korrosion der vorhandenen Betonstahlbewehrung führen können, erfolgt gemäß DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen.

(7) Messungen zur Lufttemperatur und -feuchtigkeit und Oberflächentemperatur sowie die Ermittlung der Taupunkttemperatur erfolgen gemäß DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen.

Anhang C – Überwachung der Arbeiten durch eine anerkannte Überwachungsstelle (normativ)

(1) Die Ausführung der in dieser Richtlinie geregelten Ausgleichsschichten und Klebearbeiten sind standortsicherheitsrelevante Maßnahmen. Neben der Überwachung durch das ausführende Unternehmen besteht eine Überwachungspflicht durch eine der im "Verzeichnis der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen", Teil V, lfd. Nr. 7, aufgeführten Überwachungsstellen.

(2) Für die Überwachung der Ausführung gelten die Bestimmungen dieser Richtlinie sowie die Regelungen der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 3.

(3) Der Überwachungsstelle sind folgende Aufzeichnungen zur Ausführung auf Verlangen vorzulegen:

- Aufsteller und Prüfer der statischen Berechnung;
- Ergebnisse der Prüfungen zum Ist-Zustand der zu verstärkenden Bauteile;
- Tagesberichte zur Verstärkung;
- Liefernachweise der verwendeten Produkte (Klebstoff, Primer, Instandsetzungsmörtel, Lamellen);
- Qualifikationsnachweise des ausführenden Unternehmens (Eignungsnachweise, SIVV-Schein);
- Verlegeplan und Eigenschaften der verklebten CFK-Lamellen und CF-Gelege;
- Ergebnisse der Überwachung der Ausführung (siehe Abschnitt 5).

Anhang D – Eignungsnachweise für Unternehmen zum Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung (normativ)

D.1 Allgemeines

(1) Jedes Unternehmen, das geklebte Bauteilverstärkungen nach dieser Richtlinie ausführt, muss seine Qualifikation in Form eines Eignungsnachweises für geklebte Bauteilverstärkungen nachweisen.

(2) Eignungsnachweise werden durch die anerkannten Prüfstellen nach diesem Anhang dieser Richtlinie erteilt. Eignungsnachweise können erteilt werden für das

- Verstärken mit CFK-Lamellen und Stahllaschen durch Aufkleben auf die Bauteiloberfläche (siehe Abschnitt D.3.2);
- Verstärken mit CFK-Lamellen und Stahllaschen durch Aufkleben auf die Bauteiloberfläche sowie mit in Schlitze geklebter CFK-Lamellen (siehe Abschnitt D.3.3);
- Verstärken durch Auflaminieren von CF-Gelegen auf die Bauteiloberfläche für Umwicklungen (siehe Abschnitt D.3.4);
- Verstärken durch Auflaminieren von CF-Gelegen auf die Bauteiloberfläche für die Biegezugverstärkung (siehe Abschnitt D.3.5).

(3) Der Eignungsnachweis umfasst die Erstprüfung des Betriebes und seines Fachpersonals in praktischen Eignungsversuchen mit Überwachung durch eine dafür bauaufsichtlich anerkannte Prüfstelle¹. Der Eignungsnachweis gilt als erbracht, wenn der Betrieb die von dieser Prüfstelle ausgefertigte Bescheinigung über seine Eignung zur Verstärkung von Betonbauteilen vorlegt und dieser für die jeweils vorgesehene Art der Klebeverstärkung (siehe (2)) gilt.

(4) Bereits vor in Kraft treten dieser Ausgabe der Richtlinie erbrachte Eignungsnachweise sind anzuerkennen.

D.2 Formale Voraussetzungen an den Betrieb und das Fachpersonal

(1) Die Erstprüfung durch die Prüfstelle dient der Feststellung, ob die personellen und technischen Voraussetzungen für ordnungsgemäße Verstärkungen und für die Überwachung vorliegen.

(2) Der Betrieb muss über eine qualifizierte Führungskraft gemäß DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 3, mit besonderen Kenntnissen auf dem Gebiet der Prüfung, Bearbeitung und Instandsetzung von Betonbauteilen und der Anwendung von Kunstharzprodukten für tragende Verklebung verfügen.

(3) Zum Eignungstest ist nur Baustellenfachpersonal zugelassen, das gemäß DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 3, über besondere Fähigkeiten und Kenntnisse auf dem Gebiet der Instandsetzung von Stahlbetonbauteilen verfügt wie

- Vorbereitung des Betonuntergrundes;
- Korrosionsschutz der Bewehrung;
- Anwendung von Instandsetzungsbetonen und –mörteln;
- Füllen von Rissen;
- Verarbeitung von Klebstoffen und Verstärkungselementen im Betonbau.

(4) Die grundsätzliche Befähigung für Arbeiten nach den gültigen bauaufsichtlichen Zulassungen muss der Überwachungsstelle durch eine entsprechende Bescheinigung nachgewiesen werden. Dieser Nachweis kann derzeit nur durch die Bescheinigung des Ausbildungsbeirates „Verarbeiten von Kunststoffen im Betonbau“ (SIVV-Schein) beim Deutschen Beton und Bautechnik-Verein e. V. geführt werden.

(5) Der Betrieb hat nachzuweisen, dass das maßgebende Baustellenfachpersonal in Abständen von höchstens drei Jahren über Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen sowie insbesondere Verstärkungsmaßnahmen mit geklebter Bewehrung nach den gültigen bauaufsichtlichen Zulassungen so unterrichtet und geschult wird, dass es in der Lage ist, eine ordnungsgemäße Durchführung der Klebearbeiten einschließlich der Prüfungen sicherzustellen.

¹ siehe Teil IV des Verzeichnisses der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen, lfd. Nr. 8, zuletzt: Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik 41 (2010), Sonderheft 40

(6) Bei der Erstbeurteilung des Betriebs beurteilt die Prüfstelle die Vollständigkeit und den Erhaltungszustand der Prüf- und Messgeräte sowie der Werkzeuge und Mischgeräte, die zum Arbeiten nach den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen erforderlich sind. Die Prüfstelle überprüft das Verfahren der Überwachung durch das ausführende Unternehmen auf Vollständigkeit und Erfüllung der Anforderungen der gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

(7) Die maßgebenden Messgeräte zur Ermittlung der Haftzugfestigkeit müssen einer regelmäßigen Überprüfung der Funktionsfähigkeit und Messgenauigkeit unterliegen. Die Ergebnisse der Überprüfungen sind zu dokumentieren.

D.3 Eignungsversuche

D.3.1 Allgemeine Anforderungen

(1) Die bei den nachfolgenden Prüfungen während der Eignungsversuche ermittelten Kenngrößen sind nach den Vorgaben einer gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durch den Betrieb oder die beauftragte Baustoffprüfstelle zu dokumentieren und statistisch auszuwerten.

(2) Die Klebeverstärkung ist unter Beachtung dieser Richtlinie sowie unter Beachtung der ausführungsrelevanten Abschnitte einer gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durchzuführen. Das Protokoll der Überwachung durch das ausführende Unternehmen und die Aufzeichnungen des ausführenden Personals sind zu kontrollieren.

(3) Die Eignungsversuche werden anerkannt, wenn fehlerfreie Klebungen und bedingungsgemäße Ergebnisse gemäß einer gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erzielt worden sind. Die Eignungsversuche dürfen je Verstärkungsart nur als Ganzes wiederholt werden.

D.3.2 Verstärken mit CFK-Lamellen und Stahllaschen durch Aufkleben auf die Bauteiloberfläche

(1) Für die Verstärkung mit auf die Bauteiloberfläche verklebten CFK-Lamellen und Stahllaschen soll ein Stahlbetonbalken aus C30/37 mit rund 4 m Länge und mind. 400 mm Höhe in 3 m Höhe verstärkt werden. Die Untergrundvorbereitung für die Verklebung ist unter Beachtung der ausführungsrelevanten Abschnitte einer gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für oberflächlich verklebte CFK-Lamellen und dieser Richtlinie durchzuführen. Das Protokoll der Überwachung durch das ausführende Unternehmen und die Aufzeichnungen des ausführenden Personals sind zu kontrollieren.

(2) Auf die Unterseite des auf 3 m Höhe liegenden Stahlbetonbalkens werden zwei Stahllaschen und zwei CFK-Lamellen als Längszugverstärkung geklebt. Des Weiteren wird er mit 2 Stahllaschenbügeln, die jeweils aus zwei L-förmigen Teilen bestehen, als Querkraftverstärkung versehen. Von den beiden Stahllaschen zur Längszugverstärkung soll eine die Abmessungen 100 mm x 10 mm x 3500 mm und die andere die Abmessungen 200 mm x 10 mm x 3500 mm haben. Die CFK-Lamellen zur Längszugverstärkung sollen zwei verschiedene Breiten haben, ihre Länge soll 3500 mm betragen. Die Breite der Stahllaschenbügel zur Querkraftverstärkung soll 100 mm betragen. Die Längen der Schenkel der beiden L-förmigen Teile der Stahllaschenbügel sind so zu wählen, dass sie im angeklebten Zustand die Balkenbreite und die Balkenhöhe des zu verstärkenden Stahlbetonbalkens umfassen.

(3) Bei der breiteren Stahllasche und der breiteren CFK-Lamelle zur Längszugverstärkung wird vor dem Ankleben im mittleren Bereich der Klebefläche die Betondeckung bis auf die Bewehrung abgestemmt, um eine Fehlstelle zu erhalten. Die Fehlstelle ist durch Reprofiliermörtel nach Abschnitt 4.5 dieser Richtlinie zu schließen.

(4) Nach Erhärtung des Klebstoffs werden zunächst die Stahllaschenbügel und dann die Stahllaschen zur Längszugverstärkung abgehebelt. Die Klebung wird beurteilt. Es muss vollständiger Betonbruch in den mit dem Beton verbundenen Klebeflächen sowohl der Stahllaschenbügel als auch der Stahllaschen zur Längszugverstärkung erfolgen.

(5) Die Beurteilung der Klebung der CFK-Lamellen zur Längszugverstärkung erfolgt nach Erhärtung des Klebstoffs durch Abreißversuche. Vor dem Abreißversuch sind dafür entweder Ringnute mit dem Innendurchmesser von 50 mm zu bohren oder Nute in Form von Quadraten von ca. 50 mm Seitenlänge bis in den Beton zu schlitzen oder die Lamelle auf einer Breite, die dem Durchmesser des Prüfstempels entspricht, quer durchzutrennen. Die Prüfstempel sind auf CFK-Lamellen innerhalb der Nute bzw. Trennfugen zu kleben. Fünf Abreißversuche sind durchzuführen, wobei auf jeder CFK-Lamelle mindestens 2 Versuche zu erfolgen haben. Hierbei muss vollständiger Betonbruch erfolgen.

D.3.3 Verstärken mit CFK-Lamellen, Stahllaschen durch Aufkleben auf die Bauteiloberfläche sowie mit in Schlitze geklebter CFK-Lamellen

(1) Zusätzlich zu den Nachweisen in D.3.2 müssen folgende Nachweise erbracht werden.

(2) Als Bauteil zur Längszugverstärkung mit in Schlitze geklebten CFK-Lamellen kann sowohl eine in 3 m Höhe liegende Stahlbetonplatte als auch ein in 3 m Höhe liegender Stahlbetonbalken von mindestens 4 m Länge dienen. Der Beton muss in beiden Fällen der Betonfestigkeitsklasse C30/37 entsprechen. Hierzu werden 2 Schlitze eingeschnitten und 2 CFK-Lamellen eingeklebt. Die Länge der CFK-Lamellen soll mindestens 3500 mm betragen.

(3) Vor Herstellung der Schlitze in die Betondeckung des Stahlbetonbauteils ist die Bewehrung zerstörungsfrei auf der gesamten zu verstärkenden Fläche einzumessen. Die Messungen sind entsprechend dem Anhang des DBV-Merkblatts „Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode 2“ durchzuführen. Die Messergebnisse sind durch Freilegen der Bewehrung an mindestens einer Stelle zu überprüfen.

D.3.4 Verstärken durch Auflaminieren von CF-Gelegen auf die Bauteiloberfläche für Umwicklungen

(1) Für die Verstärkung mit auf die Bauteiloberfläche auflaminierten CF-Gelegen soll ein Stahlbetonbalken aus C30/37 mit rund 4 m Länge und mind. 400 mm Höhe mit Querkraftbewehrung und zwei Schachtringe von mindestens 1,5 m Durchmesser und 40 cm Höhe verstärkt werden. Wurden vorher die Eignungsversuche nach D.3.2 durchgeführt, dürfen für die Querkraftbewehrung auch die unter D.3.2 verwendeten Balken erneut verwendet werden. Alle angeklebten CFK-Lamellen bzw. Stahllaschen sind dazu vorher zu entfernen. Die Untergrundvorbereitung für das Auflaminieren ist unter Beachtung der ausführungsrelevanten Abschnitte einer gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für das Verstärken durch das Auflaminieren von CF-Gelegen auf die Bauteiloberfläche und dieser Richtlinie durchzuführen. Das Protokoll der Überwachung durch das ausführende Unternehmen und die Aufzeichnungen des ausführenden Personals sind zu kontrollieren.

(2) Um den auf 3 m Höhe liegenden Stahlbetonbalken werden zwei Streifen des Geleges als Querkraftverstärkung auflaminiert. Einer der Gelegestreifen der Querkraftverstärkung soll aus einer und der andere aus drei Lagen bestehen. Die Breite der Querkraftverstärkung soll 100 mm betragen. Die Querkraftverstärkungen sollen den gesamten Balken umschließen. Um die Schachtringe sind über die gesamte Höhe Gelegestreifen zu umwickeln. Ein Schachtring ist dabei mit einer Lage Gelege und der zweite Schachtring mit drei Lagen Gelege zu umwickeln.

(3) Im mittleren unteren Bereich der Klebefläche einer Querkraftverstärkung und in halber Höhe der Schachtringe wird vor dem Auflaminieren die Betondeckung bis auf die Bewehrung abgestemmt, um Fehlstellen zu erhalten. Die Fehlstellen sind durch Reprofilermörtel nach Abschnitt 4.5 dieser Richtlinie zu schließen.

(4) Die Beurteilung der Klebung der CFK-Gelege erfolgt nach dem Aushärten des Laminierharzes durch Abreißversuche. Hierfür sind in die CFK-Gelege vor dem Abreißversuch Ringnute mit Innendurchmesser von 50 mm zu bohren oder Nute in Form von Quadraten mit ca. 50 mm Seitenlänge bis in den Beton zu schlitzen. Die Prüfstempel sind auf die CFK-Gelege innerhalb der Nute zu kleben. Fünf Abreißversuche sind durchzuführen, wobei auf jedem CFK-Gelege (Querkraftverstärkungen und Umwicklungen) mindestens einer zu erfolgen hat. Hierbei muss vollständiger Betonbruch erfolgen.

D.3.5 Verstärken durch Auflaminieren von CF-Gelegen auf die Bauteiloberfläche für die Biegezugverstärkung

(1) Für die Verstärkung mit auf die Bauteiloberfläche auflaminierten CF-Gelegen soll ein Stahlbetonbalken aus C30/37 mit rund 4 m Länge und mind. 400 mm Höhe in 3 m Höhe verstärkt werden. Wurden vorher die Eignungsversuche nach D.3.2 durchgeführt, dürfen auch die dafür verwendeten Balken erneut verwendet werden. Alle angeklebten CFK-Lamellen bzw. Stahllaschen sind dazu vorher zu entfernen. Die Untergrundvorbereitung für das Auflaminieren ist unter Beachtung der ausführungsrelevanten Abschnitte einer gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für das Verstärken durch das Auflaminieren von CF-Gelegen auf die Bauteiloberfläche und dieser Richtlinie durchzuführen. Das Protokoll der Überwachung durch das ausführende Unternehmen und die Aufzeichnungen des ausführenden Personals sind zu kontrollieren.

(2) Auf die Unterseite des auf 3 m Höhe liegenden Stahlbetonbalkens werden zwei Streifen des Geleges als Längszugverstärkung und zwei Streifen des Geleges als Querkraftverstärkung auflaminiert. Einer der Gelegestreifen sowohl der Längszug- als auch der Querkraftverstärkung sollen aus einer und der andere aus drei Lagen bestehen. Die Längszugverstärkungen sollen zwei verschiedene Breiten haben, ihre Länge soll 3500 mm betragen. Die Breite der Querkraftverstärkung soll 100 mm betragen. Die Querkraftverstärkungen sollen den gesamten Balken umschließen.

(3) Im mittleren Bereich der Klebefläche der breiteren Längszugverstärkung wird vor dem Auflaminieren die Betondeckung bis auf die Bewehrung abgestemmt, um eine Fehlstelle zu erhalten.

(4) Die Beurteilung der Klebung der CFK-Gelege erfolgt nach dem Aushärten des Laminierharzes durch Abreißversuche. Hierfür sind in die CFK-Gelege vor dem Abreißversuch Ringnute mit Innendurchmesser von 50 mm zu bohren oder Nute in Form von Quadraten mit ca. 50 mm Seitenlänge bis in den Beton zu schlitzen. Die Prüfstempel sind auf die CFK-Gelege innerhalb der Nute zu kleben. Fünf Abreißversuche sind durchzuführen, wobei auf jedem CFK-Gelege (Längs- und Querkraftverstärkung) mindestens einer zu erfolgen hat. Hierbei muss vollständiger Betonbruch erfolgen.

D.4 Zertifizierung des Fachbetriebs

(1) Die Prüfstelle stellt dem Betrieb die Bescheinigung über die Eignung aus, sofern diese nachgewiesen wurde. Eine Kopie dieser Bescheinigung und des entsprechenden Beurteilungsberichtes sind dem Deutschen Institut für Bautechnik einzusenden.

(2) Die Bescheinigung wird für drei Jahre widerruflich erteilt. Auf Antrag kann die Geltungsdauer der Bescheinigung um jeweils drei Jahre verlängert werden. Vor jeder Verlängerung ist der Prüfstelle darzulegen, dass die Bedingungen der gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen eingehalten worden sind. Der Unternehmer muss der Prüfstelle jeden Wechsel der verantwortlichen Fachkräfte anzeigen.

(3) Nach Ablauf der Zertifizierungszeitspanne kann der Eignungsnachweis durch die Prüfstelle verlängert werden. Hierzu muss der ausführende Betrieb eine Liste der ausgeführten Bauobjekte vorlegen, die mindestens folgende Angaben enthalten muss:

- Name, Ort und Art des Bauobjektes;
- Überwachungsbericht der Prüfstelle der Bauausführung.

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung

Teil 4: Ergänzende Regelungen zur Planung von Verstärkungsmaßnahmen

Teil 4: Ergänzende Regelungen zur Planung von Verstärkungsmaßnahmen

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Anwendungsbereich.....	116
2 Normative Verweisungen	116
3 Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil	116
3.1 Spezielle Regelungen für aufgeklebte Stahllaschen, CFK-Lamellen und CF-Gelege.....	116
3.2 Spezielle Regelungen für in Schlitze verklebte CFK-Lamellen.....	116
4 Grundsätze	117
4.1 Allgemein.....	117
Anhang A – Ermittlung des Erwartungswerts des Mittelwerts	118

1 Anwendungsbereich

- (1) Dieser Teil der Richtlinie legt Regelungen hinsichtlich der Planung von Verstärkungsmaßnahmen mit geklebter Bewehrung fest.
- (2) Ist im Zuge der Verstärkungsmaßnahme eine Instandsetzung des Bauteiles erforderlich, ist ergänzend die DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen anzuwenden.
- (3) Bei Anwendung der Richtlinie im bauaufsichtlichen Bereich ist für die Verstärkungssysteme als Verwendbarkeitsnachweis eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich.
- (4) Zur Planung von Verstärkungsmaßnahmen gehört auch die Feststellung des Ist-Zustandes.
- (5) Die Erfüllung der Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil ist vor Beginn der Maßnahmen zu prüfen und zu dokumentieren.
- (6) Falls die Betondeckungen nach DIN EN 1992-1-1 für die innere Bewehrung nicht eingehalten sind, müssen gegebenenfalls für die Dauerhaftigkeit unter Berücksichtigung der Restnutzungsdauer zusätzliche Maßnahmen geplant werden.

2 Normative Verweisungen

DIN EN 1542, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch*

DIN EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*

DIN EN 13791, *Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen*

DAfStb-Richtlinie *Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Ausgabe 2001*

3 Anforderungen an das zu verstärkende Bauteil

3.1 Spezielle Regelungen für aufgeklebte Stahllaschen, CFK-Lamellen und CF-Gelege

- (1) Die erforderliche Oberflächenzugfestigkeit des Betons nach Teil 1 dieser Richtlinie muss am Bauteil ermittelt werden.
- (2) Die Ebenheitskennwerte sind am Bauteil zu überprüfen.
- (3) Es ist zu überprüfen, dass im Bereich der vorgesehenen Klebung keine konkave Krümmung vorliegt. Der vorbereitete Betonuntergrund darf die Toleranzen von 5 mm auf 2000 mm nicht überschreiten.
- (4) Im Bereich der Klebefläche muss zur Übertragung der Verbundkräfte der geklebten Bewehrung die Betondeckung der Betonstahlbewehrung mindestens 10 mm betragen.

3.2 Spezielle Regelungen für in Schlitzte verklebte CFK-Lamellen

- (1) Größere Unebenheiten bis zu 30 mm müssen abgetragen oder mit einem geeigneten Mörtelsystem ausgeglichen werden.
- (2) Die Betondeckung im Bereich der in Schlitzte zu verklebenden Lamellen muss nachgewiesen und dokumentiert werden. Die nachgewiesene Betondeckung muss mindestens so groß wie die Lamellenbreite, erhöht um ein Vorhaltemaß (siehe Konstruktionsregeln in Teil 1 dieser Richtlinie), sein.

4 Grundsätze

4.1 Allgemein

(1) Die Planung gemäß dieser Richtlinie muss mindestens beinhalten:

- die Ermittlung und Beurteilung des Zustandes des zu verstärkenden Bauteils (Ist-Zustand, gegebenenfalls Schadensursache und -prognose);
- die Beurteilung der baulichen Sicherheit mit Aussagen zur Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und zum Brandschutz;
- Aussagen zur Zugänglichkeit der zu verstärkenden Bauteile;
- die Festlegung, ob die Verstärkungsmaßnahme standsicherheitsrelevant ist oder der Gebrauchstauglichkeit dient;
- Aussagen zur zukünftigen Korrosionserwartung der innenliegenden Bewehrung in der Restnutzungsphase des Bauteils im Bereich der geklebten Bauteilverstärkung;
- Festlegungen zu gegebenenfalls erforderlichen ergänzenden Schutzmaßnahmen;
- Festlegungen zur gegebenenfalls erforderlichen Wartung und Instandhaltung nach der Verstärkung eines Bauteils;
- die statischen Nachweise zur Verstärkung nach Teil 1 dieser Richtlinie;
- einen Verlegeplan mit Festlegung der Eigenschaften des Klebesystems.

(2) In der Entwurfsplanung dürfen Angaben zu Eigenschaften des zu verstärkenden Betonbauteils aus Bestandsunterlagen unter sachkundiger Bewertung verwendet werden.

(3) Die bei der weiteren Planung der Verstärkungsmaßnahme zu ermittelnden Angaben zum Ist-Zustand des zu verstärkenden Bauteils sollten umfassen:

- die mittlere Oberflächenzugfestigkeit des Betons im Bereich der Klebeflächen, ermittelt nach DIN EN 1542. Der in der Bemessung angesetzte Mittelwert $f_{ctm,surf}$ darf nicht größer sein, als der am Bauteil ermittelte Erwartungswert des Mittelwerts. Dieser Erwartungswert des Mittelwerts ist in Abhängigkeit der Stichprobenanzahl und Standardabweichung nach Anhang A zu ermitteln.
- Die Betondruckfestigkeitsklasse jedes zu verstärkenden Bauteilabschnitts, ermittelt nach DIN EN 13791;
- Art und Erhaltungszustand der vorhandenen Bewehrung;
- Betondeckung der vorhandenen Bewehrung und Karbonatisierungstiefe im Beton;
- Lage, Verlauf und Breite von Rissen, sofern diese zur Korrosion der innenliegenden Bewehrung führen können;
- gegebenenfalls Angaben zu Schadstoffen im Beton, die zur Korrosion der Bewehrung oder des Betons führen können.

(4) Erfüllt die Betondeckung der vorhandenen innenliegenden Bewehrung nicht die Anforderungen der DIN EN 1992, sind zusätzliche Maßnahmen zur Sicherstellung des Korrosions- und Brandschutzes vor oder nach Durchführung der Klebearbeiten vorzusehen.

Anhang A – Ermittlung des Erwartungswerts des Mittelwerts

(1) Der Erwartungswert des Mittelwerts ist aus der Anzahl der Versuche und der Standardabweichung gemäß Gleichung (A.1) zu ermitteln.

$$f_m = \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n f_i \right) - k \cdot s \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist:

f_m	Erwartungswert des Mittelwerts
n	Anzahl der Stichproben
f_i	Wert der einzelnen Stichproben
k	Wert nach Tabelle A.1
s	Standardabweichung der Stichproben

Tabelle A.1 – Faktor k

Spalte	1	2
Zeile	n	k
1	5	0,953
2	6	0,823
3	7	0,734
4	8	0,670
5	9	0,620
6	10	0,580
7	15	0,455
8	20	0,387
9	25	0,342
10	30	0,310
11	35	0,286
12	$k = \frac{t_{n-1;1-S;}}{\sqrt{n}}$ <p>Einseitig berechnet für eine statistische Sicherheit von S=95 %; t aus Studententverteilung</p>	

