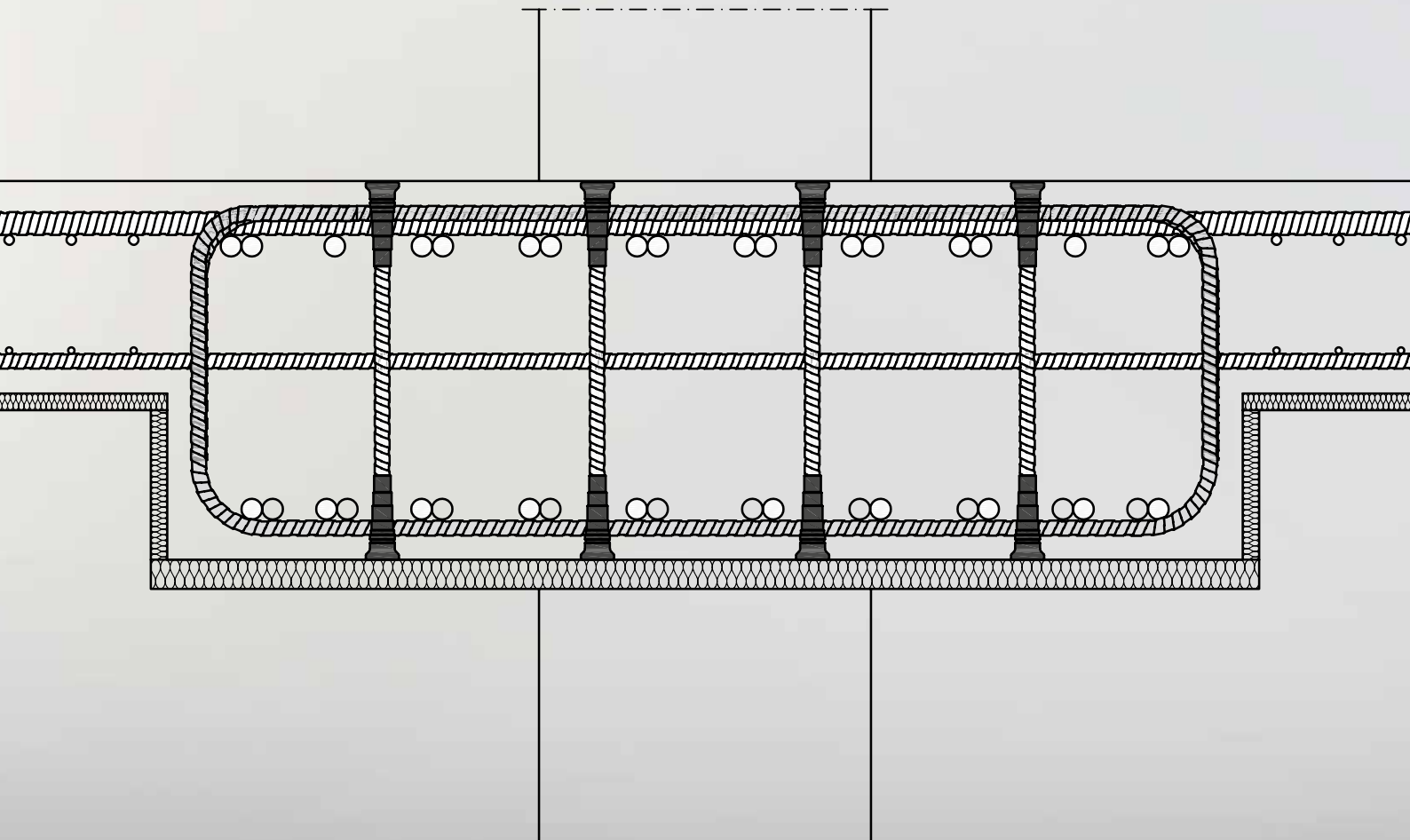




TECHNISCHE INFORMATION – OKTOBER 2023

Combar®

Glasfaserverbundbewehrung

Planungs- und Beratungsservice

Die Ingenieurinnen und Ingenieure der Anwendungstechnik von Schöck beraten Sie gerne bei statischen, konstruktiven und bauphysikalischen Fragestellungen und erarbeiten für Sie Lösungsvorschläge mit Berechnungen und Detailzeichnungen. Schicken Sie hierfür bitte Ihre Planungsunterlagen (Grundrisse, Schnitte, statische Angaben) mit der Bauvorhabenadresse an:

Schöck Bauteile GmbH

Schöckstraße 1
76534 Baden-Baden

Anwendungstechnik

Telefon-Hotline und technische Projektbearbeitung

Telefon: 07223 967-567
Telefax: 07223 967-251
E-Mail: awt-technik-de@schoeck.com

Anforderung und Download von Planungshilfen

Telefon: 07223 967-435
E-Mail: schoeck-de@schoeck.com
Internet: www.schoeck.com

Seminarangebot und Vor-Ort-Beratung

Telefon: 07223 967-435
Internet: www.schoeck.com

Vorbereitete Ausschreibungstexte

Für jeden Combar® Typ finden Sie einen vorbereiteten Ausschreibungstext unter:
www.schoeck.com/ausschreibungstexte/combar/de

Hinweise | Symbole

Technische Information

- Diese Technischen Informationen zu den jeweiligen Produktanwendungen haben nur in ihrer Gesamtheit Gültigkeit und dürfen daher nur vollständig vervielfältigt werden. Bei lediglich auszugsweiser Veröffentlichung von Texten und Bildern besteht die Gefahr der Vermittlung unzureichender oder sogar verfälschter Informationen. Die Weitergabe liegt daher in der alleinigen Verantwortung des Nutzers bzw. Bearbeiters!
- Diese Technische Information ist ausschließlich für Deutschland gültig und berücksichtigt die länderspezifischen Normen und produktspezifischen Zulassungen.
- Findet der Einbau in einem anderen Land statt, so ist die für das jeweilige Land gültige Technische Information anzuwenden.
- Es ist die jeweils aktuelle Technische Information anzuwenden. Eine aktuelle Version finden Sie unter:
www.schoeck.com/download-technische-informationen/de

Hinweissymbole

Gefahrenhinweis

Das Dreieck mit Ausrufezeichen kennzeichnet einen Gefahrenhinweis. Bei Nichtbeachtung droht Gefahr für Leib und Leben!

Info

Das Quadrat mit i kennzeichnet eine wichtige Information, die z. B. bei der Bemessung zu beachten ist.

Checkliste

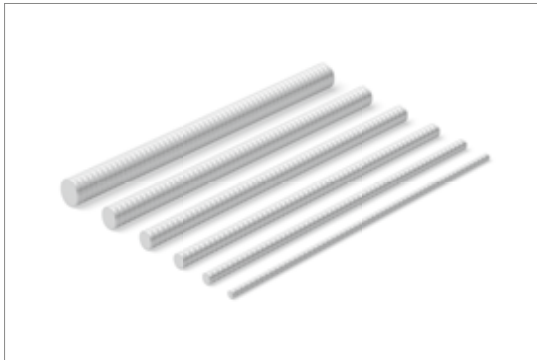
Das Quadrat mit Haken kennzeichnet die Checkliste. Hier werden die wesentlichen Punkte der Bemessung kurz zusammengefasst.

Inhaltsverzeichnis

Übersicht	6
Typenübersicht	6
Anwendungsübersicht	7
Werkstoff	9
Grundlagen zur Bemessung	17
Bemessung dauerhafter Bauteile	27
Bemessung temporärer Bauteile	43
Bemessungsbeispiel Bodenplatte	57

Typenübersicht

Gerade Stäbe



Als tragende Bewehrung zur Aufnahme von Zugkräften

Durchmesser / Standardlängen

Ø 8 mm / 12 m und 6 m
 Ø 12 mm / 12 m und 6 m
 Ø 16 mm / 12 m und 6 m
 Ø 20 mm / 12 m und 6 m
 Ø 25 mm / 12 m und 6 m
 Ø 32 mm / 12 m und 6 m

Größere Längen auf Anfrage

Stab mit Kopfbolzen



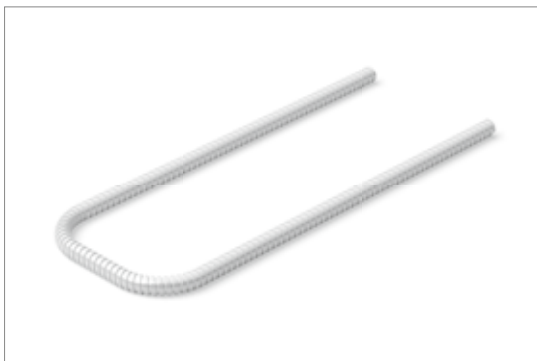
Als Querkraft-/Schubbewehrung und zur Reduktion der Verankerungslänge gerader Stäbe.

Durchmesser / Standardlängen

Ø 12 mm / bis 5 m
 Ø 16 mm / bis 5 m
 Ø 20 mm / bis 5 m
 Ø 25 mm / bis 5 m
 Ø 32 mm / bis 5 m

Größere Längen auf Anfrage

Gebogener Stab



Als Querkraft-/Schubbewehrung, Außenmaße bis 2,0 × 3,2 m, minimaler Biegerolldurchmesser = 7 · d_s

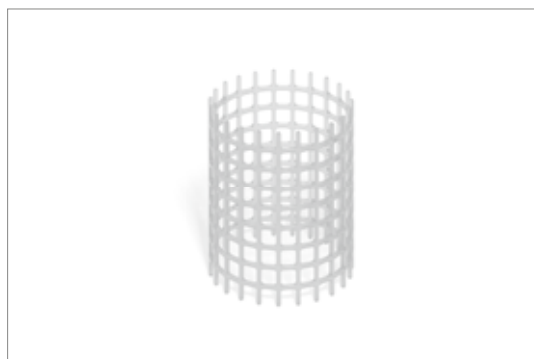
Durchmesser / Maximallänge

Ø 12 mm / bis 12 m
 Ø 16 mm / bis 12 m
 Ø 20 mm / bis 12 m

Schöck Combar® Part C Clips (Ø8 und Ø12)



Schöck Combar® Part D Abstandshalter



Zusätzlich sind Kabelbinder und Seilklappen zur Stabverbindung verfügbar.

Anwendungsübersicht



Korrosionsgefährdete Bodenplatten

Tiefgaragen, Rampen, Industriehallen, Fahrzeughallen, Feuerwehrhallen

Minimale Betondeckung erforderlich
Keine Schäden durch Chlorideinwirkung und Karbonatisierung
Keine kostenintensive Oberflächenbeschichtung und Instandhaltung erforderlich
Langfristig wirtschaftlich



Brückenbau

Brückenkappen, Notgehwege, Brückendecks

Minimale Betondeckung erforderlich
Keine Schäden durch Chlorideinwirkung und Karbonatisierung
Keine Instandhaltung erforderlich
Langfristig wirtschaftlich



Wasserbau, Marinebau und filigrane Fertigteile

Minimale Betondeckung erforderlich
Keine Schäden durch Chlorideinwirkung und Karbonatisierung
Keine Instandhaltung erforderlich
Langfristig wirtschaftlich



Energie- und Industrieanlagen

Keine Erwärmung der Bewehrung durch Induktion
Keine Streuströme/Verluste im Betrieb



Bahn- und Gleisbau, Industrieböden

Keine Störung von Signalanlagen und Steuerungssysteme
Keine Induktionsströme im Bereich der Weichen



Spezialtiefbau

Nahtlose Durchfahrung der Schachtwand durch Tunnelbohrmaschine
Bauzeitreduktion und Kosteneinsparung



Medizinische- und Forschungseinrichtungen

Keine Störung von elektromagnetischen Geräten



Baubiologie

Keine Verzerrung des Erdmagnetfelds
Keine Verschleppung elektrischer Wechselfelder

Werkstoff

Werkstoff | Zulassung

Glasfaserverbundwerkstoff Combar®

Combar® (composite rebar) gehört zur Klasse der Faserverbundwerkstoffe. Bei Faserverbundwerkstoffen werden Fasern mit anderen Materialien kombiniert, um verbesserte Eigenschaften und Synergieeffekte zu erzielen. Die Eigenschaften des dadurch gewonnenen Werkstoffes lassen sich durch Fasermaterial, Faserorientierung sowie durch Auswahl geeigneter Zusatz- und Bindemittel maßschneidern.

Einer der bekanntesten unter ihnen ist glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), welcher in vielen Bereichen, wie beispielsweise der Elektroindustrie oder dem Bootsbau für leichte, feste, robuste und langlebige Produkte steht.

Zulassung

Combar® ist vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) zugelassen (Z-1.6-238). Bei einem statisch tragenden Einsatz von Combar® außerhalb der Festlegungen in der Combar® Zulassung muss in Deutschland bei jedem Bauvorhaben der zuständige Prüfenieur entscheiden, ob eine Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E) erforderlich ist. Der Antrag auf eine Z.i.E. ist vom Bauherren bei der zuständigen Behörde zu stellen. Schöck kann das für die Z.i.E. erforderliche Gutachten liefern oder bei der Erstellung unterstützen.

Umweltproduktdeklaration

Für Schöck Combar® existiert eine Umwelt-Produktdeklaration (EPD).

Materialeigenschaften

Materialeigenschaften

Combar® bietet als Faserverbundwerkstoff Anwendungsmöglichkeiten im Massivbau mit folgenden Eigenschaften:

- dauerhaft
- korrosionsresistent
- nicht magnetisch
- elektrisch nicht leitend
- leicht zerspanbar
- wesentlich leichter als Stahl

Betonstahl und Schöck Combar® im Vergleich

In besonderen Anwendungsbereichen, wie korrosiven und elektromagnetischen Umgebungen, erfüllen die Materialeigenschaften von Stahlbewehrung nicht die gegebenen Anforderungen. In diesen Fällen eröffnet der Glasfaserverbundwerkstoff Combar® völlig neue Möglichkeiten.

Materialeigenschaften (gerade Stäbe)	Betonstahl DIN EN ISO 15630 DIN 488	Schöck Combar® gemäß EC2
Charakteristische Streckgrenze f_{yk} (N/mm ²)	500	≥ 1000
Bemessungswert der Streckgrenze f_{yd} (N/mm ²)	435	≥ 445
Zug-E-Modul E (N/mm ²)	200.000	60.000
Bemessungswert der Verbundspannung f_{bd} – C20/25 (N/mm ²)	2,3	2,03
Bemessungswert der Verbundspannung f_{bd} – C30/37 (N/mm ²)	3,0	2,33
Betondeckung c_{nom} (mm)	gemäß EC2	$d_s + 10$ mm
Spezifischer Widerstand μ (Ωcm)	$1-2 \cdot 10^5$	$> 10^{12}$
Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	60	0,7
Dichte ρ (kg/m ³)	7.850	2.200
Tragfähigkeit quer zur Faser nach ACI/CSA τ (N/mm ²):	-	150

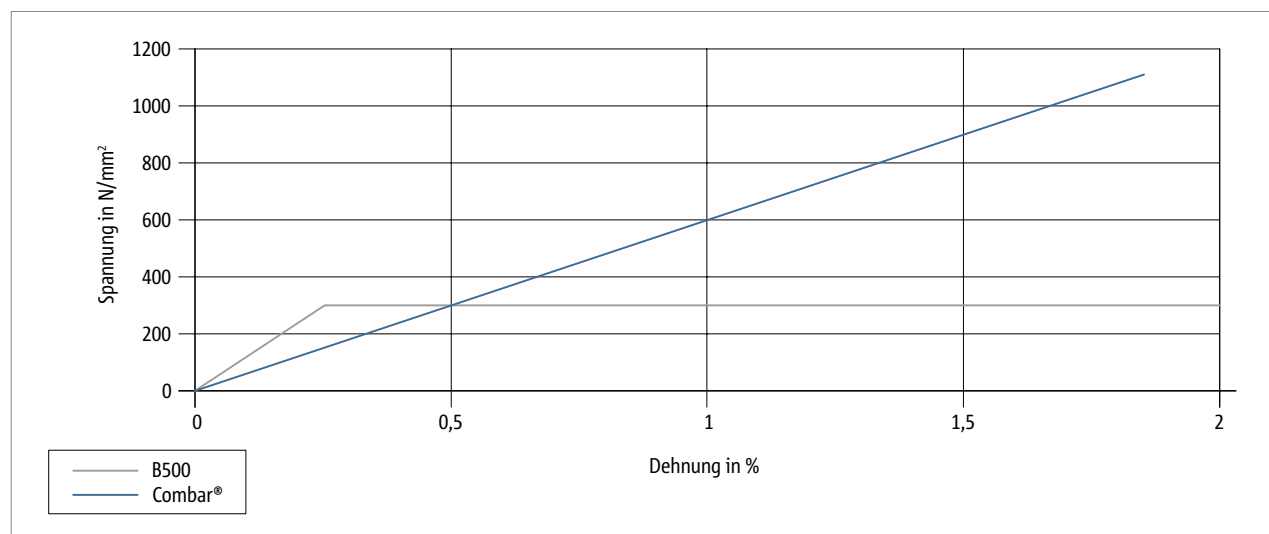


Abb. 1: Spannungs-Dehnungsdiagramm: Betonstahl und Combar® im Vergleich

Im Gegensatz zu Stahl verhält sich Combar® linearelastisch bis zum Bruch. Der gemessene E-Modul beträgt über 60.000 N/mm² im Gegensatz zu Betonstahl mit 200.000 N/mm². Die charakteristische Kurzzeitzugfestigkeit des Glasfaserverbundwerkstoffs beträgt dabei über 1000 N/mm².

Herstellung

Herstellungsprozess

Der Stab besteht aus einer Vielzahl endloser in Kraftrichtung ausgerichteter E-CR Glasfasern, die von einer Vinylesterharz-Matrix umgeben sind. Die Stäbe werden am Standort Halle (Saale) in einem geschlossenen Pultrusionsverfahren (Strangziehverfahren) hergestellt. Dieses garantiert die lineare Ausrichtung der Fasern entlang der Stabachse, die vollständige Tränkung der Glasfasern mit dem Harz und einen extrem hohen Aushärtungsgrad des Harzes.

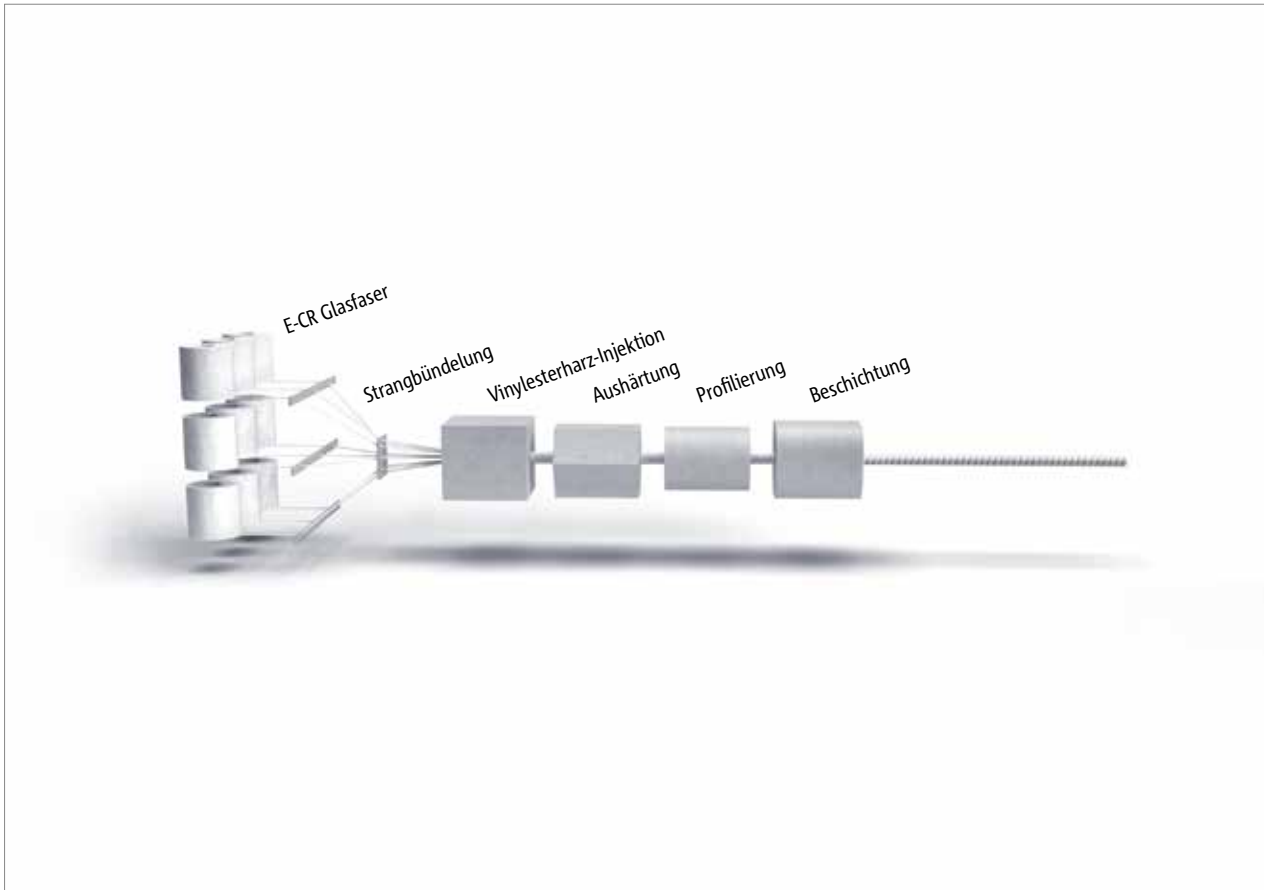


Abb. 2: Schöck Combar®: Schematische Darstellung des Pultrusionsverfahrens

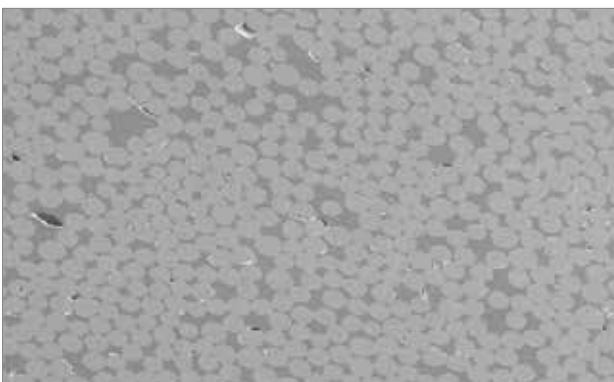


Abb. 3: Schöck Combar®: Querschnitt durch den Stab



Abb. 4: Schöck Combar®: Längsschnitt durch den Stab

Herstellung

Die Fasern geben dem Material seine Festigkeit und Steifigkeit in Längsrichtung. Die Harzmatrix hat die Aufgabe die Fasern in ihrer Lage zu fixieren, die Last zu übertragen und die Fasern vor schädlichen Einflüssen zu schützen.

Die einmalige Rippengeometrie und das nachträgliche Einfräsen der Rippen in den ausgehärteten Stab garantieren ein Verbundverhalten, welches dem von Betonstahl entspricht. Somit lassen sich hohe Kräfte aus dem Beton in den Combar® Stab übertragen. Aus diesem Werkstoffaufbau, mit einer unidirektional gerichteten Faserorientierung, folgen die wesentlichen Werkstoffeigenschaften: hohe Zugfestigkeit in Faserrichtung, geringe Querdruck- und Querkzugfestigkeit senkrecht zur Faser. Im Bauwesen kann ein Vergleich mit dem natürlichen Werkstoff Holz am besten die unterschiedlichen Eigenschaften in den verschiedenen Richtungen erklären.

Produktabmessungen

Gerader Stab

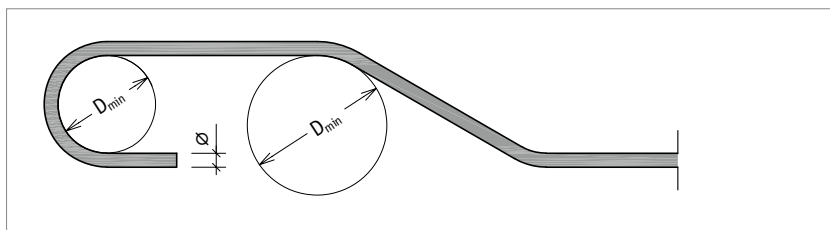
Der gerade Stab ist als tragende Biegezugbewehrung einsetzbar. Er ist in den Durchmessern $\varnothing 8, 12, 16, 20, 25$ und 32 mm verfügbar und ist in der AbZ geregelt. Der E-Modul ist bei der Bemessung zu berücksichtigen. Er wird bestimmt durch den Faseranteil und die Art der verwendeten Glasfasern und liegt bei Combar® mit 60.000 N/mm^2 bei etwa einem Drittel des E-Moduls von Betonstahl. Von allen GFK-Bewehrungen besitzt Combar® damit den größten E-Modul und ist somit in die höchste „Güteklasse“ einzuordnen.

Abmessungen und Gewicht Combar® gerader Stab			
Nenn Durchmesser $\varnothing_f$ [mm]	Außendurchmesser [mm]	Bemessungsquerschnitt [cm ²]	Gewicht [kg/m]
8	9	0,50	0,13
12	13	1,13	0,29
16	18	2,01	0,52
20	22	3,14	0,79
25	27	4,91	1,21
32	34	8,04	1,94

Bügel

Der nicht nachträglich verformbare gebogene Stab/Bügel ist als Schubbewehrung querkraftbeanspruchter Bauteile einsetzbar. Mit dem von Schöck entwickelten Verfahren ist es möglich, für die $\varnothing 12, 16$ und 20 mm (ähnlich wie bei Betonstahl) beliebige Biegeformen wie z. B. L-Formen, S-Formen oder geschlossene Bügel mit oder ohne Endhaken herzustellen. Produktionsbedingt betragen die maximalen Außenmaße $3,0$ m auf $2,0$ m. Aus statischer Sicht sollte die Verankerungslänge eines Bügels $\geq \varnothing 12$ sein. Der E-Modul für Bügel liegt bei 50.000 N/mm^2 . Sollen diese als tragende Bewehrung eingesetzt werden, ist in Deutschland eine Zulassung im Einzelfall (Z.i.E.) einzuholen.

Abmessungen und Gewicht Combar® Bügel			
Nenn Durchmesser $\varnothing_f$ [mm]	Außendurchmesser [mm]	Bemessungsquerschnitt [cm ²]	Gewicht [kg/m]
12	15,5	1,06	0,30
16	19,8	1,91	0,48
20	23,8	2,87	0,69



Mindestbiegerolldurchmesser $D_{\min}$ für Bügel (z. B. Haken, Winkelhaken, Schlaufen)		
Für alle $\varnothing$ gilt $D_{\min} = 7 \cdot \varnothing$	$\varnothing 12 \text{ mm}$	84 mm
	$\varnothing 16 \text{ mm}$	112 mm
	$\varnothing 20 \text{ mm}$	140 mm

Produktabmessungen

Stab mit Kopf

Um die Endverankerungslänge verkürzen zu können oder als Schubbewehrung, ist für die Ø 12, 16, 20, 25 und 32 mm eine Kopfbolzenbewehrung mit aufgespritzten Köpfen erhältlich. Die dort übertragbaren Kräfte sind durch den hochfesten Polymerbeton und die höhere aktivierbare Fläche deutlich höher als bei geraden Stabenden. Auch hier ist bei Verwendung als tragende Bewehrung in Deutschland eine Z.i.E. einzuholen.

Abmessungen und Gewicht Combar® Stab mit Kopf				
Nenndurchmesser Ø _r [mm]	Kopflänge [mm]	Kopfdurchmesser [mm]	Minimale Stablänge Stab mit zwei Köpfen [mm]	Kopfgewicht [kg/Kopf]
12	60	30	160	0,026
16	100	40	240	0,061
20	100	45	240	0,075
25	100	50	240	0,090
32	100	64	240	0,138

Grundlagen zur Bemessung

Hinweise zur Bemessung

Bemessung nach Eurocode

Die Bemessung von Combar® ist in Anlehnung an den Eurocode 2 bzw. EC2 (DIN EN 1992-1-1:2011-01 und DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01) in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ Schöck Combar® Z-1.6-238 vom 08. Juli 2019) geregelt. Im Folgenden wird die Bemessung der Glasfaserverbundbewehrung Schöck Combar® zum Einsatz in Bauteilen von einer Lebensdauer bis zu 5, 10 und 100 Jahren in Anlehnung an den EC2 erläutert. Die dabei zu Grunde liegenden Bemessungskonzepte und -werte stellen den derzeitigen Wissensstand auf Basis bisher durchgeführten umfangreichen Untersuchungen dar.

Bemessung nach Zulassung

Alle Vorgaben der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) Combar® (Z-1.6-238) sind berücksichtigt. Soweit in der Bemessung über die in den Zulassungen angegebenen Grenzen und Beschränkungen hinausgegangen wird, ist in Deutschland ggf. eine Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.) für das Bauvorhaben zu erwirken. Schöck kann das für die ZiE erforderlichen Gutachten liefern oder bei der Erstellung unterstützen.

Die folgenden Bemessungskonzepte sind als Bemessungshilfe und Empfehlung für Planer und Anwender zu betrachten. Sie entbinden nicht von der Sorgfaltspflicht und können die geltenden ingenieurmäßigen Grundregeln der Technik nicht ersetzen.

Literatur

Folgende Literatur liegt den Bemessungskonzepten zu Grunde:

- Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) Schöck Combar® Z-1.6-238 (vom 08. Juli 2019)
- Bemessungskonzept für Querkraftbewehrung aus GFK (Kurth/Hegger, RWTH Aachen) veröffentlicht im „Bauingenieur“ Band 88, Oktober 2013 unter dem Titel „Zur Querkrafttragfähigkeit von Betonbauteilen mit Faserverbundkunststoff-Bewehrung - Ableitung eines Bemessungsansatzes“
- Gutachten zu Schöck Combar® Bewehrungsstäben im Spezialtiefbau (Soft Eye) (Kurth/Hegger, Aachen vom März 2022)
- Normenausschuss Bauwesen (NABau): Auslegungsfragen zur DIN 1045-1 (vom 01. Juli 2012)



Zugfestigkeit

Wesentliche Unterschiede zur Bemessung von Betonstahl

Folgende Besonderheiten/Abweichungen zu Betonstahl sind bei einer Bemessung von mit Combar® bewehrten Bauteilen zu berücksichtigen:

- Der E-Modul gerader Combar® Stäbe beträgt 60.000 N/mm^2 .
- Combar® verhält sich bis zum Bruch bei weit über 1.000 N/mm^2 (Kurzzeitzugfestigkeit) linear elastisch.
- Gerissene mit Combar® bewehrte Querschnitte weisen kein Lastplateau auf.
- Mit Combar® bewehrte Bauwerke bilden keine plastischen Gelenke aus.
- Eine Momentumlagerung innerhalb Combar® bewehrter Bauwerke findet kaum statt und kann in der Bemessung nicht angesetzt werden.
- Aufgrund des geringen E-Moduls ist für Combar® bewehrte Querschnitte ein besonderes Augenmerk auf die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) zu legen.

Die Dauerhaftigkeit von Schöck Combar® wurde im Rahmen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen in Beton über 100 Jahre nachgewiesen. Die Ergebnisse der der Zulassung zu Grunde liegenden Versuchsreihe mit mehr als 80 Einzelversuchen werden in folgender Grafik dargestellt.

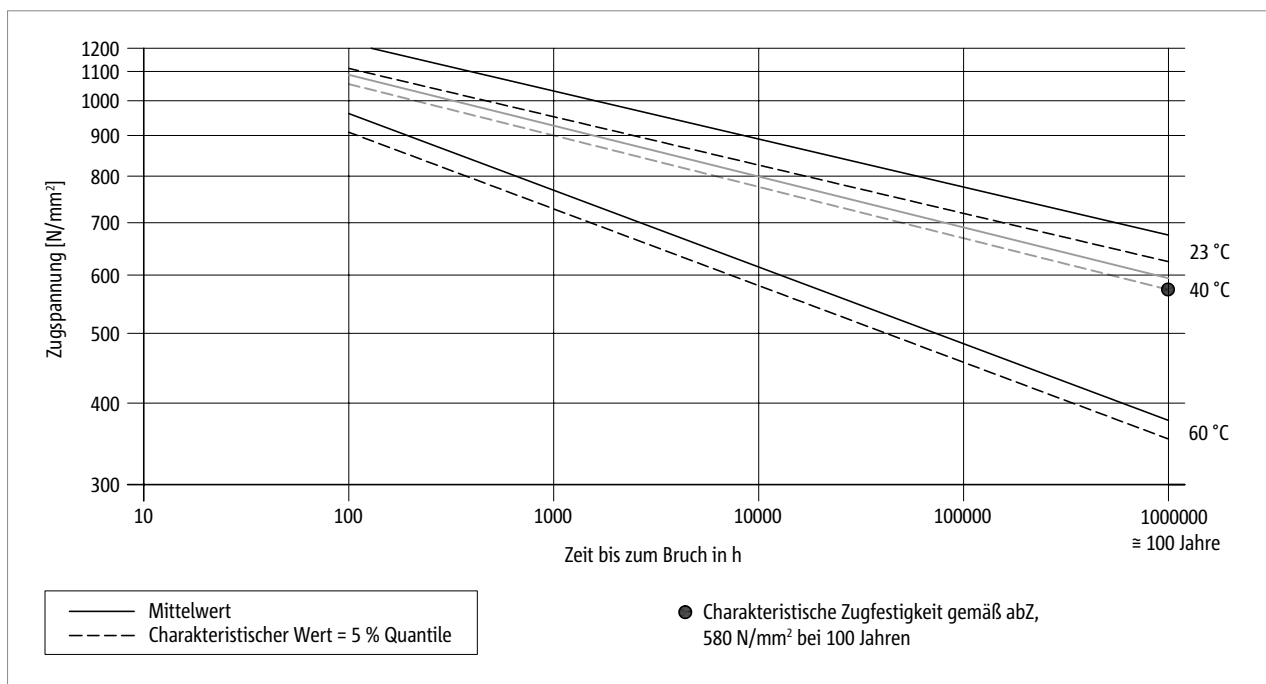


Abb. 5: Schöck Combar®: Bruchspannung von Combar® in hoch-alkalischem feuchten Beton

Der charakteristische Wert der Dauerzugfestigkeit wird aus diesen Daten für die vorgesehene Lebensdauer des Bauteils auf Basis der 5 %-Quantile extrapoliert. Für Außenbauteile in normalem mitteleuropäischen Klima wird der charakteristische Wert der Dauerzugfestigkeit für eine Lebensdauer von 100 Jahren mit $f_{tk} = 580 \text{ N/mm}^2$ definiert. Bei anderen Umweltbedingungen (Mittelwert der Temperatur) bzw. einer wesentlich kürzeren planmäßigen Lebensdauer können hiervon abweichende (höhere) Werte aus dem Diagramm abgeleitet werden. Hierbei sind immer sichere Annahmen zur Lebensdauer und den Umweltbedingungen zu treffen (vgl. fib bulletin 40 „FRP reinforcement in RC structures“).

Der Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit wird analog dem Vorgehen bei Betonstahl ermittelt. Der Teilsicherheitsbeiwert für Schöck Combar® beträgt $\gamma_f = 1,3$. Es ergibt sich somit für Außenbauteile in normalem mitteleuropäischen Klima ein Bemessungswert der Zugfestigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) von $f_{td} = 445 \text{ N/mm}^2$ für statisch bestimmte Systeme. Alle im folgenden genannten Bemessungswerte von Combar® enthalten bereits die Nachweise der Dauerhaftigkeit.

Wegen des geringen E-Moduls von GFK-Stäben dürfen diese nicht als rechnerisch erforderliche Druckbewehrung in der Bemessung angesetzt werden. Combar® darf jedoch in der Druckzone liegen (Stabverankerung, konstruktive Bewehrung, etc.).

Ermüdung

Ermüdung

Außerhalb der Zulassung ist eine maximale Schwingbreite $2\sigma_a$ von 50 N/mm^2 unabhängig von der Oberspannung möglich. Bei geringeren Oberspannungen ist eine Aufnahme von größeren dynamischen Lasten und Schwingbreiten möglich. Beispielsweise wurde bei einer Oberspannung im Combar® Stab von 250 N/mm^2 mit 2 Millionen Lastwechsel eine maximale Schwingbreite $2\sigma_a$ von 180 N/mm^2 erreicht.

Betondeckung | Brandschutz

Betondeckung von Combar®

Da Combar® nicht rostet, gilt für alle Expositionsklassen nur die Betondeckung, die für eine vollständige Übertragung der Lasten aus dem Beton in den Combar® Stab erforderlich ist (Verbund), in Abweichung von EC2.

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c$$

mit $\Delta c = 10$ mm Ort beton (bei Fertigteilen $\Delta c = 5$ mm)

mit $c_{\text{min}} = \max(\varnothing_f, 10 \text{ mm})$

Betondeckung						
Nenn Durchmesser $\varnothing_f$ [mm]	8	12	16	20	25	32
Nennmaß der Betondeckung c_{nom} für Combar® Stäbe [mm]						
Ortbeton	20	22	26	30	35	42
Fertigteil	15	17	21	25	30	37

Brandschutz von Combar®

Combar® ist schwer entflammbar und enthält nur geringe Anteile an brennbarer Vinylesterharzmatrix. Das Brandverhalten von Faserverbundwerkstoffen wird durch das Verhalten der Fasern und durch das Verhalten des Harzes bestimmt.

Bei Brandschutzklassen > R30 sind für Combar® bewehrte Betonbauteile, größere Betondeckungen erforderlich als im Stahlbetonbau oder es sind anderweitige Brandschutzmaßnahmen vorzusehen (z. B. Beplankung). Auf der sicheren Seite liegend können dabei folgende Betondeckungen angenommen werden. Diese wurden für verschiedene Grenztemperaturen im Stabmittelpunkt ermittelt. Dabei wurde eine mit Combar® bewehrte 16 cm dicke Platte von beiden Seiten mit der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) nach DIN EN 1992-1-2 beaufschlagt und die erforderliche Betondeckung ermittelt, sodass die Grenztemperatur im Stab nicht erreicht wird. Wie in folgender Tabelle ersichtlich, kann die Betondeckung bei Brandschutzanforderung reduziert werden, wenn die auf den Stab wirkende Verbundspannung reduziert wird, beispielsweise durch Erhöhung der Verankerungslänge. Des Weiteren kann die Betondeckung durch eine Beplankung des Bauteils reduziert werden.

Bei „kalter“ Verankerung (Beplankung oder Auflager) ist der Verbund nicht maßgebend. Daher wird hier die Zugfestigkeit maßgebend, bei der Grenztemperaturen von bis zu 450 °C möglich sind.

Mindestbetondeckung bei Feuerwiderstandsklasse					
Mindestbetondeckung bei		R30	R60	R90	R120
Verbundspannung maßgebend					
Verbundspannung [N/mm ²]	Grenztemperatur [°C]	c_{min} [mm]			
≤ 2,5	202	35	60	80	100
≤ 2,0	211	30	55	75	95
≤ 1,0	238	30	50	65	90
≤ 0,5	336	20	35	50	65
Verbundspannung nicht maßgebend (kalte Verankerung)					
Zugfestigkeit [N/mm ²]	Grenztemperatur [°C]	c_{min} [mm]			
≤ 445	450	10	25	35	45

Bewehrungswahl

Gerade Stäbe

Querschnitte von Flächenbewehrungen für gerade Stäbe A_f [cm ² /m]							
Stababstand [cm]	Nenndurchmesser $\varnothing_f$ [mm]						Stäbe pro m
	8	12	16	20	25	32	
5,0	10,06	22,62	40,22	62,83	–	–	20,0
6,0	8,38	18,85	33,52	52,36	81,81	–	16,7
7,0	7,19	16,16	28,73	44,88	70,13	114,89	14,3
7,5	6,71	15,08	26,81	41,89	65,45	107,23	13,3
8,0	6,29	14,14	25,14	39,27	61,36	100,53	12,5
9,0	5,59	12,57	22,34	34,91	54,54	89,36	11,0
10,0	5,03	11,31	20,11	31,42	49,09	80,42	10,0
12,5	4,02	9,05	16,09	25,13	39,27	64,34	8,0
15,0	3,35	7,54	13,41	20,94	32,73	53,61	6,7
20,0	2,52	5,66	10,06	15,71	24,55	40,21	5,0
25,0	2,01	4,52	8,04	12,57	19,64	32,17	4,0

Querschnitte von Balkenbewehrungen für gerade Stäbe A_f [cm ²]										
Nenndurchmesser $\varnothing_f$ [mm]	Anzahl der Stäbe									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	0,50	1,01	1,51	2,01	2,52	3,02	3,52	4,02	4,53	5,03
12	1,13	2,26	3,39	4,52	5,66	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
16	2,01	4,02	6,03	8,04	10,06	12,07	14,08	16,09	18,10	20,11
20	3,14	6,28	9,42	12,56	15,70	18,84	21,98	25,12	28,26	31,40
25	4,91	9,82	14,73	19,64	24,55	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
32	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,29	64,34	72,38	80,42

Mögliche Anzahl von geraden Stäben in einer Lage						
Balkenbreite b [cm]	Nenndurchmesser $\varnothing_f$ [mm]					
	8	12	16	20	25	32
10	2	2	1	1	(1)	-
15	4	3	3	2	(2)	1
20	6	5	4	3	2	2
25	8	6	5	(5)	3	2
30	9	8	6	(6)	4	3
35	11	9	8	7	5	4
40	13	11	9	8	6	5
45	(15)	12	(11)	9	7	5
50	16	14	12	10	8	6
55	18	15	13	11	9	7
60	20	17	14	12	10	8

i Hinweis Bewehrung

- Stababstand $a \geq \varnothing_f$ bzw. ≥ 20 mm (gemäß EC2). Die angegebenen Tabellenwerte in () unterschreiten die geforderten Abstände geringfügig.
- Der Außendurchmesser von Combar® Stäben ist 1 bis 2 mm größer als deren Kerndurchmesser (siehe Tabelle auf Seite 14).
- Werte ohne Berücksichtigung einer gegebenenfalls erforderlichen Bügelbewehrung

Bewehrungswahl

Bügel

Querschnitte von Flächenbewehrungen für Bügel A_f [cm ² /m]				
Bügelabstand [cm]	Nenn Durchmesser $\varnothing_f$ [mm]			Stäbe pro m
	12	16	20	
5,0	21,20	38,20	57,40	20,0
6,0	17,67	31,83	47,83	16,7
7,0	15,14	27,29	41,00	14,3
7,5	14,13	25,47	38,27	13,3
8,0	13,25	23,88	35,88	12,5
9,0	11,78	21,22	31,89	11,1
10,0	10,60	19,10	28,70	10,0
12,5	8,48	15,28	22,96	8,0
15,0	7,07	12,73	19,13	6,7
20,0	5,30	9,55	14,35	5,0
25,0	4,24	7,64	11,48	4,0

Querschnitte von Balkenbewehrungen für Bügel A_f [cm ²]										
Nenn durch- messer $\varnothing_f$ [mm]	Anzahl der Stäbe									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	1,06	2,12	3,18	4,24	5,3	6,36	7,42	8,48	9,54	10,6
16	1,91	3,82	5,73	7,64	9,55	11,46	13,37	15,28	17,19	19,1
20	2,87	5,74	8,61	11,48	14,35	17,22	20,09	22,96	25,83	28,7

Nachweisformat | Sicherheitsbeiwerte

Nachweisformat im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
Bemessungssituation	Einwirkungskombination
Ständige und vorübergehende $\oplus$ Beanspruchung E_d	$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot E_{Gk,j} \oplus E_{Ad} \oplus \gamma_{QA,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot E_{Qk,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{QA,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot E_{Qk,i}$
Außergewöhnliche Beanspruchung E_{dA}	$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot E_{Gk,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot E_{Qk,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot E_{Qk,i}$

- $\oplus$: in Kombination mit
- Index 1: maßgebende veränderliche Einwirkung (Leiteinwirkung)
- $E_d \leq R_d$
- E_d : Bemessungswert der Beanspruchung (einwirkende Schnittgrößen)
- R_d : Bemessungswert des Tragwiderstands (aufnehmbare Schnittgrößen)

Nachweisformat im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	
Bemessungssituation	Einwirkungskombination
Seltene Kombination der Einwirkungen $E_{d,char}$	$E_{d,char} = \sum_{j \geq 1} E_{Gk,j} \oplus E_{Qk,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot E_{Qk,i}$
Häufige Kombination der Einwirkungen $E_{d,frequ}$	$E_{d,frequ} = \sum_{j \geq 1} E_{Gk,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot E_{Qk,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot E_{Qk,i}$
Quasi-ständige Kombination der Einwirkungen $E_{d,perm}$	$E_{d,perm} = \sum_{j \geq 1} E_{Gk,j} \oplus \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot E_{Qk,i}$

- $\oplus$: in Kombination mit
- Index 1: maßgebende veränderliche Einwirkung (Leiteinwirkung)
- $E_d \leq C_d$
- E_d : Bemessungswert der Beanspruchung (einwirkende Schnittgrößen)
- C_d : Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriteriums (z. B. zulässige Verformung)

Kombinationsbeiwerte ψ_i für veränderliche Einwirkungen (Hochbau)			
Veränderliche Einwirkungen	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten $Q_{k,N}$			
Kategorie A: Wohn- und Aufenthaltsräume	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: Büros	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: Versammlungsräume	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: Verkaufsräume	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: Lagerräume	1,0	0,9	0,8
Verkehrslasten $Q_{k,V}$			
Kategorie F: Verkehrsflächen, Fahrzeuglast ≤ 30 KN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: Verkehrsflächen, 30 KN $<$ Fahrzeuglast ≤ 160 KN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: Dächer	0	0	0
Schnee- und Eislasten $Q_{k,S}$			
für Orte bis NN + 1000 m	0,5	0,2	0
für Orte über NN + 1000 m	0,7	0,5	0,2
Windlasten $Q_{k,W}$			
	0,6	0,2	0
Baugrundsetzungen $Q_{k,A}$			
	1,0	1,0	1,0
Sonstige Einwirkungen			
	0,8	0,7	0,5

Sicherheitsbeiwerte | Werkstoffkennwerte

Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für Einwirkungen auf Tragwerke						
Teilsicherheitsbeiwerte	äußere Einwirkungen				indirekte Einwirkungen	
	ständige Einwirkung (G_k)		veränderliche Einwirkung (Q_k)		Zwangeinwirkung innerer oder äußerer Zwang	
	günstige Auswirkung	ungünstige Auswirkung	günstige Auswirkung	ungünstige Auswirkung	günstige Auswirkung	ungünstige Auswirkung
Bemessungssituation	γ_G		γ_Q		γ_Q	
Ständige und vorübergehende Bemessungssituation	1,00	1,35	0	1,50	0	1,00
Außergewöhnliche Bemessungssituation	1,00	1,00	0	1,00	0	1,00

Teilsicherheitsbeiwerte γ_M zur Bestimmung des Tragwiderstands		
Bemessungssituation	γ_c Beton	γ_f Combar®
Ständige und vorübergehende Bemessungssituation	1,5	1,3
Außergewöhnliche Bemessungssituation	1,3	1,1

Werkstoffkennwerte von Beton								
		C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit	f_{ck} [N/mm ²]	20	25	30	35	40	45	50
Charakteristische Würfeldruckfestigkeit	$f_{ck,cube}$ [N/mm ²]	25	30	37	45	50	55	60
Bemessungswert der Betondruckfestigkeit (mit $\gamma_c = 1,5$ und $\alpha_{cc} = 0,85$)	f_{cd} [N/mm ²]	11,3	14,2	17,0	19,8	22,7	25,5	28,3
Mittlerer Elastizitätsmodul	E_{cm} [N/mm ²]	30.000	31.000	33.000	34.000	35.000	36.000	37.000

i Hinweis

■ $E_{cm} = 22.000 \cdot (f_{cm} / 10)^{0,3}$

Bemessung dauerhafter Bauteile

Werkstoffkennwerte

Im Folgenden wird die Bemessung der Glasfaserverbundbewehrung Combar® zum Einsatz in Bauteilen von einer Lebensdauer bis zu 100 Jahren in Anlehnung an den EC2 erläutert.

Werkstoffkennwerte von Combar® gerader Stab für Betone $\geq C20/25$ [DIBt abZ Z-1.6-238]			
		statisch bestimmte Systeme	statisch unbestimmte Systeme
Charakteristische Dauerzugfestigkeit	f_{fk} [N/mm ²]	580	580
Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit (mit $\gamma_f = 1,3$)	f_{fd} [N/mm ²]	445	370
Elastizitätsmodul	E_f [N/mm ²]	60.000	60.000
Bemessungsdehnung	ϵ_{fd} [‰]	7,4	6,1

Werkstoffkennwerte von Combar® Bügel für Betone $\geq C20/25$ (außerhalb abZ)			
		Biegezugbewehrung statisch bestimmte Systeme	Biegezugbewehrung statisch unbestimmte Systeme und Querkraftbewehrung
Charakteristische Dauerzugfestigkeit	f_{fk} [N/mm ²]	250	208
Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit (mit $\gamma_f = 1,3$)	f_{fd} [N/mm ²]	192	160
Elastizitätsmodul	E_f [N/mm ²]	50.000	50.000
Bemessungsdehnung	ϵ_{fd} [‰]	3,8	3,2

i Hinweis

- Der Anpassungsfaktor zwischen statisch bestimmten und statisch unbestimmten Systemen ist mit $\eta_{rot} \approx 0,83$ definiert.

Werkstoffkennwerte von Combar® Stab mit zwei Köpfen für Betone $\geq C20/25$ (außerhalb abZ)				
Nenn Durchmesser $\varnothing_f$ [mm]	Verankerungskraft Kopf $F_{Kopf,k}$ [kN]	Bemessungswert der Zugfestigkeit vollverankert f_{fd} [N/mm ²]		Bemessungswert der Zugfestigkeit teilverankert f_{fd} [N/mm ²]
		Biegezugbewehrung	Querkraftbewehrung	Biegezug- und Querkraftbewehrung
12	31	210	200	143
16	68	240	200	178
20	85	208	200	140
25	106	166	166	114
32	136	130	130	89

i Hinweis

- Für den Einsatz als Schubbewehrung ist für dauerhafte Bauteile nach EC2 eine Kombination mit mindestens 50 % Traganteil vom Bügel notwendig.
- Das E-Modul beträgt 60.000 N/mm².

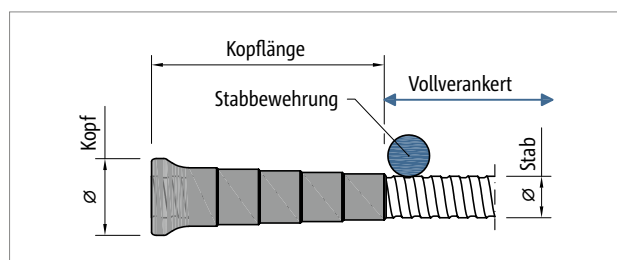


Abb. 6: Vollverankerter Kopfbolzen

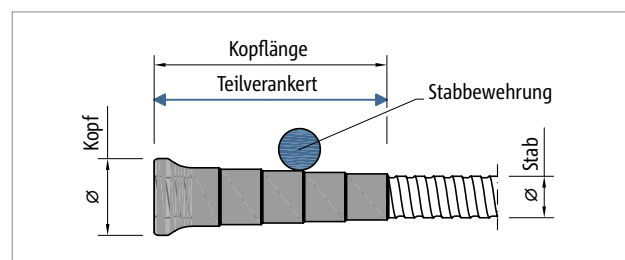


Abb. 7: Teilverankerter Kopfbolzen

Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Bestimmung der Schnittkräfte erfolgt nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.4 für ungerissene Querschnitte.

Biegung mit/ohne Normalkraft

Die Bemessung für Biegung mit oder ohne Normalkraft erfolgt über eine Iteration der Dehnungsebene. Dabei sind die Materialeigenschaften von Schöck Combar® zu berücksichtigen. Combar® Stäbe dürfen nicht als rechnerisch erforderliche Druckbewehrung angesetzt werden. Sie dürfen jedoch in der Druckzone liegen (Verankerung, konstruktive Bewehrung, etc.).

Die Bemessungstabellen wurden mit einem Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit analog zu Betonstahl B500 ($f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2 \triangleq f_{td} = 435 \text{ N/mm}^2$ für statisch bestimmte Systeme) ermittelt.

Zwar hat ein gerader Combar® Stab einen Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit von 445 N/mm^2 , jedoch wurden die Bemessungstabellen mit einem Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit analog zu Betonstahl B500 ermittelt. So wird eine Vergleichbarkeit hergestellt.

Eine Umlagerung der Momente tritt nur in sehr begrenztem Maße ein und kann abweichend von EC2 bei der Bemessung nicht angesetzt werden. Somit gelten die in EC2 Absatz 5.6 angeführten Verfahren nach der Plastizitätstheorie nicht für mit Combar® bewehrte Querschnitte.

Werte für Betonfestigkeitsklasse $\geq \text{C20/25}$

ω -Tafel Combar®								
μ_{Edf}	ω_f	ξ	ζ	$\epsilon_c [\text{‰}]$	Statisch bestimmte Systeme		Statisch unbestimmte Systeme	
					$\epsilon_f [\text{‰}]$	$\sigma_{fd} [\text{N/mm}^2]$	$\eta_{rot} \cdot \epsilon_f [\text{‰}]$	$\eta_{rot} \cdot \sigma_{fd} [\text{N/mm}^2]$
0,001	0,0010	0,017	0,994	-0,123	7,250	435	6,000	360
0,006	0,0061	0,041	0,986	-0,311	7,250	435	6,000	360
0,011	0,0112	0,056	0,981	-0,431	7,250	435	6,000	360
0,016	0,0164	0,068	0,977	-0,529	7,250	435	6,000	360
0,025	0,0258	0,086	0,971	-0,679	7,250	435	6,000	360
0,050	0,0523	0,123	0,957	-1,021	7,250	435	6,000	360
0,075	0,0794	0,154	0,945	-1,321	7,250	435	6,000	360
0,100	0,1070	0,182	0,934	-1,610	7,250	435	6,000	360
0,125	0,1360	0,208	0,922	-1,908	7,250	435	6,000	360
0,150	0,1650	0,235	0,910	-2,229	7,250	435	6,000	360
0,200	0,2270	0,292	0,882	-2,989	7,250	435	6,000	360
0,240	0,2800	0,346	0,856	-3,500	6,605	396	5,466	328
0,250	0,2950	0,364	0,849	-3,500	6,118	367	5,063	304
0,300	0,3710	0,458	0,810	-3,500	4,146	249	3,431	206
0,350	0,4580	0,565	0,765	-3,500	2,692	162	2,228	134
0,360	0,4770	0,589	0,755	-3,500	2,442	147	2,021	121
0,370	0,4970	0,614	0,745	-3,500	2,203	132	1,823	109
0,380	0,5180	0,640	0,734	-3,500	1,973	118	1,633	98
0,390	0,5400	0,667	0,723	-3,500	1,751	105	1,449	87
0,400	0,5630	0,695	0,711	-3,500	1,535	92	1,270	76

i Hinweis

- $M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}$ (N_{Ed} ist als Zugkraft positiv)
- $\mu_{Edf} = M_{Ed1} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd})$
- erforderlich: $A_f = (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}) / f_{td}$

Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

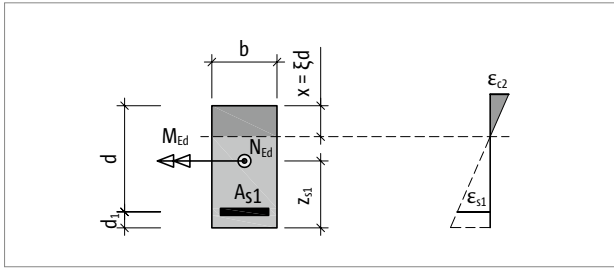


Abb. 8: Variablen für Biegebemessung

Mindestbewehrung

Eine Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens ist einzulegen. Dabei erfolgt die Ermittlung der Mindestbewehrung aus Combar® analog zum Betonstahl. Das Versagen des Bauteils bei Erstrissbildung ohne Vorankündigung ist zu vermeiden. Unmittelbar bei Erstrissbildung ist die Spannung im Bewehrungsstab gleich der Betonzugfestigkeit $\sigma_f = f_{ctm}$.

Für reine Biegung gilt:

$$f_{ctm} = \frac{M_{cr}}{W_c} \quad \text{bzw.} \quad M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (\text{Rechteckquerschnitt})$$

$$A_{f,min} = \frac{M_{cr}}{\sigma_f \cdot z} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{\sigma_f \cdot z}$$

$$\sigma_f = 0,83 \cdot f_{tk} = 445 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{nach abZ, abweichend von EC2})$$

Höchstbewehrung

Die für die Biegebemessung statisch anrechenbare Querschnittsfläche der Bewehrung aus Combar® eines Querschnitts darf den Höchstwert von $0,035 A_c$ nicht überschreiten:

$$A_{f,max} = 0,035 A_c \quad (A_c = \text{Querschnittsfläche im Zustand I})$$

Querkraft

Maßgebende Querkraft

Bei gleichmäßig verteilter Last und direkter Auflagerung darf für die Bemessung der Querkraftbewehrung der Bemessungswert V_{Ed} im Abstand d vom Auflagerrand ermittelt werden. Bei indirekter Lagerung ist die Querkraft in der Auflagerachse maßgebend.

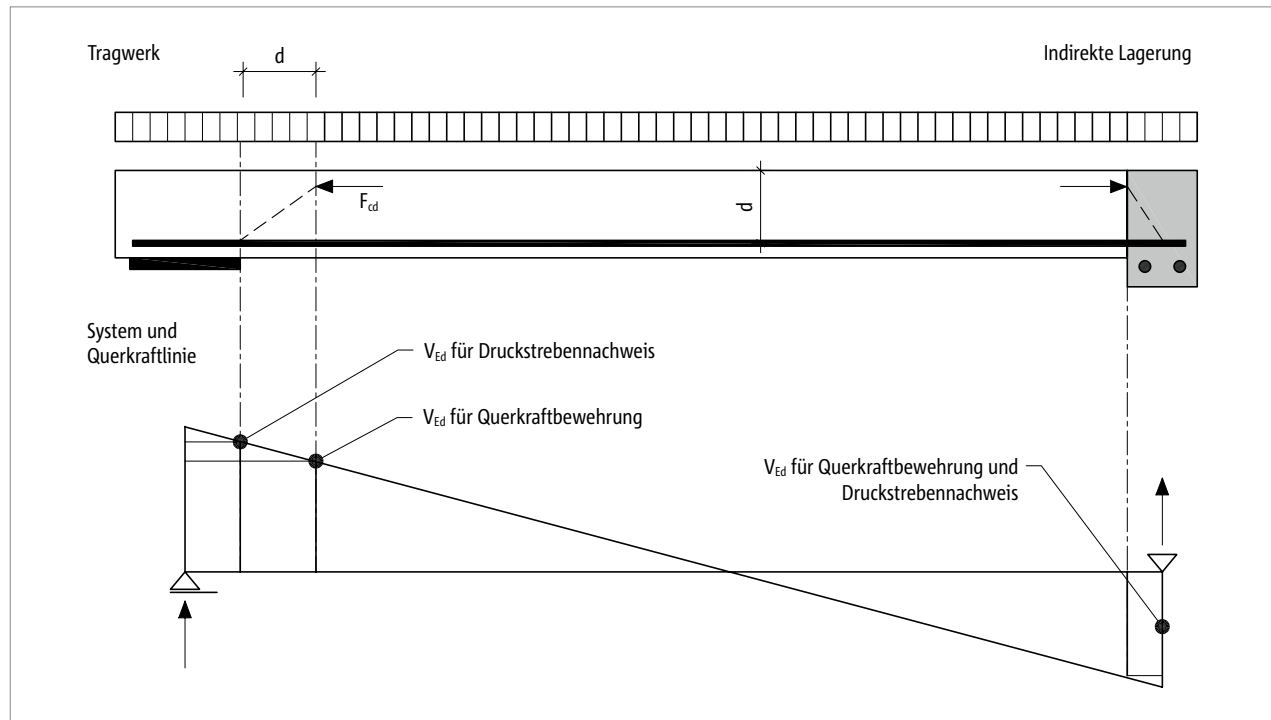


Abb. 9: Bemessungsschnitte für die Querkraftnachweise

Querkraft

Bei auflagnahen Einzellasten im Bereich $0,5d \leq a_v < 2d$ vom Auflagerrand darf bei direkter Auflagerung der Querkraftanteil aus der Einzellast für die Bemessung der Querkraftbewehrung mit dem Beiwert β_E abgemindert werden.

$$\beta_E = \frac{a_v}{2 \cdot d}$$

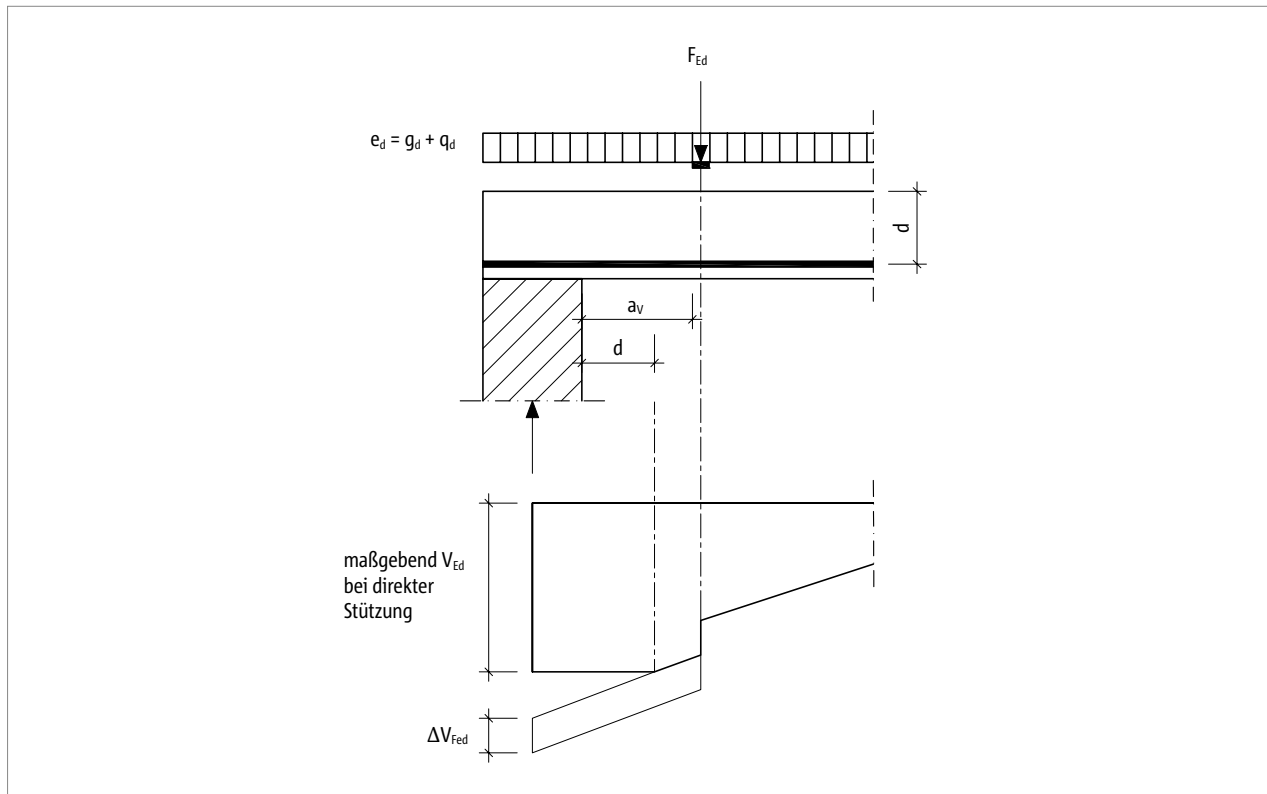


Abb. 10: Ermittlung der Bemessungsquerkraft bei auflagnahen Einzellasten

Die ohne Abminderung β_E berechnete Querkraft muss in der Regel folgende Bedingung erfüllen:

$$V_{Ed} \leq 0,3375 \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

Beim Nachweis von $V_{Rd,max}$ ist diese Abminderung nicht zulässig.

Nachweis für Bauteile ohne rechnerische erforderliche Querkraftbewehrung

a) Nachweis nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ): $\beta_E \cdot V_{Ed} \leq V_{Rdc}$

Gleichung 6.2a nach DIN EN 1992-1-1/NA wird für Schöck Combar® ersetzt durch:

$$V_{Rd,c} = \frac{0,138}{\gamma_c} \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot \frac{E_f}{E_s} \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$

γ_c = Teilsicherheitsbeiwert für Beton

κ = Maßstabsfaktor; d in mm

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} < 2,0$$

ρ_l = Längsbewehrungsgrad; $\rho_l = A_{fl} / (b_w \cdot d) \leq 0,02$

$E_f / E_s = E_{Combar®} / E_{Betonstahl}$

f_{ck} = charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit

b_w = kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Zugzone des Querschnitts

d = statische Nutzhöhe

Querkraft

b) Nachweis nach Hegger/Kurth (außerhalb der abZ): $V_{Ed} \leq V_{Rdc}$

$$V_{Rdc} = \beta_R \cdot \frac{1}{425 \cdot \gamma_c} \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot E_{fl} \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$

Erhöhungsfaktor zur Erfassung der Einflüsse der auflagernahen Lasten:

$$\beta_R = \frac{3}{a_v/d} \geq 1$$

Bei Verwendung des Erhöhungsfaktors β_R auf der Bauteilwiderstandsseite darf der Abminderungsfaktor β_E auf der Einwirkungsseite nicht berücksichtigt werden.

κ = Maßstabsfaktor; d in mm

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} < 2,0$$

ρ_l = Längsbewehrungsgrad; $\rho_l = A_{fl} / (b_w \cdot d) \leq 0,02$

E_{fl} = E-Modul der Längsbewehrung

f_{ck} = charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit

b_w = kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Zugzone des Querschnitts

d = statische Nutzhöhe

c) Mindestquerkraftbewehrung aus Stahl (analog EC2, innerhalb abZ)

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

f_{ctm} = Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons

f_{yk} = charakteristische Streckgrenze des Stahls

d) Mindestquerkraftbewehrung aus Combar® (außerhalb abZ)

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

f_{ctm} = Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons

$f_{fd,w}$ = Bemessungswert der Zugfestigkeit der Combar® Querkraftbewehrung

Querkraft

Nachweis für Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

Der Einsatz von Combar® Stäben als Querkraftbewehrung ist von der abZ Combar® nicht abgedeckt. Dabei kann auch eine Combar® Längsbewehrung mit einer Querkraftbewehrung aus Edelstahl kombiniert werden. Auf der sicheren Seite liegende Empfehlung (abweichend von EC2):

a) Verfahren nach Hegger/Kurth

Im Fachbericht „Querkrafttragfähigkeit von Betonbauteilen mit Faserverbundkunststoff-Bewehrung – Ableitung eines Bemessungsansatzes“ [Bauingenieur Band 88, Oktober 2013] von M. Kurth und J. Hegger ist ein genaueres, weniger konservatives Verfahren zur Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit von Betonquerschnitten mit Längsbewehrung aus Combar® und solchen mit Längs- und Querkraftbewehrung aus Combar® hergeleitet.

Die Gesamttragfähigkeit des Querschnitts setzt sich dabei aus der Tragfähigkeit des Betons und der Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung zusammen.

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,f}$$

Die Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung ergibt sich aus

$$V_{Rd,f} = a_{fw} \cdot f_{fwd} \cdot z \cdot \cot \Theta$$

a_{fw} = Querschnittsfläche der FVK-Querkraftbewehrung

f_{fwd} = Bemessungswert der Zugfestigkeit der FVK-Querkraftbewehrung ($f_{fwd} \leq E_{fw} \cdot \epsilon_{fwd}$)

z = Hebelarm der inneren Kräfte

Θ = Druckstrebenwinkel ($= \beta_f$)

$$\epsilon_{fd,w} = 2,3 + \frac{2 \cdot EI^* [MN/m^2]}{30} \leq 7,0 [‰]$$

$$\Theta = \arctan \left[\sqrt[3]{\frac{\frac{M}{V} \cdot a_{fw} \cdot E_{fw}}{A_{fl} \cdot E_{fl}}} \right] \left\{ \begin{array}{l} \geq 20^\circ \\ \leq 50^\circ \end{array} \right.$$

Die Querkrafttragfähigkeit darf den Maximalwert $V_{Rd,max}$ nicht überschreiten.

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

Der unterschiedliche E-Modul gerader Combar® Stäbe (60.000 N/mm²) und Combar® Bügel (50.000 N/mm²) ist bei der Berechnung zu berücksichtigen.

Das Rechenverfahren nach Kurth und Hegger ist auch für eine Kombination einer Combar® Längsbewehrung mit einer Stahl Querkraftbewehrung anwendbar.

b) Mindestquerkraftbewehrung aus Stahl oder Combar® (außerhalb abZ)

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

f_{ctm} = Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons

$f_{fd,w}$ = Bemessungswert der Zugfestigkeit der Querkraftbewehrung

Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Begrenzung der Spannungen

Die Spannung im Combar® Stab sollte, falls Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit der Bauteile gestellt werden, 300 N/mm² nicht überschreiten.

Begrenzung der Rissbreiten

Combar® Stäbe rosten nicht. Eine Begrenzung der Rissbreiten zum Schutz der Bewehrung ist nicht erforderlich. Die abZ Combar® begrenzt die Rissbreite auf $w_k \leq 0,4$ mm. Die Bestimmung der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.3.2 und die Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.3.3 ist nicht zulässig.

Näherungsweise Handrechnung

Eine reine Rissbewehrung aus BSt 500 kann auf eine Combar® Bewehrung umgerechnet werden. Wie bei Betonstahl verhält sich der Gesamtschlupf am Stabende in einem Verbundversuch quadratisch zur aufgetragenen Spannung σ . Des Weiteren kann bei früh auftretenden Zwangsspannungen ein ungefähr gleiches Verbundverhalten, wie bei Betonstahl angenommen werden. Außerdem ist die Rissbreite w_k proportional zum E-Modul des Bewehrungsstabes und zum Stabdurchmesser $\varnothing$. Somit ergibt sich die folgende Umrechnungsgleichung (für gleiche Rissbreiten).

$$\frac{w_{k,Combar}}{w_{k,B500}} = \left(\frac{E_{Combar}}{E_{B500}} \right) \cdot \left(\frac{\varnothing_{Combar}}{\varnothing_{B500}} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{Combar}}{\sigma_{B500}} \right)^2 = 1,0$$

$$\frac{w_{k,Combar}}{w_{k,B500}} = \left(\frac{200.000 \text{ N/mm}^2}{60.000 \text{ N/mm}^2} \right) \cdot \left(\frac{\varnothing_{Combar}}{\varnothing_{B500}} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{Combar}}{\sigma_{B500}} \right)^2 = 1,0$$

Bei gleicher Rissbreite und gleichem Stabdurchmesser folgt daraus:

$$\text{erf. } A_{Combar} = \sqrt{\frac{200}{60}} A_{B500} = 1,83 A_{B500}$$

Exaktes Verfahren

Die Bestimmung der Rissbreite erfolgt, nach abZ, entsprechend DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.3.4 mit folgenden Änderungen:

- ϵ_{sm} wird durch ϵ_{fm} ersetzt als mittlere Dehnung von Schöck Combar®,
- E_s wird durch E_f nach Abschnitt 3.2.1.1 ersetzt und ist der Elastizitätsmodul von Schöck Combar®,
- σ_s wird ersetzt σ_f und ist die Spannung von Schöck Combar® im Riss,
- Gleichung (7.11) nach DIN EN 1992-1-1 wird ersetzt durch:

Für Schöck Combar® Stäbe

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

$$\rho_{f,eff} = \frac{A_f}{A_{c,eff}}$$

Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Begrenzung der Verformungen

Wegen des relativ geringen E-Moduls von Combar® ist der Beschränkung der Verformung bei der Bemessung besondere Beachtung zu schenken. Die abZ Combar® enthält detaillierte Angaben zur Ermittlung der Verformung von mit Combar® bewehrter Bauteile. Diese wurden in Anlehnung an Heft 533 des DAfStb erstellt. Siehe online unter:

www.schoeck.com

Alternativ kann der genaue Nachweis der Verformung von mit Schöck Combar® bewehrten Betonbauteilen mittels nichtlinearer Verfahren erfolgen.

■ Bemessungsbeispiel

Die folgende Tabelle zeigt den erforderlichen Bewehrungsquerschnitt für die folgenden Randbedingungen, in Abhängigkeit von Länge, Deckenstärke und Nachweisart. Beispielsweise ist für einen einachsig gespannten Deckenstreifen unter Gleichlast bei $L = 4,5\text{ m}$ und $h = 200\text{ mm}$ ein Bewehrungsquerschnitt von $13,0\text{ cm}^2$ erforderlich um die maximale Verformung von $L/250 = 18\text{ mm}$ einzuhalten. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind nur $3,9\text{ cm}^2$ erforderlich.

- $b = 1,0\text{ m}$
- Betonfestigkeitsklasse C25/30
- Betondeckung $C_v = 17\text{ mm}$
- Stabdurchmesser $\varnothing_f = 12\text{ mm}$
- $q = 3,5\text{ kN/m}^2$ und $g + q_{\text{quasi-ständig}} = g + 0,3\text{ q}$ für Verformung (GZG) und $1,35\text{ g} + 1,5\text{ q}$ für Biegung (GZT)

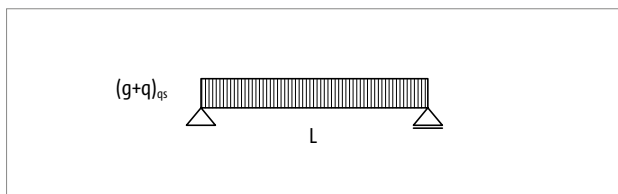


Abb. 11: Einachsig gespannter Deckenstreifen unter Gleichlast

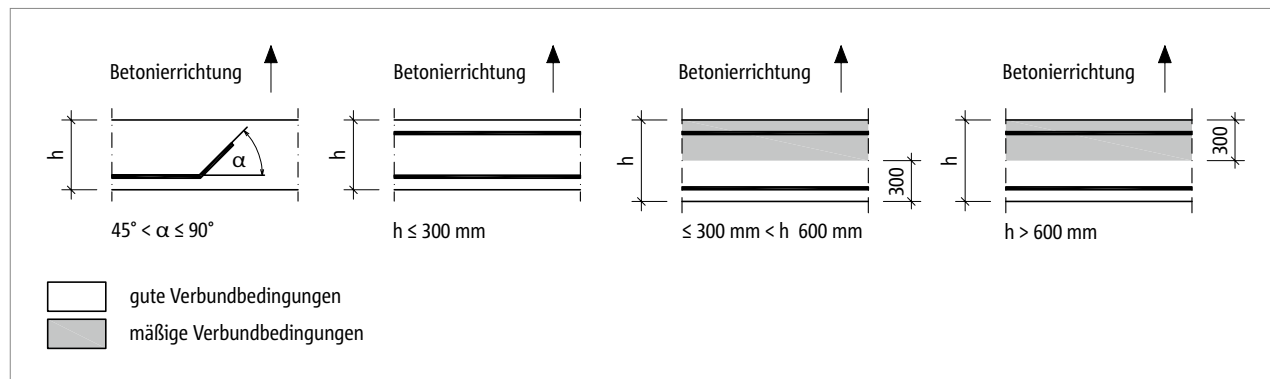
Erforderlicher Bewehrungsquerschnitt im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für max. Verformung $\leq L/250$						
Länge Einfeldträger	Bewehrungsquerschnitt [cm ²] für	Deckenstärke h				
		160 mm	180 mm	200 mm	250 mm	300 mm
$L = 3,5\text{ m}; L/250 = 14\text{ mm}$	Verformung (GZG)	6,3	5,2	2,7	–	–
	Biegung (GZT)	2,7	2,5	2,4	2,1	1,9
	Mindestbewehrung	1,9	2,1	2,3	2,8	3,3
$L = 4,0\text{ m}; L/250 = 16\text{ mm}$	Verformung (GZG)	13,6	9,7	6,6	3,1	–
	Biegung (GZT)	3,5	3,3	3,1	2,8	2,6
	Mindestbewehrung	1,9	2,1	2,3	2,8	3,3
$L = 4,5\text{ m}; L/250 = 18\text{ mm}$	Verformung (GZG)	23,2	17,0	13,0	6,2	3,3
	Biegung (GZT)	4,5	5,2	3,9	3,5	3,2
	Mindestbewehrung	1,9	2,1	2,3	2,8	3,3
$L = 5,0\text{ m}; L/250 = 20\text{ mm}$	Verformung (GZG)	$\rho \geq 2\%$	27,0	20,7	12,1	6,7
	Biegung (GZT)	5,6	5,2	4,9	4,3	4,0
	Mindestbewehrung	1,9	2,1	2,3	2,8	3,3
$L = 5,5\text{ m}; L/250 = 22\text{ mm}$	Verformung (GZG)	$\rho \geq 2\%$	$\rho \geq 2\%$	31,4	18,5	12,2
	Biegung (GZT)	6,9	6,3	5,9	5,3	4,8
	Mindestbewehrung	1,9	2,1	2,3	2,8	3,3
$L = 6,0\text{ m}; L/250 = 24\text{ mm}$	Verformung (GZG)	$\rho \geq 2\%$	$\rho \geq 2\%$	$\rho \geq 2\%$	26,7	18
	Biegung (GZT)	8,3	7,6	7,1	6,3	5,8
	Mindestbewehrung	1,9	2,1	2,3	2,8	3,3

■ = Bewehrungsgrad erf. Bewehrungsquerschnitt Verformung $\rho <$ Mindestbewehrung gem. abZ Combar®

■ = Bewehrungsgrad erf. Bewehrungsmenge Verformung $\rho \geq 2\%$ (unwirtschaftlich)

Verankerungen

Verbundbedingungen



Grundwert der Verankerungslänge

$$l_{b,rd} = (\sigma_f / f_{bd}) \cdot (\sigma_f / f_{bd}) \text{ mit } \sigma_f = f_{fd} = 445 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswerte der Verbundfestigkeit f_{bd} [N/mm ²] für gerade Stäbe mit $\varnothing 8$ bis $\varnothing 25$									
Bemessungswerte bei	Betonfestigkeitsklasse								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Gute Verbundbedingungen	1,45	1,77	2,03	2,26	2,33	2,39	2,45	2,51	2,58
Mäßige Verbundbedingungen	1,09	1,32	1,53	1,78	2,01	2,23	2,34	2,46	2,58

Bemessungswerte der Verbundfestigkeit f_{bd} [N/mm ²] für gerade Stäbe mit $\varnothing 32$									
Bemessungswerte bei	Betonfestigkeitsklasse								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Gute Verbundbedingungen	1,11	1,36	1,56	1,74	1,79	1,84	1,89	1,93	1,98
Mäßige Verbundbedingungen	0,84	0,99	1,18	1,37	1,54	1,71	1,80	1,89	1,98

Bemessungswerte der Verbundfestigkeit f_{bd} [N/mm ²] für Bügel (z. B. Haken, Winkelhaken, Schlaufen) (außerhalb abZ)									
Bemessungswerte bei	Betonfestigkeitsklasse								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Gute Verbundbedingungen	1,45	1,77	2,03	2,30					
Mäßige Verbundbedingungen	1,09	1,23	1,42	1,61					

Verankerungen

Grundwert der Verankerungslänge $l_{b,reqd}$ in cm für gerade Combar® Stäbe							
Betonfestigkeitsklasse	Verbundbedingungen	Nenndurchmesser $\varnothing_f$ [mm]					
		8	12	16	20	25	32
C20/25	gut	44	66	88	110	137	229
	mäßig	58	87	116	145	182	302
C25/30	gut	40	59	79	99	123	205
	mäßig	50	75	100	125	156	260
C30/37	gut	38	57	76	96	119	199
	mäßig	44	66	89	111	138	232
C35/45	gut	37	56	75	93	117	194
	mäßig	40	60	80	100	125	209
C40/50	gut	36	55	73	91	114	189
	mäßig	38	57	76	95	119	198
C45/55	gut	36	53	71	89	111	185
	mäßig	36	54	72	91	113	189
C50/60	gut	35	52	69	86	108	180
	mäßig	35	52	69	86	108	180

Verankerungslängen (nur Zugstäbe)

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,reqd} \cdot (A_{f,erf} / A_{f,vorh}) \geq l_{b,min}$$

Beiwerte α_1 und α_5 (nur Zugstäbe)	
Gerades Stabende	$\alpha_1 = 1,0$
Haken, Winkelhaken, Schlaufen	$\alpha_1 = 0,7$
Schlaufen mit $D_{min} \geq 15 \varnothing$	$\alpha_1 = 0,5$
Querdruck	$\alpha_5 = 1 - 0,04 \cdot \rho$

Hinweise

- $\alpha_5 = 2/3$ bei direkter Lagerung
- $\alpha_5 = 2/3$ wenn allseitige durch Bewehrung gesicherte Betondeckung von min $10 \varnothing_f$ vorhanden ist.
Dies gilt nicht für Übergreifungsstöße mit einem Achsabstand der Stöße von $s \leq 10 \varnothing_f$.
- $\alpha_5 = 1,5$ wenn rechtwinklig zur Bewehrungsebene ein Querkzug vorhanden ist, der eine Rissbildung parallel zur Bewehrungsstabachse im Verankerungsbereich erwarten lässt.
- Querdruck ρ senkrecht zur Verankerungsebene [N/mm²]
- $cd^{1)} \geq 3 d_f$, sonst $\alpha_1 = 1,0$

¹⁾ $c_d = \min \{a/2; c_1\}$ für Haken (außerhalb abZ)

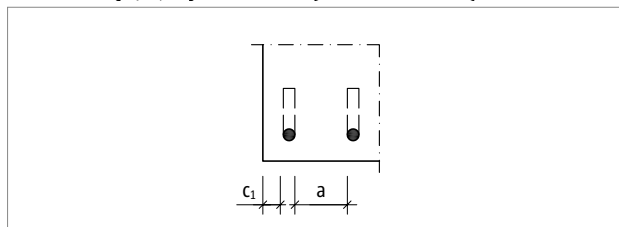


Abb. 12: Verankerungslänge für Haken

¹⁾ $c_d = c$ für Schlaufen (außerhalb abZ)

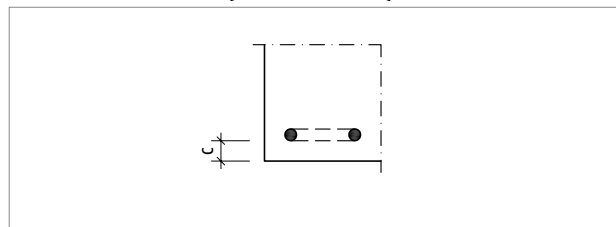
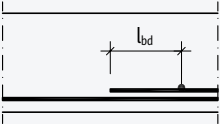
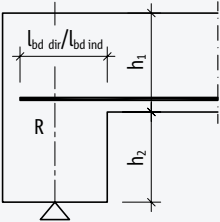
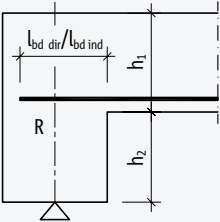
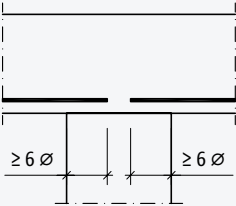


Abb. 13: Verankerungslänge für Schlaufen

Verankerungen

Erforderliche Verankerungslängen		
Anwendungsfall	Verankerungslänge	Erläuterung
Feld 	l_{bd}	Verankerung von Zugstäben $l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \geq 10 \cdot \varnothing_f \geq 160 \text{ mm}$ für Nenndurchmesser $\varnothing 8$ bis 25 mm $l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \geq 13 \cdot \varnothing_f \geq 160 \text{ mm}$ für Nenndurchmesser $\varnothing 32$ mm $l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \geq 13 \cdot \varnothing_f \geq 224 \text{ mm}$ für Nenndurchmesser $\varnothing 8$ bis 25 mm $l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \geq 18 \cdot \varnothing_f \geq 224 \text{ mm}$ für Nenndurchmesser $\varnothing 32$ mm
Endauflager direkt* ($h_1 \leq h_2$) 	$l_{bd,dir} = l_{bd} \geq 6,7 \cdot \varnothing_f$	Mindestens 25 % der Feldbewehrung bei Balken sind zum Auflager zu führen und zu verankern.
Endauflager indirekt ($h_1 > h_2$) 	$l_{bd,ind} = l_{bd} \geq 10 \cdot \varnothing_f$	Mindestens 50 % der Feldbewehrung bei Platten sind zum Auflager zu führen und zu verankern.
Zwischenaufleger 	$l \geq 6 \cdot \varnothing_f$	Die Bewehrung ist immer über die rechnerische Auflagerlinie zu führen.

i Hinweis

- * Bauteile mit $\varnothing_f = 32 \text{ mm}$ dürfen gemäß der abZ nur direkt gelagert werden.

Versatzmaß

Versatzmaß

$$a_1 = \frac{z}{2} \cdot \cot \theta \geq 0$$

- θ = Winkel zwischen Betondruckstrebe und Bauteilachse
- z = innere Hebelarm; im Allgemeinen darf $z = 0,9 \cdot d$ angenommen werden
- Für Stahlbetonplatten ohne Querkraftbewehrung gilt stets $a_1 = 1,0 \cdot d$

Verankerungen

Reduktion der Verankerungslänge mittels Köpfen (außerhalb abZ)

Die erforderliche Verankerungslänge gerader Combar® Stäbe kann durch Einsatz eines Kopfes reduziert werden. Die durch den Kopf dauerhaft aufnehmbare Kraft (Bemessungswert) wurde in Dauerstandversuchen ermittelt. Diese ist von der Gesamtkraft, die verankert werden muss, abzuziehen um die Kraft zu erhalten, die noch im Stab verankert werden muss. Dementsprechend setzt sich die gesamte Verankerungslänge l_{bd} in Abweichung von EC2, aus der Länge des Kopfes $l_{b,Kopf}$ und der noch erforderlichen Verankerungslänge am Stab $l_{bd,Stab}$ zusammen.

i Hinweise

- $F_d = F_{Kopf,d} + F_{Stab,d}$
- $l_{bd} = l_{b,Kopf} + l_{bd,Stab}$

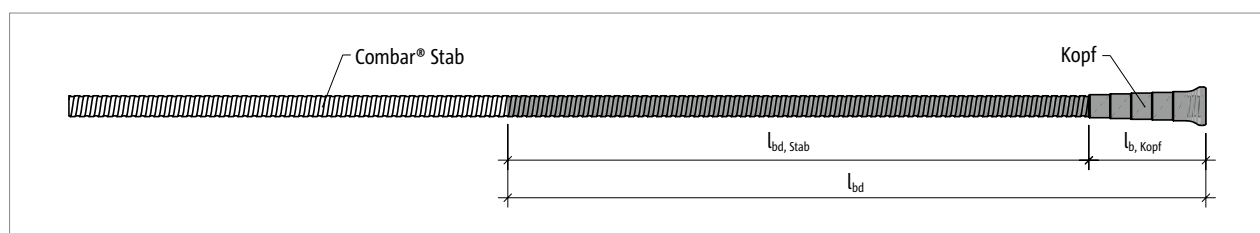


Abb. 14: Verankerungslänge Combar® Stab mit Kopf

Geometrie und Bemessungswert der Endverankerungskraft Combar® Köpfe			
Nenn Durchmesser $\varnothing_f$ [mm]	$l_{b,Kopf}$ [mm]	$\varnothing_{Kopf,au\beta en}$ [mm]	Verankerungskraft (vollverankert) $F_{Kopf,k}$ [kN]
12	60	30	31
16	100	40	68
20	100	45	85
25	100	50	106
32	100	64	136

Statisch erforderliche Bewehrung über dem Auflager

$$F_{Ed} = |V_{Ed}| \cdot (a_1 / z) + N_{Ed} \text{ mit } z \approx 0,9 \cdot d$$

$$F_{Ed} \geq 0,5 \cdot V_{Ed}$$

$$\text{erforderlich } A_s = F_{Ed} / (f_{td} / 10)$$

Bauteil mit Querkraftbewehrung

$$a_1 = \frac{z}{2} \cdot \cot \theta \geq 0$$

Bauteil ohne Querkraftbewehrung

$$a_1 = 1,0 \cdot d \geq 0$$

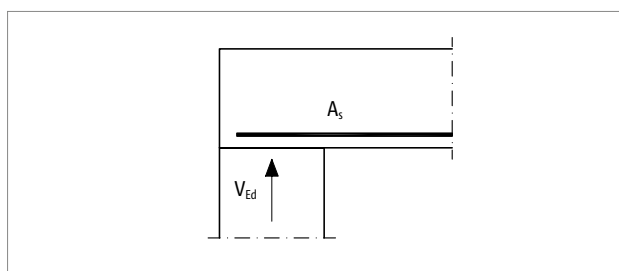
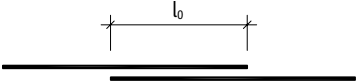


Abb. 15: Auflager

Übergreifungsstöße von Stäben

Übergreifungsstöße von Stäben (nur Zugstöße, außerhalb abZ)


$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \cdot \frac{A_{f,erf}}{A_{f,vorh}} \geq l_{0,min} \geq 20 \text{ cm}$$
$$l_{0,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq 15 \varnothing_f$$

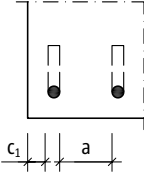


Abb. 16: Übergreifungsstöße (nur Zugstöße)

Beiwert α_6 zur Berücksichtigung des Stoßanteils für Zugstöße			
Beiwerte bei		Anteil der ohne Längsversatz gestoßenen Stäbe	
		$\leq 33 \%$	$> 33 \%$
$\varnothing_f < 16 \text{ mm}$	$a \geq 8 \varnothing_f$ und $c_1 \geq 4 \varnothing_f$	$\alpha_6 = 1,0$	$\alpha_6 = 1,0$
	$a < 8 \varnothing_f$ und $c_1 < 4 \varnothing_f$	$\alpha_6 = 1,2$	$\alpha_6 = 1,4$
$\varnothing_f \geq 16 \text{ mm}$	$a \geq 8 \varnothing_f$ und $c_1 \geq 4 \varnothing_f$	$\alpha_6 = 1,0$	$\alpha_6 = 1,4$
	$a < 8 \varnothing_f$ und $c_1 < 4 \varnothing_f$	$\alpha_6 = 1,4$	$\alpha_6 = 2,0$

Bemessung temporärer Bauteile

Werkstoffkennwerte

Die Glasfaserverbundbewehrung Schöck Combar® kann neben dem Einsatz in dauerhaften Bauteilen auch in temporären Bauteilen eingesetzt werden. Ein Anwendungsgebiet ist hierbei der Spezialtiefbau, wobei Combar® als zerspanbare Bewehrung im Bereich von Wänden oder Bohrpfehlen eingesetzt wird, welche von einer Tunnelbohrmaschine durchfahren werden. Dies sind im allgemeinen Baugrubenwände (Schlitzwände und Bohrpfehlwände) oder Schachtwände von Entwässerungssystemen. Das sogenannte Softeye, welches aus der zerspanbaren Bewehrung Combar® besteht, hat folglich eine nur relativ kurze Standzeit. Daher dürfen hier höhere Bemessungswerte angesetzt werden.

Diese Bemessungswerte von Combar® zum Einsatz in kurzzeitigen Bauteilen sind noch nicht von der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) Combar® (Z-1.6-238) abgedeckt. Daher ist hierfür in Deutschland in der Regel eine Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.) für das Bauvorhaben zu erwirken. Es ist jedoch ein Gutachten zu Schöck Combar® Bewehrungsstäben im Spezialtiefbau vorhanden, welches die Erwirkung einer Z.i.E. erheblich erleichtert: „Gutachten zu Schöck Combar® Bewehrungsstäben im Spezialtiefbau (Soft Eye) (Kurth/Hegger, Aachen vom März 2022)“. Das Gutachten bezieht sich auf Betonbauteile mit rundem und rechteckigem Querschnitt.

Im Folgenden wird die Bemessung von der Glasfaserverbundbewehrung Combar® zum Einsatz in temporären Bauteilen von einer Lebensdauer von 5 oder 10 Jahren in Anlehnung an den EC2 erläutert. Neben dem EC2 können folgende Regelwerke beachtet werden: Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB), DIN EN 1536, DIN SPEC 18140, DIN 4126, DIN 4127, DIN EN 1538, DIN 18313 VOB, EC1 und EC7.

Werkstoffkennwerte von Combar® gerader Stab für Betonfestigkeitsklasse $\geq$ C20/25			
		statisch bestimmte Systeme	statisch unbestimmte Systeme
Charakteristische Dauerzugfestigkeit (5 Jahre)	f_{rk} [N/mm ²]	680	680
Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit (mit $\gamma_f = 1,3$) (5 Jahre)	f_{rd} [N/mm ²]	523	435
Charakteristische Dauerzugfestigkeit (10 Jahre)	f_{rk} [N/mm ²]	640	531
Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit (mit $\gamma_f = 1,3$) (10 Jahre)	f_{rd} [N/mm ²]	492	408
Elastizitätsmodul	E_f [N/mm ²]	60.000	60.000

- Der Anpassungsfaktor zwischen statisch bestimmten und statisch unbestimmten Systemen ist mit $\eta_{rot} \approx 0,83$ definiert.

Werkstoffkennwerte von Combar® Bügel für Betonfestigkeitsklasse $\geq$ C20/25				
			statisch bestimmte Systeme	statisch unbestimmte Systeme
Als Biegezugbewehrung	Charakteristische Dauerzugfestigkeit (5 Jahre)	$f_{rk,5a}$ [N/mm ²]	330	273
	Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit (mit $\gamma_f = 1,3$) (5 Jahre)	$f_{rd,5a}$ [N/mm ²]	253	210
	Charakteristische Dauerzugfestigkeit (10 Jahre)	$f_{rk,10a}$ [N/mm ²]	315	261
	Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit (mit $\gamma_f = 1,3$) (10 Jahre)	$f_{rd,10a}$ [N/mm ²]	242	201
Als Querkraftbewehrung	Charakteristische Dauerzugfestigkeit (5 und 10 Jahre)	$f_{rk,5a,10a}$ [N/mm ²]	260	260
	Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit (mit $\gamma_f = 1,3$) (5 und 10 Jahre)	$f_{rd,5a,10a}$ [N/mm ²]	200	200
Elastizitätsmodul		E_f [N/mm ²]	50.000	50.000

i Hinweis

- Der Anpassungsfaktor zwischen statisch bestimmten und statisch unbestimmten Systemen, bei einem Einsatz des Combar® Bügel als Biegezugbewehrung, ist mit $\eta_{rot} \approx 0,83$ definiert.
- Bei einer gemeinsamen Verwendung von teilweise verankerten Combar® Doppelkopfbolzen mit einem Combar® Bügel sollte die Dehnung der Querkraftbewehrung auf den entsprechenden kleineren Wert begrenzt werden.

Werkstoffkennwerte

Werkstoffkennwerte von Combar® Stab mit zwei Köpfen für Betone $\geq C20/25$ (außerhalb abZ)				
Nenn Durchmesser $\varnothing_f$ [mm]	Verankerungskraft Kopf $F_{\text{Kopf,k}}$ [kN]	Bemessungswert der Zugfestigkeit vollverankert f_{fd} [N/mm ²]		Bemessungswert der Zugfestigkeit teilverankert f_{fd} [N/mm ²]
		Biegezugbewehrung	Querkraftbewehrung	Biegezug- und Querkraftbe- wehrung
12	31	210	200	143
16	68	240	200	178
20	85	208	200	140
25	106	166	166	114
32	136	130	130	89

i Hinweis

- Bei einer gemeinsamen Verwendung von teilweise verankerten Combar® Doppelkopfbolzen mit einem Combar® Bügel sollte die Dehnung der Querkraftbewehrung auf den entsprechenden kleineren Wert begrenzt werden.
- Das E-Modul beträgt 60.000 N/mm².

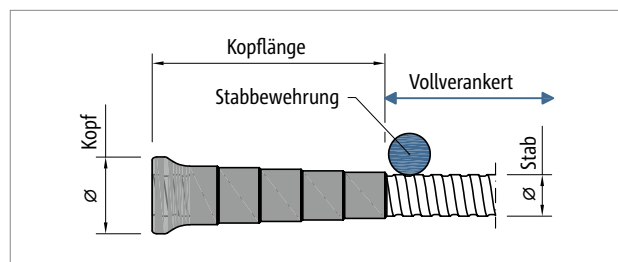


Abb. 17: Vollverankerter Kopfbolzen

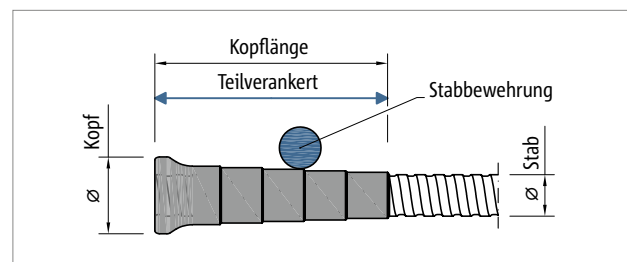


Abb. 18: Teilverankerter Kopfbolzen

Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Bestimmung der Schnittkräfte erfolgt nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.4 für ungerissene Querschnitte.

Biegung mit/ohne Normalkraft

Die Bemessung für Biegung mit oder ohne Normalkraft erfolgt über eine Iteration der Dehnungsebene. Dabei sind die Materialeigenschaften von Schöck Combar® zu berücksichtigen. Combar® Stäbe dürfen nicht als rechnerisch erforderliche Druckbewehrung angesetzt werden. Sie dürfen jedoch in der Druckzone liegen (Verankerung, konstruktive Bewehrung, etc.).

Die Bemessungstabellen wurden mit einem Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit analog zu Betonstahl B500 ($f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2 \approx f_{td} = 435 \text{ N/mm}^2$ für statisch bestimmte Systeme) ermittelt.

Zwar hat ein gerader Combar® Stab einen Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit von 445 N/mm^2 , jedoch wurden die Bemessungstabellen mit einem Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit analog zu Betonstahl B500 ermittelt. So wird eine Vergleichbarkeit hergestellt.

Da die Längsbewehrung im Spezialtiefbau bei Schlitzwänden in mehreren Lagen verbaut wird, ist der innere Hebelarm hierbei für jede Lage zu berücksichtigen.

Eine Umlagerung der Momente tritt nur in sehr begrenztem Maße ein und kann abweichend von EC2 bei der Bemessung nicht angesetzt werden. Somit gelten die in EC2 Absatz 5.6 angeführten Verfahren nach der Plastizitätstheorie nicht für mit Combar® bewehrte Querschnitte.

Werte für Betonfestigkeitsklasse $\geq \text{C20/25}$

ω -Tafel Combar®								
μ_{Edf}	ω_f	ξ	ζ	$\epsilon_c [\text{‰}]$	Statisch bestimmte Systeme		Statisch unbestimmte Systeme	
					$\epsilon_f [\text{‰}]$	$\sigma_{fd} [\text{N/mm}^2]$	$\eta_{rot} \cdot \epsilon_f [\text{‰}]$	$\eta_{rot} \cdot \sigma_{fd} [\text{N/mm}^2]$
0,001	0,0010	0,017	0,994	-0,123	7,250	435	6,000	360
0,006	0,0061	0,041	0,986	-0,311	7,250	435	6,000	360
0,011	0,0112	0,056	0,981	-0,431	7,250	435	6,000	360
0,016	0,0164	0,068	0,977	-0,529	7,250	435	6,000	360
0,025	0,0258	0,086	0,971	-0,679	7,250	435	6,000	360
0,050	0,0523	0,123	0,957	-1,021	7,250	435	6,000	360
0,075	0,0794	0,154	0,945	-1,321	7,250	435	6,000	360
0,100	0,1070	0,182	0,934	-1,610	7,250	435	6,000	360
0,125	0,1360	0,208	0,922	-1,908	7,250	435	6,000	360
0,150	0,1650	0,235	0,910	-2,229	7,250	435	6,000	360
0,200	0,2270	0,292	0,882	-2,989	7,250	435	6,000	360
0,240	0,2800	0,346	0,856	-3,500	6,605	396	5,466	328
0,250	0,2950	0,364	0,849	-3,500	6,118	367	5,063	304
0,300	0,3710	0,458	0,810	-3,500	4,146	249	3,431	206
0,350	0,4580	0,565	0,765	-3,500	2,692	162	2,228	134
0,360	0,4770	0,589	0,755	-3,500	2,442	147	2,021	121
0,370	0,4970	0,614	0,745	-3,500	2,203	132	1,823	109
0,380	0,5180	0,640	0,734	-3,500	1,973	118	1,633	98
0,390	0,5400	0,667	0,723	-3,500	1,751	105	1,449	87
0,400	0,5630	0,695	0,711	-3,500	1,535	92	1,270	76

Hinweis

- $M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}$ (N_{Ed} ist als Zugkraft positiv)
- $\mu_{Edf} = M_{Ed1} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd})$
- erforderlich: $A_f = (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}) / f_{td}$

Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

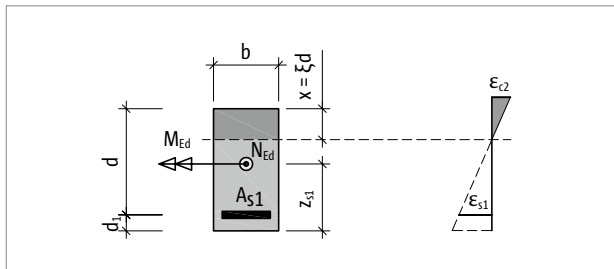


Abb. 19: Variablen für Biegebemessung

Mindestbewehrung

Eine Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens ist einzulegen. Dabei erfolgt die Ermittlung der Mindestbewehrung aus Combar® analog zum Betonstahl. Das Versagen des Bauteils bei Erstrissbildung ohne Vorankündigung ist zu vermeiden. Unmittelbar bei Erstrissbildung ist die Spannung im Bewehrungsstab gleich der Betonzugfestigkeit $\sigma_f = f_{ctm}$.

Für reine Biegung gilt:

$$f_{ctm} = \frac{M_{cr}}{W_c} \quad \text{bzw.} \quad M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (\text{Rechteckquerschnitt})$$

$$A_{f,min} = \frac{M_{cr}}{\sigma_f \cdot z} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{\sigma_f \cdot z}$$

$\sigma_f = 0,83 \cdot f_{fk} = 445 \text{ N/mm}^2$ (nach abZ, abweichend von EC2)

Höchstbewehrung

Die für die Biegebemessung statisch anrechenbare Querschnittsfläche der Bewehrung aus Combar® eines Querschnitts darf den Höchstwert von $0,035 A_c$ nicht überschreiten:

$A_{f,max} = 0,035 A_c$ (A_c = Querschnittsfläche im Zustand I)

Querkraft

Maßgebende Querkraft

Die maßgebende Querkraft liegt im Bereich der ungünstigsten Bemessungsschnitte für die Querkraftnachweise. Im Spezialtiefbau bei Schlitzwänden und Bohrpfahlwänden treten vielfältige Lasten und Lastzustände auf, welche unterschiedliche Schnittgrößen verursachen. Der Verlauf der ungünstigsten Schnittgrößen wird in einer sogenannten Einhüllenden zusammengefasst. Die Einhüllende der Querkräfte sind hierbei Grundlage der Querkraftbemessung.

Bei der Ermittlung der Schubbewehrung sind Schlitzwandelemente, deren Dicke größer ist als ein Fünftel der Breite, als Balken zu behandeln, sofern die einzelnen Elemente nicht kraftschlüssig miteinander verdübelt sind. Schlitzwandelemente, die mehrere Bewehrungskörbe innerhalb einer Elementlänge umfassen und in einem Arbeitsgang fugenlos betoniert werden, gelten als kraftschlüssig verdübelt.

Nachweis für Bauteile ohne rechnerische erforderliche Querkraftbewehrung

a) Nachweis nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ): $\beta_E \cdot V_{Ed} \leq V_{Rdc}$

Gleichung 6.2a nach DIN EN 1992-1-1/NA wird für Schöck Combar® ersetzt durch:

$$V_{Rdc} = \frac{0,138}{\gamma_c} \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot \frac{E_f}{E_s} \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$

γ_c = Teilsicherheitsbeiwert für Beton

κ = Maßstabsfaktor; d in mm

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} < 2,0$$

ρ_l = Längsbewehrungsgrad; $\rho_l = A_{fl} / (b_w \cdot d) \leq 0,02$

$E_f / E_s = E_{Combar} / E_{Betonstahl}$

f_{ck} = charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit

b_w = kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Zugzone des Querschnitts

d = statische Nutzhöhe

Querkraft

b) Nachweis nach Hegger/Kurth (außerhalb der abZ): $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + \kappa_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{E_{fl}^{1/3}}{425 \cdot \gamma_c}$$

$$\rho_l = \frac{A_{fl}}{b_w \cdot d}$$

Zur Ermittlung des Längsbewehrungsgrades von Kreisquerschnitten mit umlaufend angeordneter Biegezugbewehrung $A_{fl,ges}$ kann ohne weiteren Nachweis $A_{fl} = 1/3 \cdot A_{fl,ges}$ angesetzt werden.

b_w = kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Zugzone des Querschnitts

Bei Kreisquerschnitten kann in Anlehnung an NABau der kleinere Wert der Breiten, in Höhe von resultierender Zug- bzw. Druckkraft angesetzt werden (F_t , F_c siehe folgende Abbildung).

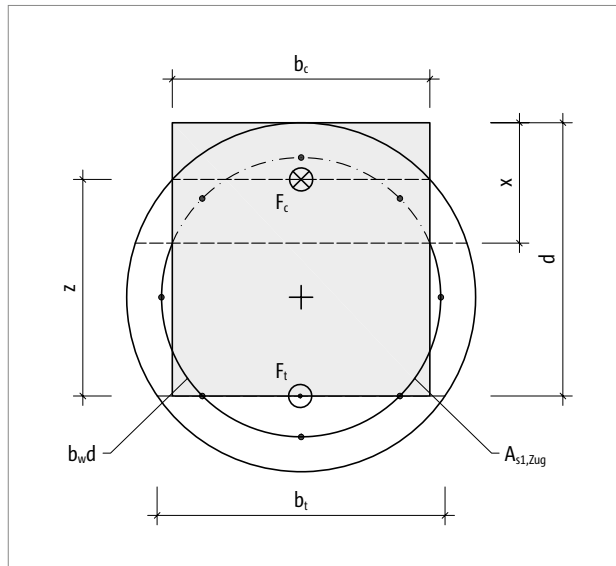


Abb. 20: Definition der wirksamen Breite b_w nach NABau

E_{fl} = E-Modul der Längsbewehrung

f_{ck} = charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit

d = statische Nutzhöhe

$\kappa_1 = 0,12$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{ed}}{A_c} < 0,2 f_{cd}$$

N_{ed} = Drucknormalkraft im Querschnitt infolge Lastbeanspruchung ($N_{ed} > 0$ für Druck).

Bei einer Zugbeanspruchung ist eine Querkraftbemessung derzeit nicht ohne Weiteres möglich. Die Querkrafttragfähigkeit von entsprechend beanspruchten Querschnitten muss daher im Einzelfall detailliert betrachtet werden.

A_c = Betonquerschnittsfläche

c) Mindestquerkraftbewehrung aus Stahl oder Combar® (analog EC2, innerhalb abZ)

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

f_{ctm} = Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons

$f_{fd,w}$ = Bemessungswert der Zugfestigkeit der Querkraftbewehrung

Querkraft

Nachweis für Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

Der Einsatz von Combar® Stäben als Querkraftbewehrung ist von der abZ Combar® nicht abgedeckt. Auf der sicheren Seite liegende Empfehlung (abweichend von EC2):

a) Verfahren nach Hegger/Kurth

Im Fachbericht „Querkrafttragfähigkeit von Betonbauteilen mit Faserverbundkunststoff-Bewehrung – Ableitung eines Bemessungsansatzes“ [Bauingenieur Band 88, Oktober 2013] von M. Kurth und J. Hegger ist ein genaueres, weniger konservatives Verfahren zur Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit von Betonquerschnitten mit Längsbewehrung aus Combar® und solchen mit Längs- und Querkraftbewehrung aus Combar® hergeleitet.

Die Gesamttragfähigkeit des Querschnitts setzt sich dabei aus der Tragfähigkeit des Betons und der Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung zusammen.

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,f}$$

Die Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung ergibt sich aus

$$V_{Rd,f} = a_{fw} \cdot f_{fwd} \cdot z \cdot \cot \theta$$

a_{fw} = Querschnittsfläche der FVK-Querkraftbewehrung

f_{fwd} = Bemessungswert der Zugfestigkeit der FVK-Querkraftbewehrung ($f_{fwd} \leq E_{fw} \cdot \epsilon_{fwd}$)

z = Hebelarm der inneren Kräfte

θ = Druckstrebenwinkel (= β_1)

$$\epsilon_{fd,w} = 2,3 + \frac{2 \cdot E I^* [MN/m^2]}{30} \leq 7,0 [‰]$$

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

$$\theta = \arctan \left[\sqrt[3]{\frac{\frac{M}{V} \cdot a_{fw} \cdot E_{fw}}{A_{fl} \cdot E_{fl}}} \right] \left\{ \begin{array}{l} \geq 20^\circ \\ \leq 50^\circ \end{array} \right.$$

Die Querkrafttragfähigkeit darf den Maximalwert $V_{Rd,max}$ nicht überschreiten.

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

Der unterschiedliche E-Modul gerader Combar® Stäbe (60.000 N/mm²) und Combar® Bügel (50.000 N/mm²) ist bei der Berechnung zu berücksichtigen.

Das Rechenverfahren nach Kurth und Hegger ist auch für eine Kombination einer Combar® Längsbewehrung mit einer Stahl Querkraftbewehrung anwendbar.

b) Mindestquerkraftbewehrung aus Stahl oder Combar® (außerhalb abZ)

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

f_{ctm} = Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons

$f_{fd,w}$ = Bemessungswert der Zugfestigkeit der Querkraftbewehrung

Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Begrenzung der Spannungen

Die Spannung im Combar® Stab sollte, falls Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit der Bauteile gestellt werden, 300 N/mm² nicht überschreiten.

In der Regel entfällt dieser Nachweis für kurzzeitig errichtete, mit Combar® bewehrte Bauteile.

Begrenzung der Rissbreiten

Combar® Stäbe rosten nicht. Eine Begrenzung der Rissbreiten zum Schutz der Bewehrung ist nicht erforderlich. Die abZ Combar® begrenzt die Rissbreite auf $w_k \leq 0,4$ mm. Die Bestimmung der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.3.2 und die Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.3.3 ist nicht zulässig.

In der Regel entfällt dieser Nachweis für kurzzeitig errichtete, mit Combar® bewehrte Bauteile.

Wenn trotzdem Anforderungen an die Rissbreite bestehen, wie beispielsweise bei einem wasserundurchlässigen Bauteil, kann die maximale Rissbreite wie folgt ermittelt werden.

Näherungsweise Handrechnung

Eine reine Rissbewehrung aus BSt 500 kann auf eine Combar® Bewehrung umgerechnet werden. Wie bei Betonstahl verhält sich der Gesamtschlupf am Stabende in einem Verbundversuch quadratisch zur aufgetragenen Spannung σ . Des Weiteren kann bei früh auftretenden Zwangsspannungen ein ungefähr gleiches Verbundverhalten, wie bei Betonstahl angenommen werden. Außerdem ist die Rissbreite w_k proportional zum E-Modul des Bewehrungsstabes und zum Stabdurchmesser $\varnothing$. Somit ergibt sich die folgende Umrechnungsgleichung (für gleiche Rissbreiten).

$$\frac{w_{k, \text{Combar}}}{w_{k, \text{B500}}} = \left(\frac{E_{\text{Combar}}}{E_{\text{B500}}} \right) \cdot \left(\frac{\varnothing_{\text{Combar}}}{\varnothing_{\text{B500}}} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{Combar}}}{\sigma_{\text{B500}}} \right)^2 = 1,0$$

$$\frac{w_{k, \text{Combar}}}{w_{k, \text{B500}}} = \left(\frac{200.000 \text{ N/mm}^2}{60.000 \text{ N/mm}^2} \right) \cdot \left(\frac{\varnothing_{\text{Combar}}}{\varnothing_{\text{B500}}} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{Combar}}}{\sigma_{\text{B500}}} \right)^2 = 1,0$$

Bei gleicher Rissbreite und gleichem Stabdurchmesser folgt daraus:

$$\text{erf. } A_{\text{Combar}} = \sqrt{\frac{200}{60}} A_{\text{B500}} = 1,83 A_{\text{B500}}$$

Exaktes Verfahren

Die Bestimmung der Rissbreite erfolgt, nach abZ, entsprechend DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.3.4 mit folgenden Änderungen:

- ϵ_{sm} wird durch ϵ_{fm} ersetzt als mittlere Dehnung von Schöck Combar®,
- E_s wird durch E_f nach Abschnitt 3.2.1.1 ersetzt und ist der Elastizitätsmodul von Schöck Combar®,
- σ_s wird ersetzt σ_f und ist die Spannung von Schöck Combar® im Riss,
- Gleichung (7.11) nach DIN EN 1992-1-1 wird ersetzt durch:

Für Schöck Combar® Stäbe

$$s_{r, \max} = \frac{d_f}{2,8 \cdot \rho_{f, \text{eff}}} \leq \frac{\sigma_f \cdot d_f}{2,8 \cdot f_{ct, \text{eff}}}$$

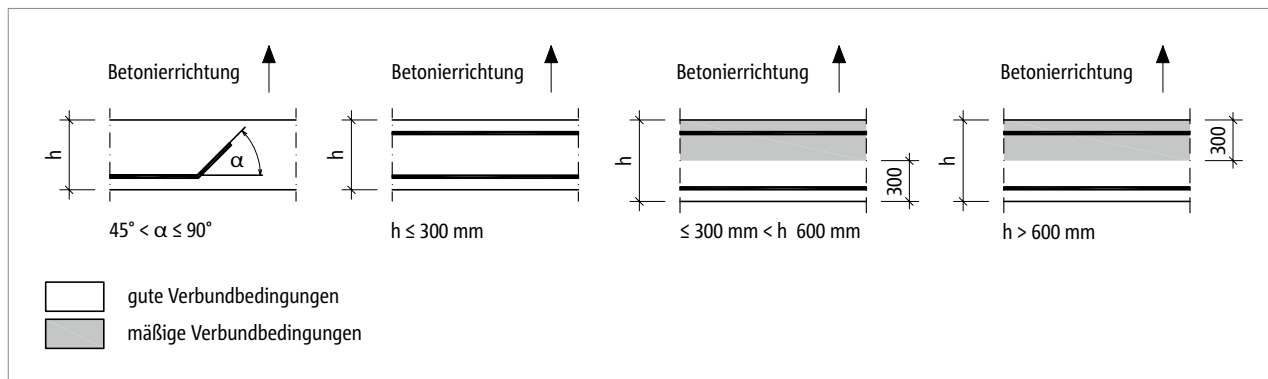
$$\rho_{f, \text{eff}} = \frac{A_f}{A_{c, \text{eff}}}$$

Begrenzung der Verformungen

In der Regel entfällt dieser Nachweis für kurzzeitig errichtete, mit Combar® bewehrte Betonbauteile. Ein exakter Verformungsnachweis kann nur am Gesamtsystem erfolgen, wobei eine gemischte Bewehrung aus Combar® und Betonstahl zu beachten ist.

Verankerungen

Verbundbedingungen



Grundwert der Verankerungslänge

$$l_{b, \text{rqd}} = (\sigma_f / 4) \cdot (\sigma_f / f_{bd}) \text{ mit } \sigma_f = f_{fd} = 445 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswerte der Verbundfestigkeit f_{bd} [N/mm²]

Für die Ermittlung des Bemessungswerts der Verbundspannung wird für temporäre Bauwerke mit einer Einsatzdauer von 5 Jahren im Gutachten zu Schöck Combar® Bewehrungsstäben im Spezialtiefbau (Soft Eye) von Kurth/Hegger folgende Gleichung angegeben. Wenn die Einsatzdauer auf 10 Jahre erhöht wird, sollten die Verbundfestigkeitswerte der 5-jährigen Einsatzdauer um etwa 10 % reduziert werden. Des Weiteren dürfen die Verbundspannungen maximal dem 1,2-fachen der Verbundspannungen gemäß der abZ entsprechen.

Bemessungswerte der Verbundfestigkeit f_{bd} [N/mm ²] für Bügel (z. B. Haken, Winkelhaken, Schlaufen) (außerhalb abZ)									
Bemessungswerte bei	Betonfestigkeitsklasse								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Gute Verbundbedingungen	1,45	1,77	2,03	2,30					
Mäßige Verbundbedingungen	1,09	1,23	1,42	1,61					

Bei Bohrpfählen und Schlitzwänden liegen die Bügel als Horizontalbewehrung im mäßigen Verbundbereich.

$$f_{bd} = \eta \cdot 2,13 \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} \leq \frac{4,8 \text{ N/mm}^2}{\gamma_c}$$

η = Faktor zur Berücksichtigung der Verbundbedingungen

gute Verbundbedingungen 1,0

mäßige Verbundbedingungen 0,7

$f_{ctk,0,05}$ = charakteristischer Wert des 5%-Quantils der zentrischen Betonzugfestigkeit

Verankerungen

Charakteristische Werte und Bemessungswerte der Verbundfestigkeit für Schöck Combar® in Abhängigkeit von der Betonfestigkeit für temporäre Anwendungen (5 Jahre) und gute Verbundbedingungen				
Betonfestigkeitsklasse	Charakteristischer Wert der Verbundfestigkeit $f_{bk,5a}$ [N/mm ²]	Bemessungswert der Verbundfestigkeit $f_{bd,5a}$ [N/mm ²]	Zulassungswert für dauerhafte Anwendung $\varnothing$ 32 mm $f_{bd,5a}$ [N/mm ²]	Zulassungswert für dauerhafte Anwendung $\varnothing$ 8–25 mm $f_{bd,5a}$ [N/mm ²]
C25/30	3,83	2,56	1,74	2,26
C30/37	4,19	2,79	1,79	2,33
C35/45	4,30	2,86	1,84	2,39
C50/60	4,64	3,10	1,98	2,58

Charakteristische Werte und Bemessungswerte der Verbundfestigkeit für Schöck Combar® in Abhängigkeit von der Betonfestigkeit für temporäre Anwendungen (10 Jahre) und gute Verbundbedingungen		
Betonfestigkeitsklasse	Charakteristischer Wert der Verbundfestigkeit $f_{bk,10a}$ [N/mm ²]	Bemessungswert der Verbundfestigkeit $f_{bd,10a}$ [N/mm ²]
C25/30	3,45	2,30
C30/37	3,77	2,51
C35/45	3,87	2,57
C50/60	4,18	2,78

Verankerungslängen (nur Zugstäbe)

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \cdot (A_{f,erf} / A_{f,vorh}) \geq l_{b,min}$$

Beiwerte α_1 und α_5 (nur Zugstäbe)	
Gerades Stabende	$\alpha_1 = 1,0$
Haken, Winkelhaken, Schlaufen	$\alpha_1 = 0,7$
Schlaufen mit $D_{min} \geq 15 \varnothing$	$\alpha_1 = 0,5$
Querdruck	$\alpha_5 = 1 - 0,04 \cdot \rho$

i Hinweise

- $\alpha_5 = 2/3$ bei direkter Lagerung
- $\alpha_5 = 2/3$ wenn allseitige durch Bewehrung gesicherte Betondeckung von min $10 \varnothing_f$ vorhanden ist.
Dies gilt nicht für Übergreifungsstöße mit einem Achsabstand der Stöße von $s \leq 10 \varnothing_f$.
- $\alpha_5 = 1,5$ wenn rechtwinklig zur Bewehrungsebene ein Querkzug vorhanden ist, der eine Rissbildung parallel zur Bewehrungsstabachse im Verankerungsbereich erwarten lässt.
- Querdruck ρ senkrecht zur Verankerungsebene [N/mm²]
- $cd^{1)} \geq 3 d_f$, sonst $\alpha_1 = 1,0$

¹⁾ $c_d = \min \{a/2; c_1\}$ für Haken (außerhalb abZ)

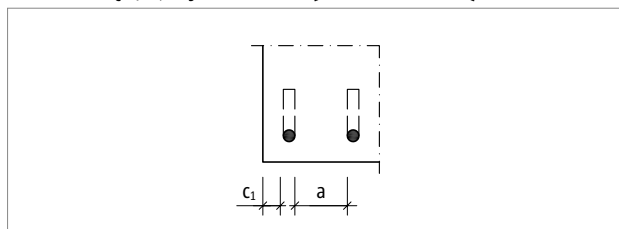


Abb. 21: Verankerungslänge für Haken

¹⁾ $c_d = c$ für Schlaufen (außerhalb abZ)

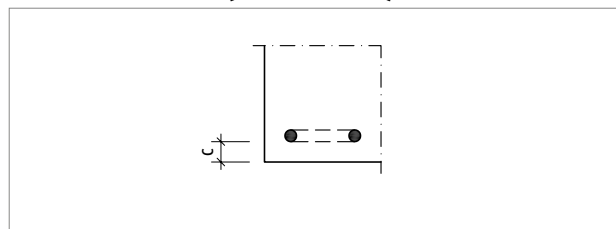
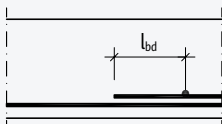
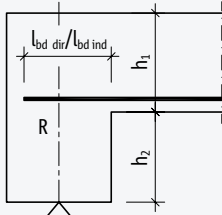
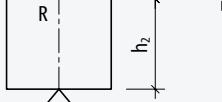
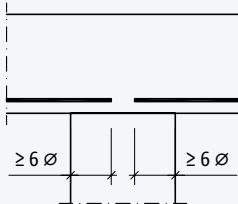


Abb. 22: Verankerungslänge für Schlaufen

Verankerungen

Erforderliche Verankerungslängen		
Anwendungsfall	Verankerungslänge	Erläuterung
Feld 	l_{bd}	Verankerung von Zugstäben $l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \geq 10 \cdot \varnothing_f \geq 160 \text{ mm}$ für Nenndurchmesser $\varnothing 8$ bis 25 mm $l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \geq 13 \cdot \varnothing_f \geq 160 \text{ mm}$ für Nenndurchmesser $\varnothing 32$ mm $l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \geq 13 \cdot \varnothing_f \geq 224 \text{ mm}$ für Nenndurchmesser $\varnothing 8$ bis 25 mm $l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \geq 18 \cdot \varnothing_f \geq 224 \text{ mm}$ für Nenndurchmesser $\varnothing 32$ mm
Endauflager direkt* ($h_1 \leq h_2$) 	$l_{bd,dir} = l_{bd} \geq 6,7 \cdot \varnothing_f$	Mindestens 25 % der Feldbewehrung bei Balken sind zum Auflager zu führen und zu verankern.
Endauflager indirekt ($h_1 > h_2$) 	$l_{bd,ind} = l_{bd} \geq 10 \cdot \varnothing_f$	Mindestens 50 % der Feldbewehrung bei Platten sind zum Auflager zu führen und zu verankern.
Zwischenaufleger 	$l \geq 6 \cdot \varnothing_f$	Die Bewehrung ist immer über die rechnerische Auflagerlinie zu führen.

Versatzmaß

Versatzmaß

$$a_1 = \frac{z}{2} \cdot \cot \theta \geq 0$$

- θ = Winkel zwischen Betondruckstrebe und Bauteilachse
- z = innere Hebelarm; im Allgemeinen darf $z = 0,9 \cdot d$ angenommen werden
- Für Stahlbetonplatten ohne Querkraftbewehrung gilt stets $a_1 = 1,0 \cdot d$

Verankerungen

Reduktion der Verankerungslänge mittels Köpfen (außerhalb abZ)

Die erforderliche Verankerungslänge gerader Combar® Stäbe kann durch Einsatz eines Kopfes reduziert werden. Die durch den Kopf dauerhaft aufnehmbare Kraft (Bemessungswert) wurde in Dauerstandversuchen ermittelt. Diese ist von der Gesamtkraft, die verankert werden muss, abzuziehen um die Kraft zu erhalten, die noch im Stab verankert werden muss. Dementsprechend setzt sich die gesamte Verankerungslänge l_{bd} , in Abweichung von EC2, aus der Länge des Kopfes $l_{b,Kopf}$ und der noch erforderlichen Verankerungslänge am Stab $l_{bd,Stab}$ zusammen.

i Hinweise

- $F_d = F_{Kopf,d} + F_{Stab,d}$
- $l_{bd} = l_{b,Kopf} + l_{bd,Stab}$

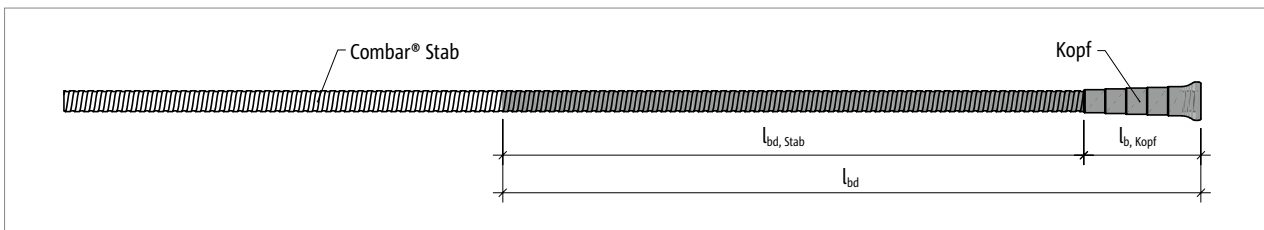


Abb. 23: Verankerungslänge Combar® Stab mit Kopf

Geometrie und Bemessungswert der Endverankerungskraft Combar® Köpfe			
Nenn Durchmesser $\varnothing_f$ [mm]	$l_{b,Kopf}$ [mm]	$\varnothing$ Kopf _{außen} [mm]	Verankerungskraft (vollverankert) $F_{Kopf,k}$ [kN]
12	60	30	31
16	100	40	68
20	100	45	85
25	100	50	106
32	100	64	136

Statisch erforderliche Bewehrung über dem Auflager

$$F_{Ed} = |V_{Ed}| \cdot (a_1 / z) + N_{Ed} \text{ mit } z \approx 0,9 \cdot d$$

$$F_{Ed} \geq 0,5 \cdot V_{Ed}$$

$$\text{erforderlich } A_s = F_{Ed} / (f_{td} / 10)$$

Bauteil mit Querkraftbewehrung

$$a_1 = \frac{z}{2} \cdot \cot \theta \geq 0$$

Bauteil ohne Querkraftbewehrung

$$a_1 = 1,0 \cdot d \geq 0$$

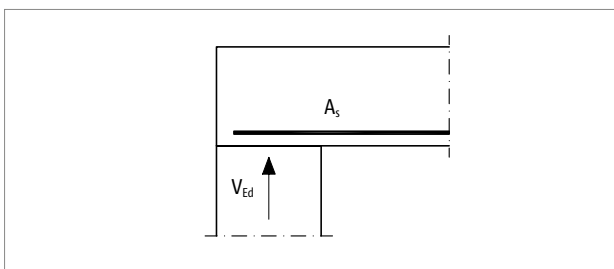
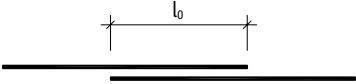


Abb. 24: Auflager

Übergreifungsstöße von Stäben

Übergreifungsstöße von Stäben (nur Zugstöße, außerhalb abZ)



$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \cdot \frac{A_{f,erf}}{A_{f,vorh}} \geq l_{0,min} \geq 20 \text{ cm}$$
$$l_{0,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq 15 \varnothing_f$$

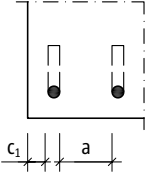


Abb. 25: Übergreifungsstöße (nur Zugstöße)

Beiwert α_6 zur Berücksichtigung des Stoßanteils für Zugstöße			
Beiwerte bei		Anteil der ohne Längsversatz gestoßenen Stäbe	
		$\leq 33 \%$	$> 33 \%$
$\varnothing_f < 16 \text{ mm}$	$a \geq 8 \varnothing_f$ und $c_1 \geq 4 \varnothing_f$	$\alpha_6 = 1,0$	$\alpha_6 = 1,0$
	$a < 8 \varnothing_f$ und $c_1 < 4 \varnothing_f$	$\alpha_6 = 1,2$	$\alpha_6 = 1,4$
$\varnothing_f \geq 16 \text{ mm}$	$a \geq 8 \varnothing_f$ und $c_1 \geq 4 \varnothing_f$	$\alpha_6 = 1,0$	$\alpha_6 = 1,4$
	$a < 8 \varnothing_f$ und $c_1 < 4 \varnothing_f$	$\alpha_6 = 1,4$	$\alpha_6 = 2,0$

Bemessungsbeispiel Bodenplatte

Bemessungsbeispiel | Randbedingungen

Grundlagen

Korrosionsschäden bei Bodenplatten von Tiefgaragen, Rampen, Industriehallen, Fahrzeughallen oder Feuerwehrrhallen sind für die Betreiber ein teures und unerfreuliches Dauerthema. Wenn in den Stahlbetonbauteilen Wasser und Luft durch Risse im Beton bis zum Bewehrungsstahl vordringen, beginnt dieser zu korrodieren. Die in fast jedem Parkbauwerk vorhandenen Chlorideinträge, beispielsweise durch Tausalz im Winter, verstärken und/oder initiieren die Korrosion. Konventionell und präventiv werden solche Bauten durch instandhaltungsintensive Oberflächenbeschichtungen vor Korrosionsschäden geschützt.

Als wirtschaftliche Lösung bietet sich eine Bewehrung aus dem korrosionsresistenten Combar® an. Damit wird keine Oberflächenbeschichtung mehr benötigt, wodurch Instandhaltungskosten vermieden werden.

Im folgenden Bemessungsbeispiel wird ein Plattenstreifen einer Bodenplatte mit WU-Beton unter einer Stütze betrachtet.

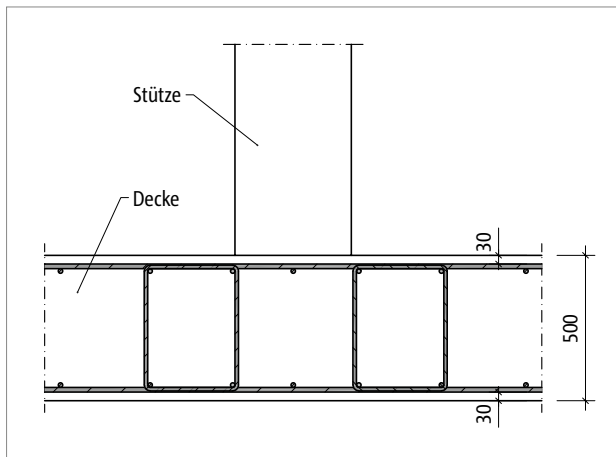


Abb. 26: Plattenstreifen unter Stütze

- Breite $b = 100 \text{ cm}$
- Höhe $h = 50 \text{ cm}$
- Länge $L = 100 \text{ cm}$
- Betondeckung

$$c_v = c_{\min} + \Delta_c$$

$$c_v = 16 \text{ mm } (d_s) + 10 \text{ mm (Ortbeton)} = 26 \text{ mm} \rightarrow 30 \text{ mm}$$

- Statische Nutzhöhe

$$d = h - c_v - d_{\text{Bügel}} - \frac{d_{\text{Stab}}}{2}$$

$$= 500 - 30 - 12 - \frac{16}{2} = 450 \text{ mm}$$

- Bestimmtes statisches System
- Maximale Rissbreite $w_{\text{zul}} = 0,2 \text{ mm}$
- Bemessungsquerkraft $V_{\text{Ed}} = 200 \text{ kN/m}$
- Einwirkendes Moment $M_{\text{Ed}} = 200 \text{ kNm/m}$
- Betonfestigkeitsklasse C30/37
- Charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit $f_{\text{ck}} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Mittlere Betondruckfestigkeit $f_{\text{cm}} = 38 \text{ N/mm}^2$
- Mittlere Betonzugfestigkeit $f_{\text{ctm}} = 2,9 \text{ N/mm}^2$
- Gewählte Combar® Längsbewehrung pro Seite 6 - $d_f = 16 \text{ mm}$; $A_s = 12,06 \text{ cm}^2$
- E-Modul Combar® Längsbewehrung $E_{\text{fl}} = 60.000 \text{ N/mm}^2$
- Gewählte Combar® Bügelbewehrung $d_f = 12 \text{ mm}$; 3-schnittig alle 15 cm; $a_{\text{fw}} = 22,6 \text{ cm}^2/\text{m}$
- E-Modul Combar® Bügelbewehrung $E_{\text{fw}} = 50.000 \text{ N/mm}^2$
- Gewählte Stahl B 500 NR Bügelbewehrung (1.4482) Edelstahl $d_s = 12 \text{ mm}$; 2-schnittig alle 30 cm; $a_{\text{sw}} = 7,54 \text{ cm}^2/\text{m}$
- E-Modul Stahl B 500 NR Bügelbewehrung (1.4482) $E_s = 160.000 \text{ N/mm}^2$

Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Grenzzustand der Tragfähigkeit – Nachweis Biegung

Biegebemessung mithilfe ω -Tafel

Innerer Hebelarm

$$z_{s1} = \frac{h}{2} - c_v - d_{\text{Bügel}} - \frac{d_{\text{Stab}}}{2}$$

$$= \frac{500}{2} - 30 - 12 - \frac{16}{2} = 200 \text{ mm}$$

Bemessungsmoment $M_{\text{Ed1}} = M_{\text{Ed}} - N_{\text{Ed}} \cdot z_{s1} = 200 \text{ kNm/m}$

Bezogenes Moment

$$\mu_{\text{Ed1}} = \frac{M_{\text{Ed1}}}{(b \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}})}$$

$$= \frac{200 \cdot 10^6 [\text{Nmm/mm}]}{(1000 [\text{mm}] \cdot 452^2 [\text{mm}^2] \cdot 17 [\text{N/mm}^2])} \approx 0,06$$

Aus Omega-Tabelle: $\omega_1 = 0,063$

Erforderliche Bewehrung

$$\text{erf. } A_s = \frac{(\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{\text{cd}} + N_{\text{Ed}})}{f_{\text{yd}}}$$

$$= \frac{(0,063 \cdot 1000 [\text{mm}] \cdot 450 [\text{mm}] \cdot 17 [\text{N/mm}^2] + 0)}{445 [\text{N/mm}^2]} = 1083 \text{ mm}^2$$

Mindestbewehrung

Innerer Hebelarm $z \approx 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 450 \text{ mm} = 405 \text{ mm}$

Widerstandsmoment

$$W_c = \frac{(h^2 \cdot b)}{6}$$

$$= \frac{(0,5^2 [\text{m}^2] \cdot 1 [\text{m}])}{6} = 0,04167 \text{ m}^3$$

Mittelwert zentrische Betonzugfestigkeit $f_{\text{ctm}} = 2,9 \text{ N/mm}^2 = 2.900 \text{ kN/m}^2$

Rissmoment $M_{\text{cr}} = f_{\text{ctm}} \cdot W_c = 2.900 [\text{kN/m}^2] \cdot 0,04167 [\text{m}^3] = 120,83 \text{ kNm}$

Stabspannung $\sigma_f = 0,83 \cdot f_{\text{rk}} = 445 \text{ N/mm}^2$

Mindestbewehrung

$$A_{f,\text{min}} = \frac{M_{\text{cr}}}{\sigma_f \cdot z}$$

$$= \frac{120,83 \cdot 10^6 [\text{Nmm}]}{445 [\text{N/mm}^2] \cdot 405 [\text{mm}]}$$

$$= 670 \text{ mm}^2 = 6,7 \text{ cm}^2 < \text{gewählte } A_f = 12,06 \text{ cm}^2 \quad \checkmark$$

Höchstbewehrung

Betonquerschnittsfläche $A_c = 50 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 5.000 \text{ cm}^2$

$A_{f,\text{max}} = 0,035 \cdot A_c = 0,035 \cdot 5.000 \text{ cm}^2 = 175 \text{ cm}^2 < \text{gewählte } A_f = 12,06 \text{ cm}^2$

Querkraft

Ohne Querkraftbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Beton $\gamma_c = 1,5$

Maßstabsfaktor

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$$

$$= 1 + \sqrt{\frac{200}{446}} = 1,67$$

Längsbewehrungsgrad

$$\rho_l = \frac{A_{fl}}{b_w \cdot d}$$

$$= \frac{12,06 \text{ cm}^2}{100 \text{ cm} \cdot 45 \text{ cm}} = 0,268 \%$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft für Bauteile ohne Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,c} = \frac{0,138}{\gamma_c} \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot \frac{E_f}{E_s} \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$

$$= \frac{0,138}{1,5} \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,00268 \cdot \frac{60.000}{200.000} \cdot 30)^{1/3} \cdot 1.000 \cdot 450$$

$$= 92,7 \text{ kN} < V_{ed} = 200 \text{ kN}$$

Querkraftbewehrung ist erforderlich

Querkraft

Mit Querkraftbewehrung aus Combar®

Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft vom Beton

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

$$= 1 \cdot \frac{1}{425 \cdot 1,5} \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,00268 \cdot 60.000 \cdot 30)^{1/3} \cdot 1.000 \cdot 450 = 92,6 \text{ kN}$$

Vereinfachte Bauteilbiegesteifigkeit

$$EI^* = E_{fl} \cdot A_{fl} - (0,8 \cdot d)^2 = 60.000 \text{ [N/mm}^2] \cdot 1206 \text{ [mm}^2] - (0,8 \cdot 450 \text{ [mm]})^2$$

$$= 9,83 \cdot 10^{12} \text{ N/mm}^2 = 9,83 \text{ MN/m}^2$$

Bemessungswert der maximalen Dehnung der Querkraftbewehrung

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

$$= 2,3 + \frac{2 \cdot 9,83}{30} = 2,93 \text{ ‰} \leq 7,0 \text{ ‰}$$

Bemessungswert der Zugfestigkeit der Querkraftbewehrung

$$f_{fd,w} = 160 \text{ N/mm}^2 \leq \varepsilon_{fd,w} \cdot E_{fw}$$

$$= 2,93 \text{ ‰} \cdot 50.000 \text{ [N/mm}^2] = 146 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= 1 \cdot \frac{1}{425 \cdot 1,5} \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,00268 \cdot 60.000 \cdot 30)^{1/3} \cdot 1.000 \cdot 450 = 92,6 \text{ kN}$$

Druckstrebenwinkel

$$\theta = \arctan \left[\sqrt[3]{\frac{\frac{M}{V} \cdot a_{fw} \cdot E_{fw}}{A_{fl} \cdot E_{fl}}} \right] \left\{ \begin{array}{l} \geq 20^\circ \\ \leq 50^\circ \end{array} \right.$$

$$= \arctan \left[\sqrt[3]{\frac{\frac{200}{200} \cdot 2.262 \text{ [mm}^2/\text{m}] \cdot 50.000 \text{ [N/mm}^2]}{1.205 \text{ [mm}^2/\text{m}] \cdot 60.000 \text{ [N/mm}^2]}} \right] = 49,2^\circ$$

Querkraft

Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft der Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,f} = a_{fw} - f_{fd,w} - z - \cot(\theta) \\ = 2.260 \text{ [mm}^2/\text{mm]} - 0,146 \text{ [kN/mm}^2] - 405 \text{ [mm]} - \cot(49,2^\circ) = 115,4 \text{ kN}$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft des gesamten Bauteils

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,f} \\ = 92,6 \text{ [kN]} + 115,4 \text{ [kN]} = 208 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 200 \text{ kN} \checkmark$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft der Betondruckstrebe

$$V_{Rd,max} = V_{Rd,c} + \frac{1,1 \cdot b_w \cdot z \cdot f_{ctm}^{2/3}}{\gamma_c \cdot (\cot(\theta) + \tan(\theta))} \\ = 92,6 + \frac{1,1 \cdot 1.000 \cdot 405 \cdot 38^{2/3}}{1,3 \cdot (\cot(49,2^\circ) + \tan(49,2^\circ))} = 1753 \text{ kN} \geq V_{Ed} \checkmark$$

Mindestquerkraftbewehrung

$$a_{fw,min} = 0,16 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{fd,w}} \cdot s \cdot b_w \\ = 0,16 \cdot \frac{2,9 \text{ [N/mm}^2]}{160 \text{ [N/mm}^2]} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 50 \text{ cm} \\ = 14,5 \text{ cm}^2/\text{m} \leq a_{fw,vorh} = 22,6 \text{ cm}^2/\text{m} \checkmark$$

Querkraft

Mit Querkraftbewehrung aus nichtrostendem Betonstahl B 500 NR (Werkstoffnummer: 1.4482)

Das vorliegende Bauteil mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung wird mit der Kombination Combar® als Längsbewehrung und Stahl als Querkraftbewehrung nach EC2, Abschnitt 6.2.3 mit NA mit folgenden Randbedingungen nachgewiesen:

- Begrenzung des rechnerischen Druckstrebenwinkels auf $\cot(\theta) \leq 2,0$
- Ermittlung des Versatzmaßes mit $\cot(\theta) \leq 3,0$
- Ermittlung der Druckstreben Tragfähigkeit (max. Querkraftwiderstand) mit $v_1 = 0,5 - v_2$

Innerer Hebelarm

$z \approx 0,9 - d = 0,9 - 450 \text{ mm} = 405 \text{ mm}$

Winkel der Betondruckstrebe

$$V_{Rd,cc} = 0,5 \cdot 0,48 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot \left(1 - 1,2 \cdot \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}\right) \cdot b_w \cdot z$$

$$= 0,5 \cdot 0,48 \cdot 30^{1/3} [\text{N/mm}^2] \cdot \left(1 - 1,2 \cdot \frac{0 [\text{N/mm}^2]}{17 [\text{N/mm}^2]}\right) \cdot 1.000 [\text{mm}] \cdot 405 [\text{mm}] = 302,0 [\text{kN}]$$

Druckstrebenwinkel

$$\cot(\theta) = 1,0 \leq \frac{1,2 - 1,4 \cdot \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}}{1 - \frac{V_{Rd,cc}}{V_{ed}}} \leq 2,0$$

$$= \frac{1,2 - 1,4 \cdot \frac{0 [\text{N/mm}^2]}{17 [\text{N/mm}^2]}}{1 - \frac{302 [\text{kN}]}{200 [\text{kN}]}} = -2,353$$

$$0,6 \cdot V_{ed} \leq V_{Rd,cc}$$

$$0,6 \cdot 200 [\text{kN}] = 120 [\text{kN}] \leq V_{Rd,cc} = 302 [\text{kN}]$$

$$\cot(\theta) = 3,0 \leq 2,0 \rightarrow \cot(\theta) = 2,0$$

Nachweis der Betondruckstrebe

$$v_1 = 0,5 \cdot \left(1,1 - \frac{f_{ck}}{500}\right) \leq 0,5$$

$$= 0,5 \cdot \left(1,1 - \frac{30 [\text{N/mm}^2]}{500}\right) = 0,52 \leq 0,5$$

$$V_{Rd,max} = \frac{v_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \cot(\theta)}{(1 + \cot^2(\theta))}$$

$$= \frac{0,5 \cdot 17 [\text{N/mm}^2] \cdot 1.000 [\text{mm}] \cdot 405 [\text{mm}] \cdot 2}{(1 + 0,2^2)} = 1.377,0 [\text{kN}] \geq V_{ed} = 200 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Querkraft

Nachweis der Zugstrebe

Erforderliche Querkraftbewehrung

$$\begin{aligned}
 a_{sw} &= \frac{V_{Ed}}{f_{yd} \cdot \sin \alpha \cdot z \cdot (\cot \alpha \cdot \cot \alpha)} \\
 &= \frac{200 \text{ [kN]} \cdot 10^3}{435 \text{ [N/mm}^2\text{]} \cdot 1 \cdot 405 \text{ [mm]} \cdot 10^{-3} \cdot (2,0 \cdot 1)} \\
 &= 5,68 \text{ cm}^2/\text{m} \leq a_{sw, \text{vorh}} = 7,54 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \checkmark
 \end{aligned}$$

Mindestquerkraftbewehrung

$$\begin{aligned}
 a_{sw} &= \frac{V_{Ed}}{f_{yd} \cdot \sin \alpha \cdot z \cdot (\cot \alpha \cdot \cot \alpha)} \\
 &= \frac{200 \text{ [kN]} \cdot 10^3}{435 \text{ [N/mm}^2\text{]} \cdot 1 \cdot 405 \text{ [mm]} \cdot 10^{-3} \cdot (2,0 \cdot 1)} \\
 &= 5,68 \text{ cm}^2/\text{m} \leq a_{sw, \text{vorh}} = 7,54 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \checkmark
 \end{aligned}$$

Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Aus Dauerhaftigkeitsgründen muss die Rissbreite von Combar® nicht beschränkt werden. Da es sich bei dem Beispiel jedoch um eine WU-Bodenplatte handelt, wird die Rissbreite auf 0,2 mm begrenzt.

Es wird im Folgenden die erforderliche Rissbreitenbewehrung für den frühen Zwang berechnet. Dabei wird der zentrische Zug aus dem Abfließen der Hydratationswärme betrachtet. Alternativ zu dem folgenden detaillierten Nachweis kann die erforderliche Rissbreitenbewehrung aus Betonstahl berechnet werden und, wie auf Seite 35 dargestellt, mit dem Umrechnungsfaktor „1,83“ auf Combar® umgerechnet werden.

Je dicker das Bauteil ist, desto länger dauert das Abfließen der Hydratationswärme. Bei einer Querschnittsdicke von 0,5 m wird das Abfließen der Hydratationswärme zu ungefähr 4 Tagen geschätzt. Somit wird die wirksame Betonzugfestigkeit zum Zeitpunkt der Rissbildung wie folgt angenommen.

$$f_{ct,eff} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 0,7 \cdot 2,9 \text{ [N/mm}^2\text{]} = 2,03 \text{ N/mm}^2$$

Für die Rissbreitenbewehrung in einer Sohlplatte kann eine verringerte Zwangsbeanspruchung angenommen werden. Dabei wird die wirksame Betonzugspannung in Ergänzung an den EC2 und nach Empfehlungen vom „Lohmeyer Stahlbetonbau“ reduziert.

Die Spannung unter der Sohlplatte setzt sich aus dem Eigengewicht zusammen:

$$\sigma_0 = \gamma_c \cdot h - \gamma_{Combarbeton} = 1,35 \cdot 0,5 - 25 = 16,88 \text{ kN/m}^2$$

Der Reibungsbeiwert ergibt sich mit Annahme eines flügelgeglätteten Unterbetons und 2 Lagen PE-Folie zu $\mu_0 = 0,8$. Damit wird der Bemessungswert der Reibung bei der sicheren Annahme des Sicherheitsbeiwertes $\gamma_R = 1,35$ wie folgt bestimmt:

$$\mu_d = \mu_0 \cdot \gamma_R = 0,8 \cdot 1,35 = 1,08$$

Die Zugspannung unter der Sohlplatte $\sigma_{ct,d}$ darf als Zwangsschnittgröße, anstelle der wirksamen Betonzugfestigkeit $f_{ct,eff}$ angenommen werden.

$$\begin{aligned} \sigma_{ct,d} &= \frac{\gamma_{ct} \cdot \mu_d \cdot \sigma_0 \cdot L}{2 \cdot A_{ct}} \\ &= \frac{1 \cdot 1,08 \cdot 16,88 \text{ [kN/m}^2\text{]} \cdot 10 \text{ [m]}}{2 \cdot 0,5 \text{ [m}^2\text{]}} = 0,18 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Wirksame Höhe der Bewehrung

$$\begin{aligned} h_{c,ef} &= 2,5 \cdot (h - d) \leq \frac{h}{2} \\ &= 2,5 \cdot (500 - 450) \leq \frac{500}{2} = 125 \end{aligned}$$

Wirkungszone der Bewehrung $A_{c,ef} = h_{c,ef} \cdot b = 0,125 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 0,125 \text{ m}^2$

Beiwert $k_c = 1,0$ (zentrischer Zwang)

Beiwert $k = 0,98 - 6 \cdot 10^{-4} \cdot h \text{ [mm]} \leq 0,8 \geq 0,5 = 0,98 - 6 \cdot 10^{-4} \cdot 500 \text{ mm} = 0,68$

Fläche Betonzugzone unter zentrischem Zwang $A_{ct} = h \cdot b = 0,5 \text{ m} \cdot 1 \text{ [m]} = 0,5 \text{ [m}^2\text{]}$

$h/d_1 = 500/50 = 10 > 5 \rightarrow$ Dicks Bauteil

Wirkungszone der Bewehrung $h_{c,ef} = 150 \text{ mm}$ (EC2-1-1 Bild NA.7.1d)

Wirkungszone der Bewehrung $A_{c,eff} = h_{c,ef} \cdot b = 0,15 \cdot 1 = 0,15 \text{ m}^2$

Risskraft

$$\begin{aligned} F_{cr} &= A_{c,eff} \cdot f_{ct,eff} \\ &= \frac{0,15 \text{ m}^2 \cdot 2,03 \text{ [N/mm}^2\text{]}}{1000^2} = 0,054 \text{ MN} \end{aligned}$$

Stahlzugkraft $F_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} = 1,0 \cdot 0,68 \cdot 0,18 \text{ [N/mm}^2\text{]} \cdot 0,5 \text{ m}^2 \cdot 1000^2 = 0,061 \text{ MN}$

Erstrisskraft $F_s \geq F_{cr} \rightarrow$ Hohes Bauteil $\rightarrow$ Wirkungszone der Bewehrung maßgebend

Längsbewehrung auf beiden Seiten $A_{sl} = 12,06 \cdot 2 = 24,12 \text{ cm}^2/\text{m}$

Vorhandene Stabspannung

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_{sl}}$$

Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

$$= \frac{0,061 \text{ [MN]} \cdot 1.000}{24,12 \text{ cm}^2} = 25,37 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

$$= \frac{60.000}{28.300} = 2,12$$

Bewehrungsgrad

$$\rho_{\text{eff}} = \frac{A_{sl}}{A_{c,\text{eff}}}$$

$$= \frac{24,12}{0,3 \cdot 1.000^2} = 0,80 \%$$

Rissabstand

$$s_{r,\text{max}} = \frac{d_f}{2,8 \cdot \rho_{f,\text{eff}}} \leq \frac{\sigma_f \cdot d_f}{2,8 \cdot f_{ct,\text{eff}}}$$

$$= \frac{16}{2,8 \cdot 0,80 \%} \leq \frac{25,37 \cdot 16}{2,8 \cdot 0,18} = 714,3 \leq 805,4$$

Dehnungsdifferenz

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - \kappa_t \cdot \frac{f_{ct,\text{eff}}}{\rho_{p,\text{eff}}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,\text{eff}})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$= \frac{25,37 - 0,4 \cdot \frac{0,18}{0,80 \%} \cdot (1 + 2,12 \cdot 0,80 \%)}{60.000} \geq 0,6 \cdot \frac{25,37}{60.000} = 0,000270 \geq 0,000254$$

Rissbreite

$$w_k = s_{r,\text{max}} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 714,3 \cdot 0,000270$$

$$= 0,193 \text{ mm} \leq w_{\text{zul}} = 0,2 \text{ mm} \checkmark$$

Impressum

Herausgeber: Schöck Bauteile GmbH
Schöckstraße 1
76534 Baden-Baden
Telefon: 07223 967-0

Copyright:

© 2023, Schöck Bauteile GmbH

Der Inhalt dieser Druckschrift darf auch nicht auszugsweise ohne schriftliche Genehmigung der Schöck Bauteile GmbH an Dritte weitergegeben werden. Alle technischen Angaben, Zeichnungen usw. unterliegen dem Gesetz zum Schutz des Urheberrechts.

Technische Änderungen vorbehalten
Erscheinungsdatum: Oktober 2023



Schöck Bauteile GmbH
Schöckstraße 1
76534 Baden-Baden
Telefon: 07223 967-0
schoeck-de@schoeck.com
www.schoeck.com

