B2 – Schöck Combar®-Bewehrung

In Zusammenarbeit mit der Firma Schöck Bauteile GmbH wurde im FRILO-Programm B2 für die Bemessung und Nachweisführung von Stahlbetonbauteilen auf Querschnittsebene die Bewehrung Schöck Combar® implementiert.

Inhaltsverzeichnis

Anwendung	2
Materialauswahl	3
Dauerhaftigkeit	4
Biegetragfähigkeit	4
Querkrafttragfähigkeit	4
Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung	4
Erweiterte Bemessungs- und Konstruktionsregeln mit ZiE	5
Besonderheiten bei Kreisquerschnitten	6
Nachweise der Gebrauchstauglichkeit	7
Rissbreitennachweis	7
Spannungsnachweis	7
Anwendungsbereich	7
Literatur	8

Weitere Informationen und Beschreibungen finden Sie in der Technischen Information zu Schöck Combar® sowie auf der Webseite der Schöck Bauteile GmbH

Anwendung

Schöck Combar® ist eine nichtmetallische gerippte Bewehrung aus glasfaserverstärktem Kunststoff, die sich gegenüber normalem Betonstahl durch ihre Korrosionsbeständigkeit bei Expositionsklassen XC, XD und XS, eine hohe Chemikalienbeständigkeit, eine geringe Wärmeleitfähigkeit, eine geringe Dichte, keine elektrische Leitfähigkeit, keinen Magnetismus, eine hohe Zugfestigkeit sowie eine leichte Zerspanbarkeit auszeichnet.

Durch diese Eigenschaften bietet sich ihr Einsatz in vielen Bauwerken an: Unter anderem bei Parkhäusern, Tiefgaragen, Brückenkappen und Brückendecks, im Eisenbahnbau, für Bohrpfähle und Schlitzwände von Baugruben im Tunnelbau, im Industrie-, Energieanlagen- und Forschungseinrichtungsbau sowie für Thermo- und Fassadenanker.

Für die Bemessung von mit Combar® bewehrten Betonbauteilen nach DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA steht eine allgemeine bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) [1] zur Verfügung. Diese regelt den Einsatz gerader Combar®-Bewehrungsstäbe. Die abZ ist auf Bauteile, in denen rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich ist, beschränkt.

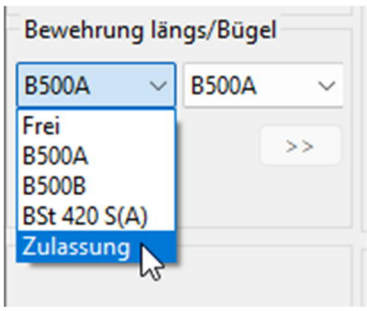
Neben den Bemessungsregeln der abZ bietet B2 für folgende weitere Anwendungsfälle eine Bemessung auf Grundlage verschiedener Literatur ([4], [5] und [7]) an:

- gebogene Combar®-Längsbewehrung
- rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung
- erhöhte Kurzzeitfestigkeit (5 Jahre Nutzung)

Für diese Anwendungsfälle ist eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erforderlich.

Das beim Hersteller in Überarbeitung befindliche Dokument „Technische Information Schöck Combar®“ [3] wird eine übersichtliche Zusammenstellung aller Nachweisvarianten enthalten.

Materialauswahl

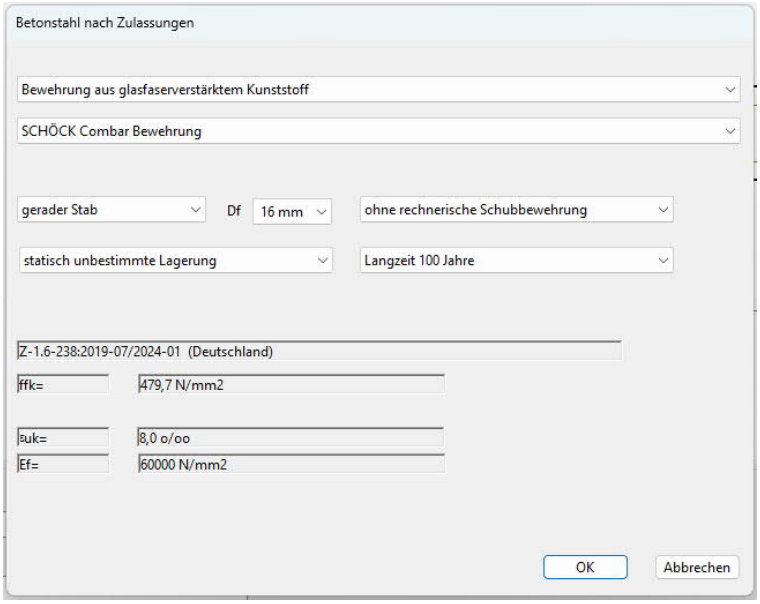


Die Auswahl des Materials Combar® erfolgt über die Auswahlbox für Längsbewehrung in der Eingabeansicht.

Wählen Sie dort Zulassung ▸ Betonstahl nach Zulassung ▸ Bewehrung aus glasfaserverstärktem Kunststoff ▸ Schöck Combar Bewehrung.

Längsbewehrung

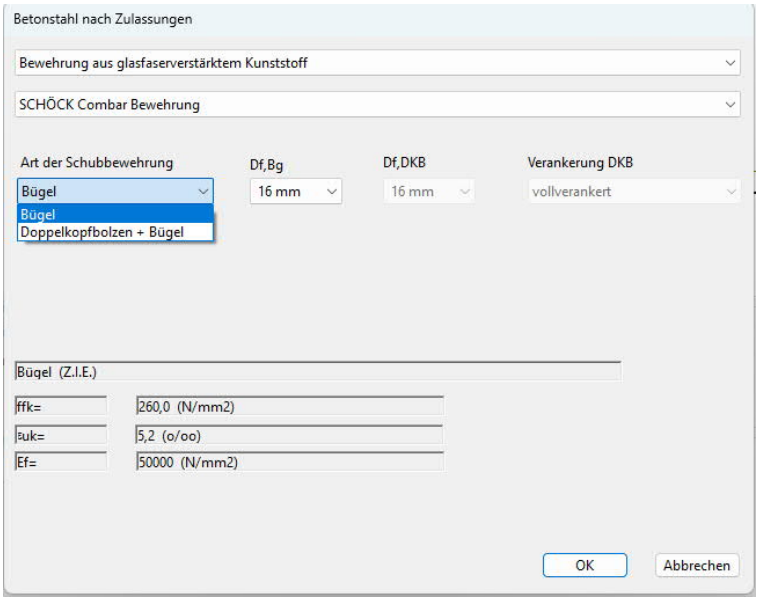
- Stabform (gerade, gebogen)
- Stabdurchmesser
- Querkraftnachweis (mit / ohne rechnerische Schubbewehrung)
- statisches System (bestimmt, unbestimmt)
- Nutzungsdauer (Langzeit, Kurzzeit)



Querkraftbewehrung

Wenn die Combar®-Längsbewehrung aktiviert ist, ist in der Auswahlbox für Querkraftbewehrung die Auswahl der Combar®-Schubbewehrung möglich.

- Bewehrungsart (Bügel, Doppelkopfbolzen und Bügel)
- Durchmesser der Bewehrungsstäbe
- Verankerung der Doppelkopfbolzen (vollverankert, teilverankert)



Entsprechend den gewählten Optionen wird angezeigt, ob die Bemessung auf Grundlage der abZ [1] erfolgt oder eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erforderlich ist.

Zudem werden folgende Parameter ausgegeben:

- charakteristische Zugfestigkeit
- charakteristische Grenzdehnung
- E-Modul

Dauerhaftigkeit

Die Combar®-Bewehrung ist korrosionsbeständig gegenüber den Expositionsklassen XC, XD und XS. Dadurch ist eine Mindestbetondeckung entsprechend des Bewehrungsstabdurchmessers und mindestens von 10 mm ausreichend.

Biegetragfähigkeit

Es sind folgende besondere Eigenschaften der Combar®-Längsbewehrung zu beachten:

- Zugfestigkeit, E-Modul und Bruchdehnungen für gerade Stäbe bei Langzeitbelastung nach abZ [1] bzw. für gerade Stäbe bei Kurzzeitbelastung oder gebogene Stäbe nach [3] sowie Unterscheidung für statisch bestimmtes bzw. unbestimmtes System.
- Als Teilsicherheitsbeiwert ist nach abZ $\gamma_f = 1{,}3$ berücksichtigt.
- Eine in der Druckzone gelegene Bewehrung darf nicht angerechnet werden.
- Die Mindestbewehrung zur Sicherung des duktilen Bauteilverhaltens ist mit einer Festigkeit von $\sigma_f = 0.83 \cdot f_{fk}$ gemäß abZ berücksichtigt.
- Der Höchstbewehrungsgrad beträgt gemäß abZ 3,5 %.

Die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten Zugfestigkeiten gelten für Betone ≥ C20/25. Bei Bauteilen mit geraden Combar®-Stäben darf auch Beton mit einer geringeren Betondruckfestigkeitsklasse verwendet werden. In diesem Fall gelten geringere Bemessungswerte der Zugfestigkeit (siehe abZ [1]).

Stabform	E_f [N/mm²]	Statisches System	Langzeit		Kurzzeit	
			f_{fk} [N/mm²]	f_{fd} [N/mm²]	f_{fk} [N/mm²]	f_{fd} [N/mm²]
gerade	60000	bestimmt	580	446	680	523
		unbestimmt	481	370	565	435
gebogen	50000	bestimmt	250	192	250	192
		unbestimmt	208	160	208	160

Tabelle 1 Materialeigenschaften der Combar®-Längsbewehrung

Querkrafttragfähigkeit

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

Im Rahmen der abZ [1] sind nur Querschnitte ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung ($V_{Ed} < V_{Rd,c}$) geregelt. Eine Unterscheidung von Kurz- und Langzeitfestigkeit ist nicht vorgesehen.
Die Ermittlung von $V_{Rd,c}$ erfolgt entsprechend abZ über eine gegenüber DIN EN 1992-1-1/NA, Gleichung 6.2a modifizierte Formel. Gleichung 6.2b aus DIN EN 1992-1-1/NA darf nicht angewendet werden.

$$V_{Rd,c} = \frac{0{,}138}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot \frac{E_{fl}}{E_S} \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$

E_{fl} / E_s E-Modul Combar®-Längsbewehrung / Betonstahl

alle anderen Formelzeichen gemäß DIN EN 1992-1-1, Absatz 6.2.2

Eine Mindestschubbewehrung für Balken und Platten mit b/h < 5 ist mit Betonstahl nach DIN 488 bzw. nichtrostendem Stahl nach Zulassung auszuführen und wird nach DIN EN 1992-1-1/NA ermittelt.

Erweiterte Bemessungs- und Konstruktionsregeln mit ZiE

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit erfolgt nach dem Verfahren von Hegger/Kurth, veröffentlicht in [4] und detailliert in [3] und [5] beschrieben und ist bei biegebeanspruchten Bauteilen anwendbar.

Ist eine Combar®-Längsbewehrung vorhanden, können sowohl Combar®-Bügel und Combar®-Doppelkopfbolzen als auch Bügel aus Betonstahl (B500) oder nichtrostendem Stahl (B500 NR) bemessen werden.

Bei Combar®-Bügeln gelten die Festigkeiten für gebogene Stäbe im statisch unbestimmten System. Für Kurzzeitbeanspruchungen werden höhere Festigkeiten berücksichtigt.

Die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten Combar®-Zugfestigkeiten gelten für Betone ≥ C20/25. Betone einer geringeren Betondruckfestigkeitsklasse können nicht in Kombination mit gebogener Combar®-Bewehrung verwendet werden.

Material	Ø Stab [mm]	E- Modul [N/mm²]	f_{fk} [N/mm²]	f_{fd} [N/mm²]
Combar®-Bügel (Kurzzeit)	12, 16, 20	50000	260	200
Combar®-Bügel (Langzeit)	12, 16, 20	50000	208	160
Combar®-Doppelkopfbolzen (vollverankert)	12	60000	260	200
	16			
	20			
	25		216	166
	32		169	130
Combar®-Doppelkopfbolzen (teilverankert)	12	60000	186	143
	16		231	178
	20		182	140
	25		148	114
	32		116	89
B500	alle Ø	200000	500	435
B500 NR	alle Ø	Zulassung	500	435

Tabelle 2 Materialeigenschaften der Combar®- Querkraftbewehrung und Stahlbügel

$V_{Rd,c}$ Tragfähigkeitsanteil ohne Querkraftbewehrung (Ergebnis identisch mit der Formel in abZ [1])

$$V_{Rd,c} = \beta \cdot \frac{1}{425 \cdot \gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot E_{fl} \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$

$$\beta = \frac{3}{a/d} \geq 1{,}0$$ Erhöhungsfaktor zur Erfassung der Einflüsse auflagernaher Lasten, β = 1,0

Kurzzeitbeanspruchung
Der Tragkraftanteil $0.12 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_w \cdot d$ mit $\sigma_{cp} < 0{,}2\ f_{cd}$ analog zur Gleichung 6.2a nach DIN EN 1992-1-1 wird bei einer Kurzzeitbeanspruchung berücksichtigt, wobei nur tragfähigkeitssteigernde Drucknormalkräfte berücksichtigt werden. Zugnormalkräfte bleiben unberücksichtigt.

$V_{Rd,f}$ Tragfähigkeitsanteil der Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,f} = \alpha_{fw} \cdot f_{fd,w} \cdot z \cdot \cot(\theta)$$

α_{fw} Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung

$f_{fd,w}$ Bemessungswert der Zugfestigkeit der Querkraftbewehrung
abhängig von der Bauteilbiegesteifigkeit (näherungsweise nur Anteil der Längsbewehrung)

$$f_{fd,w} \leq E_{fw} \cdot \varepsilon_{fd,w}$$

$$\varepsilon_{fd,w} = 2{,}3 + \frac{2 \cdot EI^{*}[MNm^2]}{30} \leq 7{,}0‰$$

$$EI^{*} = E_{fl} \cdot A_{fl} \cdot (0{,}8 \cdot d)^2$$

A_{fl} Querschnittsfläche der Combar®-Längsbewehrung

z Hebelarm der inneren Kräfte

θ Druckstrebenwinkel

$$20° \leq \theta = \arctan\left[\sqrt[3]{\frac{M/V \cdot a_{fw} \cdot E_{fw}}{A_{fl} \cdot E_{fl}}}\right] \leq 50°$$

- Bedingt durch die Abhängigkeit des Druckstrebenwinkels von der Schubbewehrung muss die Ermittlung der erforderlichen Schubbewehrung iterativ erfolgen, sodass $V_{Ed} = V_{Rd,c} + V_{Rd,f}$ gilt.
- Da der Druckstrebenwinkel auch vom Biegemoment beeinflusst wird, ist die Kombination maximale Querkraft und zugehöriges Moment nicht zwangsläufig maßgebend.

$V_{Rd,max}$ maximal aufnehmbare Querkraft

$$V_{Rd,max} = V_{Rd,c} + \frac{1{,}1 \cdot b_w \cdot z \cdot f_{cm}^{2/3}}{\gamma_c \cdot (\cot(\theta) + \tan(\theta))}$$

$a_{fw,min}$ Mindestquerkraftbewehrung (Formel aus [3])

$$\rho_{fw,min} = 0{,}16 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{fd,w}}$$

Bei kombinierter Schubbewehrung aus Combar®-Bügel und Combar®-Doppelkopfbolzen wird der geringere $f_{fd,w}$-Wert der beiden Bewehrungsarten angesetzt.

$s_{l,max}$ maximaler Längsabstand der Querkraftbewehrungselemente (Formel aus [8])

$V_{Ed} \leq 0{,}6 \cdot V_{Rd,max}$: $s_{l,max} = 0{,}5 \cdot d \leq 300mm$

$V_{Ed} > 0{,}6 \cdot V_{Rd,max}$: $s_{l,max} = 0{,}25 \cdot d \leq 200mm$

Besonderheiten bei Kreisquerschnitten

- Wirksame Breite b_w (kleinste Breite zwischen Zug- und Druckresultierender) nach [6].
- Die Längsbewehrung geht vereinfachend mit 1/3 in den Querkraftnachweis ein und wird für den Längsbewehrungsgrad ρ_l auf die Fläche $b_w \bullet d$ bezogen (nach [7]).
- Es wird der Wirksamkeitsfaktor k_{Asw} für Rundbügel berücksichtigt.

  Wegen der suboptimalen Form für die Aufnahme der vertikal einwirkenden Querkraft erfolgt eine Abminderung der Bügeltragfähigkeit analog zum Querkraftnachweis im Stahlbetonkreisquerschnitt (siehe. B2-Handbuch „Nachweise am Stahlbetonquerschnitt“ Kapitel „Schubbemessung“).

Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

Rissbreitennachweis

Nach abz [1] darf der Rechenwert der Rissbreite w_{max} quer zum Combar® 0,4 mm nicht überschreiten. Im Dialog zur Dauerhaftigkeit kann w_{max} definiert werden. Wird w_{max} > 0,4 mm (Maximalwert von w_{max} = 0,7 mm) gewählt, erscheint im Programm ein Hinweis, dass für die definierte maximale Rissbreite eine ZiE erforderlich ist.

Der Rissbreitennachweis wird gemäß abZ nach DIN EN 1992-1-1, Abs. 7.3.4 mit folgenden Änderungen geführt:

- ε_{sm} wird durch ε_{fm} (mittlere Dehnung des Combar®) ersetzt,
- der Betonstahl-E-Modul wird durch den Combar®-E-Modul ersetzt,
- σ_s wird durch σ_f (Spannung des Combar® im Riss) ersetzt und
- DIN EN 1992-1-1, Gleichung (7.11) wird ersetzt durch:

Combar®-Längsbewehrungsstäbe mit Ø 8 mm – Ø 25 m

$$s_{r,max} = \frac{d_f}{2{,}8 \cdot \mathrm{eff}\rho_f} \leq \frac{\sigma_f \cdot d_f}{2{,}8 \cdot f_{ct,eff}}$$

bzw. mit Ø 32 mm:

$$s_{r,max} = \frac{d_f}{2{,}1 \cdot \mathrm{eff}\rho_f} \leq \frac{\sigma_f \cdot d_f}{2{,}1 \cdot f_{ct,eff}}$$

mit $\mathrm{eff}\rho_f = \frac{A_f}{A_{c,eff}}$

Spannungsnachweis

Der Spannungsnachweis ist für gerade Combar®-Stäbe gemäß abZ [1] verfügbar. Unter der seltenen Lastkombination wird die Spannung der Combar®-Bewehrung auf 300 N/mm² begrenzt.

Anwendungsbereich

- vorwiegend ruhende Lasten
- keine zweiachsige Querkraft- und Momentenbeanspruchung
- keine Torsionsbeanspruchung
- die Betondeckung bei Anforderungen an die Brandwiderstandsdauer ist gesondert zu beachten
- Temperaturen von -20 °C bis 40 °C
- Betonfestigkeitsklassen > C12/15 für gerade Combar®-Längsbewehrung und > C20/25 für gebogene Combar®-Längsbewehrung. Die Anwendung für höhere Betonfestigkeiten als C50/60 ist möglich, wenn für die Druckfestigkeit und die Verbundfestigkeit die Werte eines C50/60 angesetzt werden.
- keine Querschnitte mit Ortbetonergänzung
- maximaler Bewehrungsgrad 3,5 %
- keine Kombination von Längsbewehrung aus Betonstahl und Längsbewehrung aus Combar®
- keine Kombination von Längsbewehrung aus geradem und gebogenem Combar®-Stab
- keine Combar®-Querkraftbewehrung bei konventioneller Längsbewehrung

Literatur

[1] Schöck Bauteile GmbH und Deutsches Institut für Bautechnik: „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Allgemeine Bauartgenehmigung Schöck Combar® (Z-1.6-238)“; Baden-Baden (2019)

Online verfügbar unter https://www.schoeck.com/download/8047/Zulassung_Schoeck_Combar®_Z_1.6_238%5B8047%5D.pdf/de, zuletzt geprüft am 25.08.2023.

[2] Betonkalender 2016 Teil 1, S.228-230

[3] Schöck Bauteile GmbH: „Technische Information Schöck Combar®“; (2019) *1
Online verfügbar unter https://www.schoeck.com/download/7725/Technische_Information_Schoeck_Combar®_%5B7725%5D.pdf/de, zuletzt geprüft am 25.08.2023.

[4] Hegger, Kurth: „Querkrafttragfähigkeit von Betonbauteilen mit Faserverbundkunststoff-Bewehrung – Ableitung eines Bemessungsansatzes“; in Bauingenieur 10/2013

[5] Kurth: „Zum Querkrafttragverhalten von Betonbauteilen mit Faserverbundkunststoff-Bewehrung“; Dissertation; Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen; Aachen (2012)

Online verfügbar unter http://publications.rwth-aachen.de/record/210436/files/4471.pdf, zuletzt geprüft am 25.08.2023.

[6] Bender: „Zum Querkrafttragverhalten von Stahlbetonbauteilen mit Kreisquerschnitt“; Dissertation; Ruhr-Universität Bochum; Bochum (2009)

Online verfügbar unter https://hss-opus.ub.ruhr-uni-bochum.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/2324/file/diss.pdf, zuletzt geprüft am 25.08.2023.

[7] Hegger, Roeser, Kurth: „Gutachten zu Schöck Combar® Bewehrungsstäben im Spezialtiefbau (Soft Eye)“; Aachen (2022); verfügbar auf Anfrage bei Schöck Bauteile GmbH

[8] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: „DAfStb-Richtlinie Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung“, Entwurf, Berlin (16.06.2023)

*1: Dieses Dokument befindet sich derzeit noch in Überarbeitung. Detaillierte Informationen können Sie über diesen Kontakt einholen:
Schöck Bauteile GmbH Anwendungstechnik
Tel. 07223 967-567 E-Mail: Combar@schoeck.de