

Technische Information

CFK-Formgitter

Stand: November 2023

Inhalt

Von der Faser zum Bewehrungsprodukt	4
Unsere Produkte im Überblick	5
Bewehrung	5
Zubehör	5
Produktbeschreibung	6
Gittergeometrie	7
Festigkeitseigenschaften	7
Verankerungslänge	8
Produktdatenblatt für CFK-Gitter	9
Produktdatenblatt für CFK-Formgitter	11
Baupraktische Hinweise	12
Bemessungsbeispiel	13
Bewehrungszeichnung	22

Von der Faser zum Bewehrungsprodukt

Carbonfaserverstärkter Kunststoff – kurz CFK – ist ein Hochleistungswerkstoff. Er kommt bisher vor allem dort zum Einsatz, wo bei gleicher Belastbarkeit Gewicht eingespart werden soll – z.B. in der Luft- und Raumfahrt, bei Windkraftanlagen oder im Fahrzeugbau. In den letzten 20 Jahren hat sich CFK auch im Bausektor als eine ökonomische und ökologische Alternative zur herkömmlichen Stahlbewehrung durchsetzen können. Die hohe Zugfestigkeit, die Korrosionsbeständigkeit sowie die geringe Dichte der Bewehrung ermöglichen neuartige Bewehrungslösungen für das Bauen mit Beton.

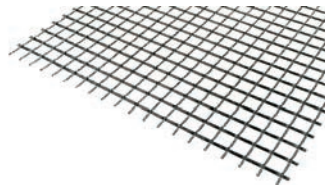
Diese technische Information beschäftigt sich mit flächigen Gittern und Formgittern aus CFK auf Basis einer thermoplastischen Kunststoffmatrix. Der Vorteil dieser Materialkombination ist offensichtlich: Die Thermoformbarkeit des Kompositmaterials ermöglicht dabei – analog zur Verarbeitung der Stahlbewehrung – aus vorgefertigten ebenen Gittern schnell und kosteneffizient bauteilspezifische Bewehrungsprofile zu formen.

Der Verarbeitungsprozess

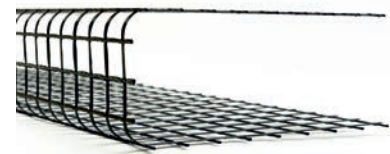
Nach ihrer Herstellung werden die Carbonfasern zum Schutz bei der weiteren Verarbeitung – wie bei technischen Fasern üblich – mit einer dünnen Beschichtung, der Schlichte versehen und zu einem Roving gebündelt auf Spulen gewickelt. Um ein geometrisch definiertes Bewehrungsprodukt zu erhalten, werden die Rovings gestreckt und mithilfe einer Nähwerktechnologie zu einem flächigen Gitter weiterverarbeitet. Die Gitter werden anschließend mit einer thermoplastischen Kunststoffmatrix beschichtet und thermisch ausgehärtet.



Carbonfaserroving auf Spule



Ebenes CFK-Gitter



CFK-Formgitter (C-Profil)

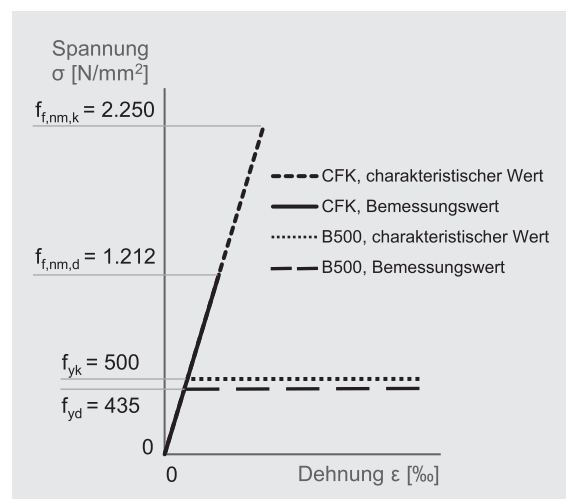
Die verwendete Matrix hat einen entscheidenden Einfluss auf das Tragverhalten der nichtmetallischen Bewehrung. Sie stellt zum einen den inneren Verbund der Fasern zueinander als auch den äußeren Verbund zum umgebenden Beton sicher. Zudem entscheidet sie über das Tragverhalten der Bewehrung unter Temperatureinfluss. Als Matrix für thermoformbare CFK-Bewehrung kommen Polymere auf Basis von Thermoplasten, u.a. wässrige acrylat- oder styrolbasierte Polymerdispersionen, zum Einsatz.

Die ebenen Gitter können in einem intern entwickelten Formgebungsverfahren zu Formprofilen weiterverarbeitet werden.

Leistungstärker als Bewehrungsstahl

Die charakteristische Zugfestigkeit von Carbonfasern ist im Vergleich zu Betonstahl vierfach größer und auch die Bemessungsfestigkeit liegt deutlich über der von konventioneller Stahlbewehrung.

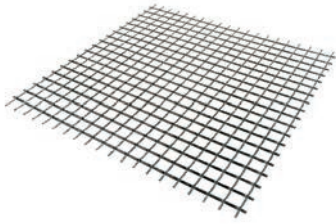
Die für die Planung und Bemessung anzusetzenden Kennwerte sind den technischen Datenblättern auf den Seiten 9 und 10 zu entnehmen. Ab Seite 13 können Sie anhand eines Beispiels die Bemessung eines Betonbauteils mit nichtmetallischer Bewehrung nachvollziehen.



Zugfestigkeit von CFK- und Stahlbewehrungen

Unsere Produkte im Überblick

Bewehrung



- Gitter als Tafel- oder Rollenware
- Breite bis zu 3 m und Längen bis zu 100 m



- Formgitter mit Schenkellängen von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern
- In allen aus dem Betonstahl üblichen Biegeformen erhältlich
- Profilformen: L, U, Z sowie Freiformen
- Profiltbreiten derzeit bis zu 2,44 m



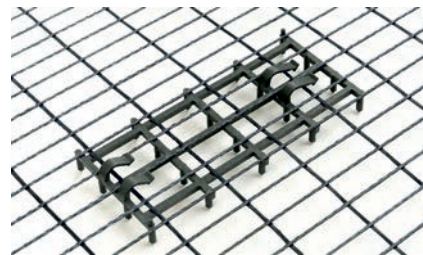
- Bewehrungskörbe und -konstruktionen aus CFK-Gittern und projektabhängig auch in Kombination mit CFK-Stäben

Zubehör

Zur Lagesicherung der Bewehrung während der Betonage bieten wir Kunststoffabstandhalter und Kunststoff-Beton-Abstandhalter in unterschiedlichen Geometrien an. Für die Verbindung einzelner Bewehrungsgitter zu nichtmetallischen Bewehrungskonstruktionen sind Kabelbinder die derzeit empfohlene Lösung. Zur Verbindung von CFK-Bewehrung mit Betonstahlbewehrungskörben muss aufgrund der möglichen Kontaktkorrosion eine entsprechende Trennschicht vorgesehen werden. Gerne beraten wir Sie zu passenden Lösungen für Ihr Projekt.



Drunterleiste aus Kunststoff



Drunterleiste aus Kunststoff



Dreikantleiste aus Faserbeton



Fügung mit Kabelbinder

Produktbeschreibung

Die Formgitter der Johne & Groß GmbH dienen als schlaaffe Bewehrung für den Einsatz in Betonbauteilen. Die Herstellung erfolgt mithilfe eines intern entwickelten Formgebungsverfahrens für nichtmetallische Bewehrung.

Das **Zugverhalten** der CFK-Gitter ist linear elastisch mit sprödem Versagen. Das Bauteilversagen im Verbundwerkstoff Carbonbeton wird durch Rissbildung und/oder hohe Durchbiegungen angekündigt.

Das **Verbundverhalten** zwischen Bewehrung und Beton kann analog zum Stahlbeton betrachtet werden und berechnet sich entsprechend den Formeln und Werten des Bemessungsbeispiels. Aufgrund der engen Gitterweite der CFK-Gitter sowie der geringen Betonüberdeckung weist das Rissbild von Betonbauteilen, die mit CFK-Gittern bewehrt sind, geringe Rissabstände und bis zu gewissen Bewehrungsspannungen sehr kleine Rissweiten auf.

Das unsachgemäße **Formen** von CFK-Gittern führt zu Schädigungen innerhalb der Bewehrungsstruktur und somit zur negativen Beeinflussung der Materialeigenschaften.

Materialverhalten/-vorteil	Anwendungsgebiete
Geringes Eigengewicht und geringe notwendige Betondeckung im Bauteil	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verstärkung, Instandsetzung und Instandhaltung von Beton- und Stahlbetonbauteilen ■ Filigrane Bauweise für wirtschaftlich effiziente und nachhaltige Neubauteile ■ Modul- und Fertigteilbau
Hohe Beständigkeit gegen Korrosion	<ul style="list-style-type: none"> ■ Für Bauteile insbesondere mit hohen Expositionsklassen für eine Lebensdauer > 100 Jahre ■ Sanierung oder Neubau von Parkhäusern, Tiefgaragen, Brückenkappen, Brückendecks und Brüstungen, Fassaden, Uferbefestigungen; Wasserbau
Hohe Beständigkeit gegen Chemikalien	<ul style="list-style-type: none"> ■ Industriefußböden und -behälter, Kläranlagen, Landwirtschaftliche Gebäude und Anlagen
Hohe Beständigkeit gegenüber Alkalien	<ul style="list-style-type: none"> ■ Anwendung in Betonen mit alternativen Bindemitteln, wie z.B. Geopolymerbeton
Leichte Zerspanbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tunnelbau, planmäßiger Rückbau

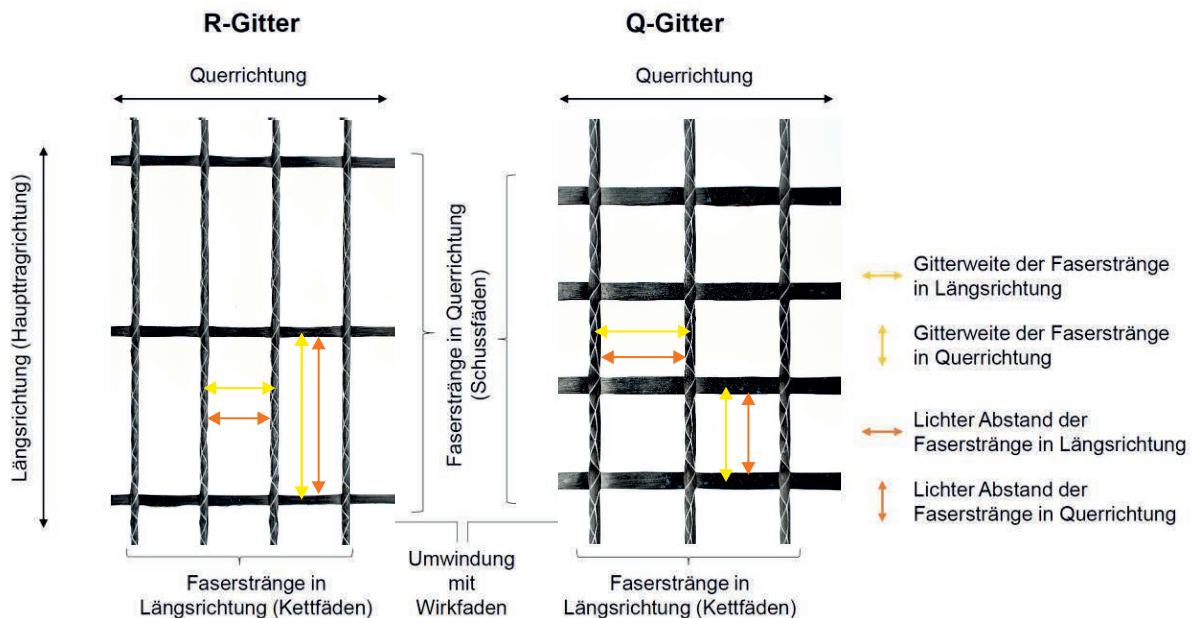
Vergleich der Materialeigenschaften der Bewehrungssysteme

Eigenschaft	Symbol	Betonstahl	CFK-Gitter
Charakteristische Zugfestigkeit	f_{yk} bzw. $f_{f, nm, k}$	550 N/mm ²	2.250 ¹⁾ N/mm ²
Bemessungswert der Zugfestigkeit (GZT) für den Neubau	f_{yd} bzw. $f_{f, nm, d}$	435 N/mm ²	1.212 N/mm ²
E-Modul	E_s bzw. $E_{f, nm}$	200.000 N/mm ²	206.667 ¹⁾ N/mm ²

¹⁾ Gemäß abZ/aBG Z-31.10-182 „CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton“ für Gitter des Typ 3

Gittergeometrie

Für die Bemessung und Bewehrungsplanung sind zum einen die Querschnittsfläche der Faserstränge in Längs- und Querrichtung sowie deren jeweiliger Abstand zueinander, die sogenannte Gitterweite, von Bedeutung. Diese Kennwerte sind für die verschiedenen Gitter im Produktdatenblatt auf Seite 10 zu finden. Die Haupttragrichtung ist an der Umwindung mit einem Wirkfaden zu erkennen. Auf Anfrage können Nennquerschnitt und Gitterweite nach Wunsch angefertigt werden.



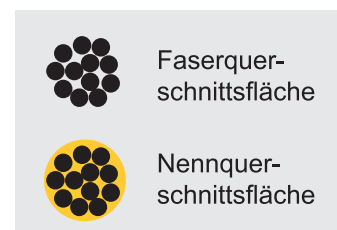
Erläuterung der Gittergeometrien von R- und Q-Gittern

Festigkeitseigenschaften

Je nach Faser- und Matrixgehalt ergibt sich die Zugtragfähigkeit eines Faserstrangs. Diese wird für die Bemessung im Bauteil speziell für jede Gitterkonfiguration ermittelt. Die in den Datenblättern angegebenen Zugfestigkeiten für die Gitter wurden im Verbund mit PAGEL TF10¹ gemäß der abZ/aBG Z-31.10-182 „CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton“ bestimmt.

Zugfestigkeit in Abhängigkeit des Bewehrungsquerschnitts

Für die Bemessung können Festigkeitswerte wie Zugfestigkeit und E-Modul sowohl auf den Kompositquerschnitt bestehend aus Fasern und Matrix (Nennquerschnitt) als auch auf die reine Faserquerschnittsfläche bezogen werden. Letzteres wird mit dem Indize f gekennzeichnet. In der Bemessung wird ein vereinfachter Faserstrangdurchmesser angesetzt, der sich aus der Faserquerschnittsfläche ergibt.



Zugfestigkeit im Umlenkbereich

Im Bereich der Umformung wird die Zugtragfähigkeit der Bewehrung beeinflusst. Es ist bekannt, dass sich die Zugbruchspannung der Faserstränge mit kleineren Biegerollendurchmessern und damit zunehmender Umlenkpressung verringert. Zur Bestimmung der anrechenbaren Zugfestigkeit umgeformter CFK-Stäbe, gibt die DAfStb-Richtlinie „Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung“ Auskunft.

Zur Ermittlung der anrechenbaren Zugfestigkeit umgeformter CFK-Gitter wird der Abminderungsbeiwert $\alpha_{D,min}$ benötigt.

¹ Der Feinbeton „TF10 CARBOrefit® Textilfeinbeton“ der Firma PAGEL wurde speziell für die Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton entwickelt.

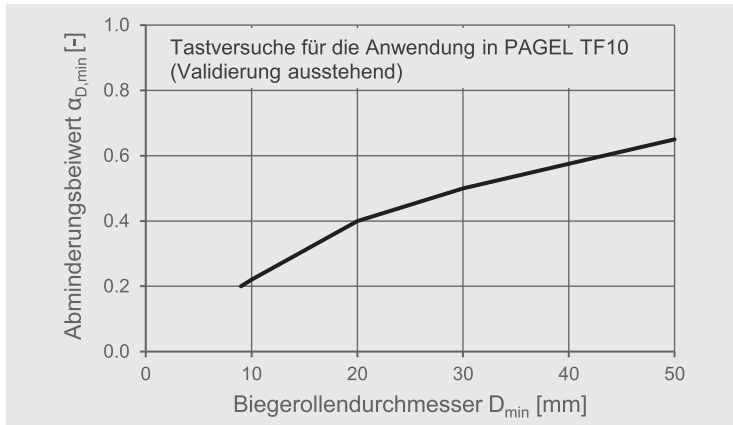
$$f_{f, nm, d} = f_{f, nm, k} \cdot \alpha_{nmt} \cdot \frac{\alpha_{D, min}}{\gamma_{nm}}$$

mit $f_{f, nm, k}$... Charakteristische Kurzzeit-Zugfestigkeit gemäß Produktdatenblatt, Seite 9

α_{nmt} ... Beiwert zur Berücksichtigung der Langzeitauswirkungen, Seite 9

γ_{nm} ... Teilsicherheitsbeiwert, Seite 9

Der Abminderungsfaktor $\alpha_{D, min}$ für die CFK-Gitter kann für eine Vorbemessung der folgenden Abbildung entnommen werden. Die Werte wurden in ersten Tastversuchen² im Verbund mit PAGEL TF10¹ gewonnen. Weitere Zugfestigkeiten der Formgitter der Johne & Groß im Verbund mit weniger festen Betonmatrixes werden derzeit ermittelt.



Abminderungsbeiwert $\alpha_{D, min}$ zur Abschätzung der anrechenbaren Zugfestigkeit umgeformter CFK-Gitter in Abhängigkeit vom Biegerollendurchmesser

Verankerungslänge

Derzeit liegen für CFK-Gitter Kennwerte im Verbund mit PAGEL TF10¹ vor. Diese dienen der Bestimmung des Grundwertes der Verankerungslänge gemäß CARBOrefit®-Zulassung Z-31.10-182. Die ausführliche Nachweisführung für die Verankerung der Bewehrung ist im Bemessungsbeispiel auf Seite 20 zu finden.

Der Grundwert der Verankerungslänge für die CFK-Gitter ergibt sich wie folgt:

$$l_{b, rqd} = \sigma_{f, nm} \cdot \frac{A_{f, nm}}{T_{nm, d}}$$

mit $\sigma_{f, nm}$... vorhandene Bewehrungsspannung im GZT

$A_{f, nm}$... Faserquerschnittsfläche eines Bewehrungsstrangs gemäß Produktdatenblatt, Seite 10

$T_{nm, d}$... Bemessungswert der Verbundfestigkeit gemäß CARBOrefit®-Zulassung Z-31.10-182

$$\text{mit } T_{nm, d} = \alpha_{T, b} \cdot \alpha_{t\infty, b} \cdot \alpha_{D, b} \cdot \frac{T_{K, nm, k}}{\gamma_{nm, b}} = 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot \frac{10 \text{ N/mm}}{1,5}$$

$$T_{nm, d} = 4,7 \text{ N/mm}$$

Erfahrungswerte für den Verbund von nichtmetallischen Bewehrungsprodukten in anderen Betonmatrixes liegen derzeit nur begrenzt vor. Es kann daher notwendig werden, die Zugtragfähigkeit und Verbundfestigkeit der Bewehrung in der gewählten Betonmatrix experimentell zu ermitteln, wobei wir Sie gern unterstützen sowie vorhandene experimentelle Daten zur Verfügung stellen können. Für diesen Fall sieht die Richtlinie „Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung“ des DAfStb Vorgaben für die entsprechenden Prüfverfahren vor.

² Die Ergebnisse stammen aus dem im Rahmen des BMBF-Programm RUBIN (Regionale unternehmerische Bündnisse für Innovation) geförderten Forschungsprojekt „Industriestandard Carbonbeton“ (ISC) und sollen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Massivbau der TU Dresden in einem umfangreichen Versuchsprogramm für unterschiedliche Betonmatrixes validiert werden.

Produktdatenblatt für CFK-Gitter

Materialien

Faser	Carbonroving mit 12K, 24K, 48K, 50K ¹⁾
Matrix	Acrylat, Polystyrol

¹⁾ Die Beschreibung der Garnstärke erfolgt anhand der Faseranzahl je Roving in Tausendereinheiten. Ein 48K-Roving besteht somit aus 48.000 Fasern.

Mechanische, physikalische und chemische Eigenschaften in Längsrichtung

Eigenschaften	Symbol	Wert	Bemerkung
Charakteristische Kurzzeit-Zugfestigkeit	$f_{f, nm, k}^3$	2.250 N/mm ²	
Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit	$f_{f, nm, d}^3$	1.212 N/mm ²	Für Neubau von Carbonbetonbauteilen bei Anwendungen bis zu 40°C
		1.300 N/mm ²	Für Sanierung mit Carbonbeton ⁴
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{nm}	1,3	Für Neubau von Carbonbetonbauteilen ⁵
		1,2	Für Sanierung mit Carbonbeton ⁴
Beiwert zur Berücksichtigung von Langzeitauswirkungen	α_{nmt}	0,7	Für Anwendungen bis zu 40°C
E-Modul	$E_{f, nm}^3$	206.667 N/mm ²	
Charakteristische Dehnung	$\epsilon_{f, nm, uk}^3$	11 ‰	
Dehnung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	$\epsilon_{f, nm, ud}^3$	5,87 ‰	
Dichte	ρ	1,78 g/cm ³	
Thermischer Längenausdehnungskoeffizient (Carbonfaserroving)	α	-1,0 10 ⁻⁶ /K	Für Fasern mit E-Modul < 300 GPa und Festigkeit bis ca. 4.000 MPa (HT-Fasern) ⁶
Wärmeleitfähigkeit (Carbonfaserroving)	λ	17 W/(mK)	⁷
Elektrischer Widerstand (Carbonfaserroving)	ρ	15 – 20 $\mu\Omega$ m	⁸
Chemische Beständigkeit	-	Sehr gut	⁶

³ Die Festigkeitswerte beziehen sich auf die reine Faserquerschnittsfläche der Bewehrung, worauf der Indize f verweist. Nähere Erläuterungen dazu finden sich auf Seite 7.

⁴ Anwendungsbereich gemäß der abZ/aBG Z-31.10-182 „CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton“

⁵ DAFStb-Richtlinie „Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung“ (Gelbdruck, November 2022)

⁶ Lengsfeld, H.; Mainka, H.; Altstädt, V.: Carbonfasern - Herstellung, Anwendung, Verarbeitung, München: Carl Hanser Verlag München, 2019, S. 47,50.

⁷ R&G Faserverbundwerkstoffe GmbH, „Faserverbundwerkstoffe Composite Technology - Kohlefasern (Carbon)“, 15. September 2022. URL: [https://www.r-g.de/wiki/Kohlefasern_\(Carbon\)](https://www.r-g.de/wiki/Kohlefasern_(Carbon)), Zugriff 10.08.2023.

⁸ Heim, D.: Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff: Faser-Matrix-Anbindung und deren Einfluss auf den Kurzfaserverbund, Dissertation 2014, Technische Universität München, Lehrstuhl für Carbon Composites.

Lagerprogramm

Länge Breite	Gitterbezeichnung ²⁾	Gitteraufbau in			Faserquerschnitt längs quer	Char. Kraftübertragung längs quer	Gewicht
		Längsrichtung		Querrichtung			
m		Gitterweite (Lichter Abstand)	Vereinfachter Faserstrang- durchmesser	Faserquerschnitts- fläche je Faserstrang			
		mm	mm	mm ²	mm ² /m	kN/m	kg/m ²
5,00 ₁₎ 3,00	Q 22 C s21 F47	21 (18) 21 (18)	0,8 0,8	0,45 0,44	22 22	47 47	0,100
	Q 31 C s28 F70	28 (25) 28 (25)	1,1 1,1	0,91 0,89	31 31	70 70	0,140
	Q 34 C s53 F76	53 (49) 53 (49)	1,5 1,5	1,79 1,79	34 34	76 76	0,155
	Q 34 C s12,7 F75	12,7 (11) 12,7(10)	0,8 0,8	0,45 0,45	35 35	75 75	0,160
	Q 48 C s37 F108	37 (34) 37 (34)	1,5 1,5	1,85 1,85	48 48	108 108	0,215
	Q 71 C s24 F160	24 (22) 24 (22)	1,5 1,5	1,81 1,81	71 71	160 160	0,295
	Q 151 C s12,7 F330	12,7 (10) 12,7 (8)	1,6 1,6	1,92 1,92	151 151	330 330	0,624
5,00 ₁₎ 3,00	R 87/18 CC s23/53 F196/40	23 (20) 53 (50)	1,5 1,1	1,81 0,9	87 18	196 40	0,245
	R 142/25 CC s13/18 F320/56³⁾	13 (10) 18 (15)	1,5 0,8	1,82 0,45	142 25	320 56	0,380
1)	Als Rollenware in bis zu $\frac{100,00}{3,00}$						
2)	<p>Bezeichnung in Anlehnung an DAfStb-Richtlinie „Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung“ (Gelbdruck)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Q 22 C s21 F47</p> <p>Gleiche Faserquerschnittsfläche und Material in Längs- und Querrichtung</p> <p>Faserquerschnittsfläche</p> <p>Fasermaterial: Carbonfasern</p> <p>Gitterweite</p> <p>Charakteristische Kraftübertragung in kN/m</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>R 87/18 CC s23/53 F196/40</p> <p>Unterschiedliche Faserquerschnittsfläche oder Material in Längs- und Querrichtung</p> <p>Faserquerschnittsfläche längs und quer</p> <p>Fasermaterial längs und quer: Carbonfasern</p> <p>Gitterweite längs und quer</p> <p>Charakteristische Kraftübertragung in kN/m längs und quer</p> </div> </div>						
3)	Gittergeometrie gemäß Typ 3 der abZ/aBG Z-31.10-182 „CARBOrefit® - Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton“						

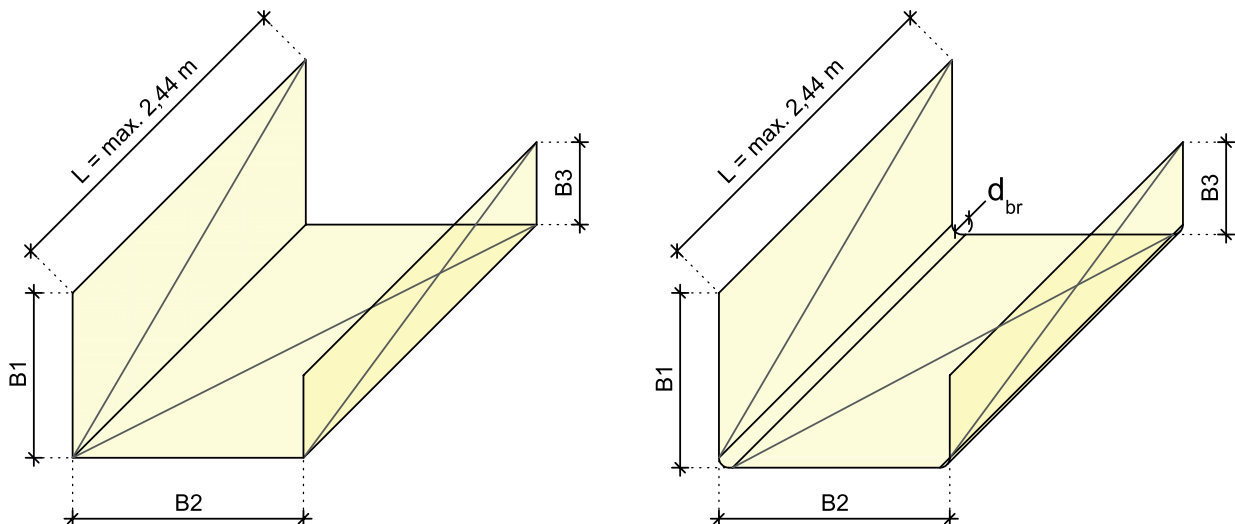
Produktdatenblatt für CFK-Formgitter

Ebene, thermoplastisch gebundene CFK-Gitter werden unter Einsatz des intern entwickelten Formgebungsverfahrens nach Ihrer Fertigung zu Formgittern weiterverarbeitet. Die gewünschten Profile können gemäß Bewehrungsplan bzw. Biegeliste produziert werden. Dieses Verfahren ermöglicht es nahezu sämtliche Bauteilformen beanspruchungsorientiert zu bewehren.

Ein statisch tragender Einsatz der nichtmetallischen Formbewehrung ist noch nicht zulassungsseitig reglementiert. Er bedarf gegebenenfalls einer Zustimmung im Einzelfall, wozu wir vorhandene experimentelle Daten zur Verfügung stellen bzw. bei der Erlangung Weiterer unterstützen können.

Nichtmetallische Formbewehrung ist in allen aus dem Betonstahl bekannten Biegeformen erhältlich. Die maximale Gitterbreite beträgt 2,44 m. Die Schenkellängen können von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern betragen. Umformungen in zwei Richtungen sind möglich. Es können sowohl Faserstränge in Längs- als auch in Querrichtung umgeformt werden.

Wie bereits auf den Seiten 7 und 8 erörtert, reduziert sich die ansetzbare Tragfähigkeit im Umformbereich mit abnehmendem Biegerollendurchmesser. Zur Übertragung einer größtmöglichen Kraft empfehlen wir einen Mindestbiegerollendurchmesser von 30 mm.



Leistungsverzeichnis

Eine standardisierte Bewehrungsfertigung nach LV wird derzeit erarbeitet. Für aktuelle Informationen besuchen Sie bitte unsere Website unter <https://www.jgg-stahl.de/>.

Baupraktische Hinweise

Lagerung und Transport	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ebene Gitter: als Tafelware auf Palette oder Rollenware ■ Formgitter: Versand als Paket für Längen von bis zu 1,20 m; größere Elemente mit stoßfester Umrahmung auf Palette ■ Bei Lagerung im Freien gegen Witterungseinflüsse, insbesondere UV-Strahlung, schützen ■ Material ist vor Querdruck zu schützen ■ Betreten der Bewehrung kann zur Schädigung führen
Zuschnitt	<ul style="list-style-type: none"> ■ Manuell mit Trennschleifer mit Diamant- oder Hartmetall-Blatt ■ Tafelschere für Metallbleche ■ Schutz/ Abschirmung elektronischer Geräte von dem beim Zuschnitt entstehenden Carbonfaserstaub wird empfohlen
Formen & Biegen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Formgitter werden ausschließlich im Werk hergestellt und auf die Baustelle bzw. ins Fertigteilwerk geliefert ■ Formgebung auf der Baustelle bzw. im Fertigteilwerk ohne entsprechende Verfahren derzeit nicht möglich ■ Bewehrungen können im elastischen Bereich gebogen werden
Abstandhalter & Verbindungsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verwendung handelsüblicher Abstandhalter aus Kunststoff oder auf Faserbeton/Kunststoff-Basis möglich (siehe Seite 5) ■ Entsprechend der Steifigkeit der Bewehrungskonstruktion müssen Abstandhalter alle 10 bis 30 cm platziert werden ■ Bei waagerechter Lage einer ebenen Bewehrung im Gießverfahren sind deutlich mehr Abstandhalter vorzusehen, um ein Aufschwimmen der Bewehrung zu vermeiden ■ Beim Laminieren oder Spritzen kann auf Abstandhalter verzichtet werden ■ Zur Verbindung der Bewehrungsgitter miteinander oder zur Fixierung der Abstandhalter am Gitter eignen sich Kabelbinder ■ Beim Verbinden der Gitter ist darauf zu achten, die Faserstränge der einzelnen Lagen möglichst übereinander anzuordnen
Begeh- und Befahrbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ Betreten der Bewehrung kann zur Schädigung führen ■ Befahren mit Fahrzeugen oder Geräten ist verboten
Arbeitsschutz	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schutzmaßnahmen bei Handling und Zuschnitt: Handschuhe und Atemschutz⁹
Entsorgung & Recycling	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Einführung von Abfallschlüsselnummern für CFK und Carbonbeton ist derzeit in Bearbeitung¹⁰
Begrenzung des Größtkorns	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wahl des Größtkorndurchmessers d_g entsprechend der Betondeckung sowie in Abhängigkeit des lichten Abstands s_l der Faserstränge eines Gitters, es gilt u.a. $s_l \geq 3 d_g$ für den lichten Abstand der Faserstränge im Gitter und $a \geq 1,5 d_g$ für den lichten Abstand zwischen Bewehrungslagen

⁹ Gemäß DGUV-Information FB HM-074 „Bearbeitung von CFK-Materialien – Orientierungshilfe für Schutzmaßnahmen“, 10/2014.

¹⁰ Entsorgung faserhaltiger Abfälle: Abschlussbericht der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Juli 2019, Berlin, URL: https://www.laga-online.de/documents/bericht-laga-ausschuss-entsorgung-faserhaltige-abfaelle_juli-2019_1574075541.pdf, Zugriff 21.08.2023.

Bemessungsbeispiel

1 Einleitung

Für Neubauteile aus Carbonbeton wird 2023 die Richtlinie „Bauteile mit nichtmetallischer Bewehrung“ des DAfStb im Weißdruck veröffentlicht. Diese Richtlinie wird die Anwendung von Carbon-, Glas- oder Basaltbewehrung als Bewehrung für Beton erleichtern und gibt in Ergänzung zur DIN EN 1992-1-1 die zur Bemessung notwendigen Informationen und Vorgaben. Die Richtlinie ist material- und herstellerunabhängig formuliert worden. Die jeweiligen Materialkennwerte müssen zusätzlichen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der Hersteller entnommen werden. Die vorangestellte technische Information stellt eine Vorstufe dieser notwendigen Zusatzinformation dar. Aktuelle Informationen finden Sie auf unserer Website unter <https://www.jgg-stahl.de>.

Das Beispiel soll helfen, Hürden bei der Bemessung und Dimensionierung von Betonbauteilen mit nichtmetallischer Bewehrung herabzusetzen.

Aktuelle Webinare zur Bemessung von Carbonbetonbauteilen finden Sie unter <https://carbon-concrete.org/c3/c3academy/>.

1.1 Haftungsausschluss

Die auf dem Markt vorhandenen nichtmetallischen Bewehrungsmaterialien sind zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokumentes noch nicht gemäß der Richtlinie geprüft worden und ihre Material- und Festigkeitseigenschaften weichen daher in Teilen von den Vorgaben der Richtlinie ab. Vorhandene Abweichungen, z.B. hinsichtlich der Verbundfestigkeit im Beton, können jedoch mit den Kennwerten und Bemessungsgrundlagen der CARBOrefit®-Zulassung ergänzt werden. Es wird an den entsprechenden Stellen im Beispiel darauf hingewiesen.

Die Beurteilung der Tragfähigkeit statisch relevanter Bauteile durch Hinzuziehen von Baubehörden, Prüfstatikern oder Gutachter kann – vor allem bei Bauteilen, die durch ihre Tragfunktion eine Gefahr für Leib und Leben darstellen können – erforderlich werden.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehlerfreiheit gegeben.

1.2 Allgemeine Informationen

Folgendes Beispiel umfasst die Bemessung einer einachsig gespannten Platte als Einfeldträger auf zwei Stützen auf Basis des aktuell veröffentlichten Gelbdrucks der DAfStb-Richtlinie „Bauteile mit nichtmetallischer Bewehrung“ in Ergänzung der Materialkennwerte aus der abZ Z-31.10-182 „CARBOrefit® – Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton“.

Die im Bemessungsbeispiel beurteilte Platte dient im Nutzungszustand als Deckenplatte über dem Erdgeschoss. Die Lasten werden vereinfacht angenommen und resultieren aus dem Eigengewicht der Platte und dem Aufbau sowie einer Nutzlast.

2 Material

2.1 Beton

- Normalbeton nach DIN EN 206-1
- Betongüte C50/60
- Größtkorn $d_g = 8 \text{ mm}$

2.2 Bewehrung

- Q 48 C s37 F108
- 3 Lagen mit einer Faserquerschnittsfläche von jeweils $a_{f, nm} = 48 \text{ mm}^2/\text{m}$

Gesamt-Faserquerschnittsfläche aller Lagen der Längsbewehrung je Meter

$$A_{f, nm, vorh} = 3 \cdot a_{f, nm} = 3 \cdot 48 \text{ mm}^2/\text{m} = 144 \text{ mm}^2/\text{m} = 1,44 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Festigkeitswerte für die Bemessung

Bemessung im GZT

$$f_{f, nm, d} = \alpha_{nmt} \cdot \frac{f_{f, nm, k}}{\gamma_{nm}}$$

mit Charakteristische Kurzzeitzugfestigkeit laut technischem Datenblatt, Seite 9

$$f_{f, nm, k} = 2.250 \text{ N/mm}^2$$

Beiwert zur Berücksichtigung von Langzeitauswirkungen¹¹, Seite 9

$$\alpha_{nmt} = \alpha_{T,t} \cdot \alpha_{t\infty,t} \cdot \alpha_{D,t} = 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 = 0,7$$

Teilsicherheitsbeiwert der nichtmetallischen Bewehrung im GZT, Seite 9

$$\gamma_{nm} = 1,3$$

$$f_{f, nm, d} = 0,7 \cdot \frac{2.250 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 1.212 \text{ N/mm}^2$$

Bemessung im GZG

Teilsicherheitsbeiwert der nichtmetallischen Bewehrung im GZG

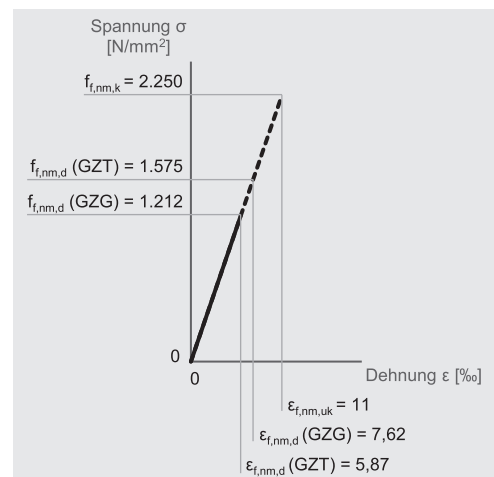
$$\gamma_{nm} = 1,0$$

$$f_{f, nm, d} = 0,7 \cdot \frac{2.250 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 1.575 \text{ N/mm}^2$$

Modellierung der Bewehrung

Laut DAfStb-Richtlinie werden die Festigkeitswerte der nichtmetallischen Bewehrung auf den Nennquerschnitt bezogen, dabei handelt es sich um den Kompositquerschnitt bestehend aus Filamenten und Matrix, der vereinfacht als Kreisquerschnittsfläche angenommen wird.

Für die Faserstränge von Bewehrungsgittern ist es derzeit üblich, die Festigkeitswerte auf die reine Faserquerschnittsfläche zu beziehen. Gekennzeichnet wird dies mit dem Indize f. Die in den technischen Datenblättern gegebenen Festigkeitswerte sind ebenfalls auf die reine Faserquerschnittsfläche bezogen. Siehe hierzu auch Seite 7.



Zugfestigkeit der CFK-Bewehrung für die Bemessung

3 Lastannahmen

Lasten nach DIN EN 1991-1-1

- Eigengewicht der Decke: $g_{k,1} = 4,5 \text{ kN/m}^2$
- Ausbaulast: $g_{k,2} = 1,0 \text{ kN/m}^2$
- Verkehrslast: $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

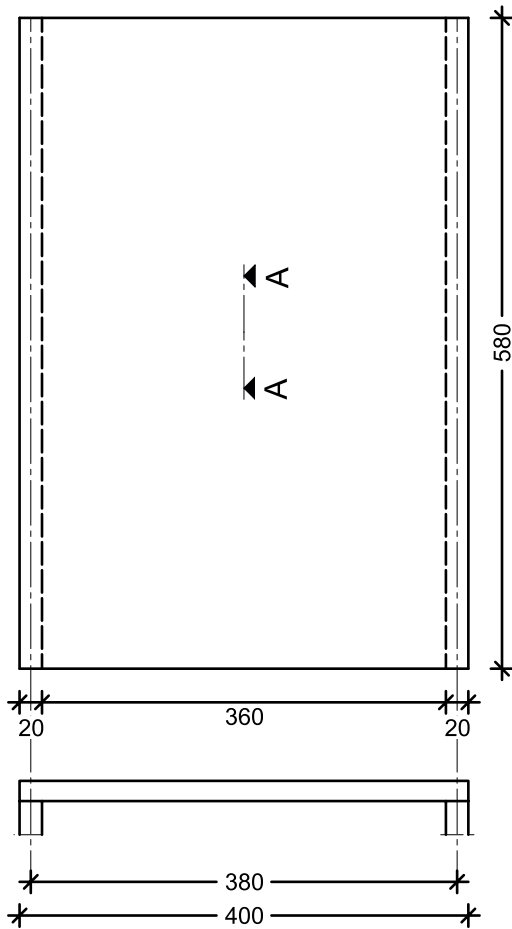
Transport- und Montagezustände, Aussteifung, ergänzende Nutzlasten sowie außergewöhnliche Einwirkungen wie z.B. Erdbeben sind nicht Gegenstand dieses Bemessungsbeispiels.

¹¹ gemäß abZ/aBG Z-31.10-182 für die Anwendung in Innenbauteilen bei einer Maximaltemperatur bis 40°C und einer relativen Luftfeuchte von bis zu 65 %

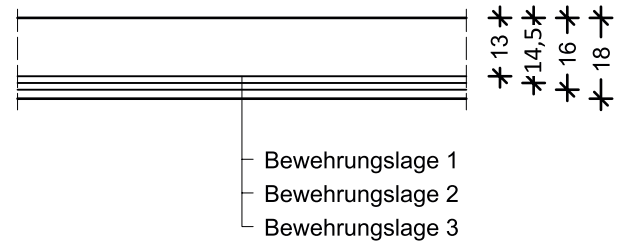
4. Statisches System

4.1 Allgemeine Informationen & Geometrie

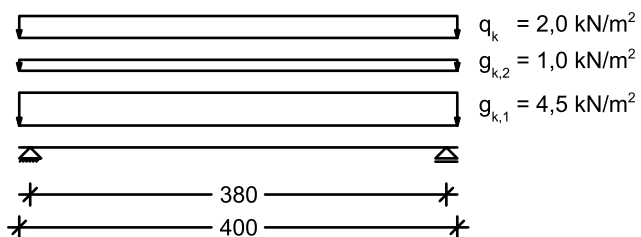
Draufsicht Decke mit Darstellung der Auflager



Schnitt A-A durch 1 Meter Plattenstreifen



4.2 Lastanordnung



4.3 Statische Nutzhöhe der Bewehrung

Mindestbetondeckung

$$c_{min} = \max(5 \text{ mm}; 1,5 \cdot d_g; c_{min,b}) = \max(5 \text{ mm}; 1,5 \cdot 8 \text{ mm}; 5 \text{ mm}^{12}) = 12 \text{ mm}$$

$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$ für Herstellung unter entsprechender Qualitätskontrolle

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 12 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 17 \text{ mm}$$

¹² Mindestbetondeckung aus Verbundanforderung gemäß abZ/aBG Z31.10-182

Gewählt zur Ausführung mit marktüblichen Abstandhaltern:

$$c_{nom} = 20 \text{ mm}$$

Lage der Bewehrung

$$d_1 = 13 \text{ cm}$$

$$d_2 = 14,5 \text{ cm}$$

$$d_3 = 16 \text{ cm}$$

Statische Nutzhöhe

Für $d > 60 \text{ mm}$ gilt:

$$d = 14,5 \text{ cm}$$

5 Schnittgrößenermittlung

5.1 Bemessungsschnittgrößen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Grundkombination

$$m_{Ed} = \frac{(1,35 \cdot (4,5 \text{ kN/m} + 1,0 \text{ kN/m}) + 1,5 \cdot 2,0 \text{ kN/m}) \cdot (3,8 \text{ m})^2}{8}$$

$$m_{Ed} = 18,8 \text{ kNm/m}$$

$$v_{Ed} = \frac{4 \cdot 18,8 \text{ kNm/m}}{3,8 \text{ m}}$$

$$v_{Ed} = 19,8 \text{ kN/m}$$

5.2 Bemessungsschnittgrößen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Charakteristische Kombination (Seltene Kombination)

$$m_{Ed,rare} = \frac{(4,5 \text{ kN/m} + 1,0 \text{ kN/m} + 2,0 \text{ kN/m}) \cdot (3,8 \text{ m})^2}{8}$$

$$m_{Ed,rare} = 13,5 \text{ kNm/m}$$

Quasi-ständige Kombination

$$m_{Ed,perm} = \frac{(4,5 \text{ kN/m} + 1,0 \text{ kN/m} + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}) \cdot (3,8 \text{ m})^2}{8}$$

$$m_{Ed,perm} = 11,0 \text{ kNm/m}$$

6 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

6.1 Biegung

Widerstandsmoment (bestimmt in INCA2¹³)

$$m_{Rd} = 24,4 \text{ kNm/m}$$

Nachweis auf Biegung

$$\frac{m_{Ed}}{m_{Rd}} = \frac{18,8 \text{ kNm/m}}{24,4 \text{ kNm/m}} = 0,77 < 1,0 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

¹³ Materialmodelle der CFK-Gitter für die Bemessung in INCA2 sowohl im GZT als auch GZG finden Sie auf unserer Website unter <https://www.jgg-stahl.de/produkte/downloads/>

6.1.1 Gewährleistung eines duktilen Bauteilversagens

Rissmoment

$$m_{cr} = W_u \cdot f_{ctm}$$

mit $f_{ctm}(C50/60) = 0,41 \text{ kN/cm}^2$

Widerstandsmoment

$$W_u = \frac{h^2}{6} = \frac{100 \text{ cm/m} \cdot (18 \text{ cm})^2}{6} = 5.400 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$m_{cr} = 5.400 \text{ cm}^3/\text{m} \cdot 0,41 \text{ kN/cm}^2 = 22,1 \text{ kNm/m}$$

Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilversagens

$$A_{f, nm, min} = \frac{m_{cr}}{f_{f, nm, d} \cdot z} = \frac{22,1 \text{ kNm/m}}{1.212 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 0,145 \text{ m}} = 140 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Nachweis der Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilversagens

$$A_{f, nm, vorh} = 144 \text{ mm}^2/\text{m} \text{ siehe 2.2, Seite 13}$$

$$A_{f, nm, vorh} = 144 \text{ mm}^2/\text{m} > A_{f, nm, min} = 140 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

6.2 Querkraft

Querkraftwiderstand

$$v_{Rd} = v_{Rd, c} + v_{Rd, nm} \leq v_{Rd, max}$$

Grundsätzlich sind CFK-Gitter für den Einsatz als Querkraftbewehrung geeignet und können nach dem Stand der Forschung analog zu CFK-Stäben bemessen und eingesetzt werden^{14,15}, jedoch ist dies derzeit nicht normativ geregelt. Laut DAfStb-Richtlinie dürfen nur stabförmige nichtmetallische Bewehrungen als Querkraftbewehrung angesetzt werden. Der Traganteil der Bewehrung $v_{Rd, nm}$ wird daher für Gitter nicht berücksichtigt.

Querkraftwiderstand eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung

$$v_{Rd, c} = \left[C_{Rd, c} \cdot k \cdot k_\lambda \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \left(\frac{E_{f, nm}}{E_s} \right) \cdot f_{ck} \right)^{1/3} \right] \cdot b_w \cdot d$$

mit $C_{Rd, c} = \frac{0,155}{\gamma_c} = \frac{0,155}{1,5} = 0,10$

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{d}{200}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{145 \text{ mm}}{200}}} = 0,76$$

Schubslankheit:

$$\lambda = \frac{M_{Ed, max}}{V_{Ed, max} \cdot d} = \frac{18,8 \text{ kNm}}{19,8 \text{ kN} \cdot 0,145 \text{ m}} = 6,55$$

Schubslankheitsfaktor:

$$k_\lambda = 1 + 2,824 \cdot e^{\left(\frac{\lambda}{4,538} \right)} = 1 + 2,824 \cdot e^{\left(\frac{6,55}{4,538} \right)} = 1,67$$

Längsbewehrungsgrad:

¹⁴Bielak, J.; Hegger, J.: Enhancing shear capacity of thin slabs with CFRP shear reinforcement: Experimental study, in: Structural Concrete 22, (2021).

¹⁵ Bielak, J.; Schöneberg, J.; Classen, M.; Hegger, J.: Shear capacity of continuous concrete slabs with CFRP reinforcement, in: Construction and Building Materials 320, (2022).

$$\rho_l = \frac{A_{f, nm}}{b_w \cdot d} = \frac{1,44 \text{ cm}^2}{100 \text{ cm} \cdot 14,5 \text{ cm}} = 0,001 \leq 0,02$$

$$v_{RD,c} = \left[0,10 \cdot 0,76 \cdot 1,67 \cdot \left(100 \cdot 0,001 \cdot \left(\frac{206,667 \text{ N/mm}^2}{200,000 \text{ N/mm}^2} \right) \cdot 50 \text{ N/mm}^2 \right)^{1/3} \right] \cdot 1.000 \text{ mm} \cdot 145 \text{ mm}$$

$$v_{RD,c} = 32,8 \text{ kN/m}$$

Begrenzung der einwirkenden Querkraft

$$v_{Ed} \leq 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot v_1 \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 1.000 \text{ mm} \cdot 145 \text{ mm} \cdot 0,35 \cdot 28,3 \text{ N/mm}^2 = 719,0 \text{ kN/m}$$

$$v_{Ed} = 19,8 \text{ kN/m} < 719,0 \text{ kN/m}$$

Nachweis auf Querkraft

$$\frac{v_{Ed}}{v_{RD}} = \frac{19,8 \text{ kNm/m}}{32,8 \text{ kNm/m}} = 0,60 < 1,0 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

7.1 Begrenzung der Spannungen, Rissbreiten und Verformungen

7.1.1 Begrenzung der Spannungen

Begrenzung der Druckspannung unter quasi-ständiger Einwirkungskombination

$$\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 50 \text{ N/mm}^2 = 22,5 \text{ N/mm}^2 \text{ für lineares Kriechen}$$

Begrenzung der Zugspannung in der Bewehrung unter seltener Einwirkungskombination

$$\sigma_{nm} \leq 0,8 \cdot f_{nm,d} = 0,8 \cdot 1.212 \text{ N/mm}^2 = 969,6 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der vorhandenen Spannung unter quasi-ständiger Einwirkung (Spannungen bestimmt in INCA2¹⁶)

$$\sigma_c = 10,3 \text{ N/mm}^2 < 22,5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der vorhandenen Spannung unter seltener Einwirkungskombination (Spannungen bestimmt in INCA2¹⁶)

$$\sigma_{nm} = 663,0 \text{ N/mm}^2 < 969,6 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

7.1.2 Begrenzung der Rissbreiten

Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite

$$A_{f, nm, min} = \frac{1}{\sigma_{nm}} \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct, eff} \cdot A_{ct}$$

mit $\sigma_{nm} = f_{f, nm, d} = 1.212 \text{ N/mm}^2$ siehe 2.2, Seite 14

$$k = 0,8 \text{ für } h < 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct, eff} = f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$$

Beiwert der Spannungsverteilung

$$k_c = 0,4 \cdot \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot (h/h^*) \cdot f_{ct, eff}} \right] \leq 1$$

mit $\sigma_c = 0$, da keine Normalkraft

$$k_c = 0,4$$

¹⁶ Materialmodelle der CFK-Gitter für die Bemessung in INCA2 sowohl im GZT als auch GZG finden Sie auf unserer Website unter <https://www.jgg-stahl.de/produkte/downloads/>

$$A_{ct} = 0,5 \cdot h \cdot b = 0,5 \cdot 18 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 900 \text{ cm}^2$$

$$A_{f, nm, min} = \frac{1}{1,212 \text{ N/mm}^2} \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 4,1 \text{ N/mm}^2 \cdot 900 \text{ cm}^2 = 98 \text{ mm}^2$$

Nachweis der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite

$$A_{f, nm, vorh} = 1,44 \text{ cm}^2 > A_{f, nm, min} = 98 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

7.1.3 Begrenzung der Verformungen

Nachweis des Zustands I

Für Ermittlung des Rissmoments siehe 6.1.1, Seite 17

$$m_{cr} = 22,1 \text{ kNm/m} > m_{Ed, rare} = 13,5 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Für die Verformungsberechnung kann somit vom Zustand I ausgegangen werden.

Zulässige Durchbiegung

$$w_{zul} = \frac{l_{eff}}{250} = \frac{3,80 \text{ m}}{250} = 1,5 \text{ cm}$$

Vorhandene Durchbiegung

$$w_{vorh} = \frac{q \cdot l_{eff}^4}{76,8 \cdot E_c \cdot I}$$

mit Charakteristische Einwirkungen

$$q = g_{k,1} + g_{k,2} + q_k = 7,5 \text{ kN/m}$$

Flächenträgheitsmoment

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = 48,600 \text{ cm}^4$$

$$w_{vorh} = \frac{7,5 \text{ kN/m} \cdot (3,8 \text{ m})^4}{76,8 \cdot 37.000 \text{ N/mm}^2 \cdot 48,600 \text{ cm}^4} = 0,12 \text{ cm}$$

Nachweis der Durchbiegung

$$w_{vorh} = 0,12 \text{ cm} < w_{zul} = 1,5 \text{ cm} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Verformungen infolge Kriechen und anderer Langzeiteffekte sind nicht Teil dieses Bemessungsbeispiels.

8 Bewehrungsregeln

8.1 Abstände von Fasersträngen

Lichter Abstand der Faserstränge bei Gittern

$$s_l \geq 3 \cdot d_g = 3 \cdot 8 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$$

Nachweis des lichten Abstands der gewählten Gittergeometrien

Für Feldbewehrung, Eck- und Randbewehrung siehe 9.3 und 9.5, Seite 21

$$s_l(Q 48 C s37 F108) = 34 \text{ mm} > 24 \text{ mm} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Für Abreißbewehrung siehe 9.4, Seite 21

$$s_l(Q 31 C s28 F70) = 25 \text{ mm} > 24 \text{ mm} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

8.2 Stöße von Gittern

Mindestwert der Übergreifungslänge

$$l_{0,min} \geq \max(3 \cdot s; 15 \cdot \Phi) = \max(3 \cdot 37 \text{ mm}; 15 \cdot 1,5 \text{ mm}) = 111 \text{ mm}$$

Nachweis der Übergreifungslänge für Stöße in Querrichtung

$$l_0 = 150 \text{ mm} > 111 \text{ mm} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

9 Konstruktionsregeln

9.1 Verankerung der Längsbewehrung am Auflager

Verankerung der unteren Bewehrung an Endauflagern

Versatzmaß

$$a_l = d = 14,5 \text{ cm}$$

Randzugkraft je Meter

$$F_{Ed} = |V_{Ed}| \cdot \frac{a_l}{z} + N_{Ed} = 19,8 \text{ kN} \cdot \frac{0,145 \text{ m}}{0,145 \text{ m}} + 0 \text{ kN} = 19,8 \text{ kN}$$

Erforderliche Bewehrung

$$A_{f, nm, erf} = \frac{F_{Ed}}{f_{f, nm, d}} = \frac{19,8 \text{ kN}}{1.212 \text{ N/mm}^2} = 16,4 \text{ mm}^2$$

Vorhandene Bewehrung je Meter siehe 2.2, Seite 13

$$A_{f, nm, vorh} = 144 \text{ mm}^2$$

Vorhandene Bewehrungsspannung im GZT

$$\sigma_{f, nm} = f_{f, nm, d} \cdot \frac{A_{f, nm, erf}}{A_{f, nm, vorh}} = 1.212 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{16,4 \text{ mm}^2}{144 \text{ mm}^2} = 138,0 \text{ N/mm}^2$$

Grundwert der Verankerungslänge (siehe Produktbeschreibung auf Seite 8)

$$l_{b, rqd} = \sigma_{f, nm} \cdot \frac{A_{f, nm}}{T_{nm, d}} = 138,0 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{1,85 \text{ mm}^2}{4,7 \text{ N/mm}} = 54,3 \text{ mm}$$

Bemessungswert der Verankerungslänge

$$l_{bd} = l_{b, rqd} = 54,3 \text{ mm} \geq l_{b, min} = 100 \text{ mm}^{17}$$

$$l_{bd} = l_{b, min} = 100 \text{ mm}$$

Nachweis der Verankerungslänge

$$l_{b, vorh} = 20 \text{ cm} - c_v = 20 \text{ cm} - 2 \text{ cm} = 180 \text{ mm}$$

$$l_{b, vorh} = 180 \text{ mm} > l_{bd} = 100 \text{ mm} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

9.2 Querbewehrung

Charakteristischer Wert und Bemessungswert der Zugkraft in Längs- und Querrichtung (Kett- und Schussrichtung) für Q 48 C s37 F108

$$F_{Sf, nm, k} = F_{Kf, nm, k} = 108 \text{ kN}$$

¹⁷ Mindestverankerungslänge gemäß abZ/aBG Z31.10-182

$$F_{Sf, nm, d} = F_{Kf, nm, d} = \alpha_{nmt} \cdot \frac{F_{Kf, nm, k}}{\gamma_{nm}} = 0,7 \cdot \frac{108 \text{ kN}}{1,3}$$

$$F_{Sf, nm, d} = 58,2 \text{ kN}$$

Nachweis der Bemessungszugkraft der Querbewehrung

$$F_{Sf, nm, d} = 58,2 \text{ kN} > 0,2 \cdot F_{Kf, nm, d} = 0,2 \cdot 58,2 \text{ kN} = 11,6 \text{ kN} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

9.3 Eckbewehrung

Pos. 2: 4 x Q 48 C s37 F108 – 1,14 m x 1,14 m

Nachweis der Verankerung der Eckbewehrung

$$l_{Pos,2} = 1,14 \text{ m} \geq 0,3 \cdot l_{eff} = 0,3 \cdot 3,80 \text{ m} = 1,14 \text{ m} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

9.4 Abreißbewehrung

Pos. 3: 2 x Q 31 C s28 F70 – 0,80 m x 3,00 m

Pos. 4: 2 x Q 31 C s28 F70 – 0,80 m x 0,95 m

Pos. 5: 4 x Q 48 C s37 F108 – 0,80 m x 2,06 m mit Aussparung in der oberen Bewehrungslage von 0,40 m x 0,97 m (Pos. 5 wird mit der Randbewehrung unter 9.5 kombiniert)

Bemessungswert der Zugkraft der Abreißbewehrung in Längsrichtung

$$F_{Kf, nm, d} = \alpha_{nmt} \cdot \frac{F_{Kf, nm, k}}{\gamma_{nm}} = 0,7 \cdot \frac{70 \text{ kN}}{1,3}$$

$$F_{Kf, nm, d} = 37,6 \text{ kN}$$

Nachweis des Bewehrungsgrads der Abreißbewehrung

$$\frac{F_{Kf, nm, d}(\text{Q 31 C s28 F70})}{F_{Kf, nm, d}(\text{Q 48 C s37 F108})} = \frac{37,6 \text{ kN}}{58,2 \text{ kN}} = 0,65 > 0,25 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Verankerung der Abreißbewehrung

$$l_{Pos,3/4/5} = 0,80 \text{ m} \geq 0,2 \cdot l_{eff} = 0,2 \cdot 3,80 \text{ m} = 0,76 \text{ m} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

9.5 Randbewehrung

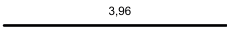
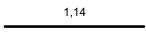
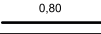
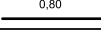

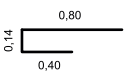
Die Randbewehrung wird als Erweiterung der Abreißbewehrung aus Pos. 5 unter 9.4 ausgeführt.

Pos. 5: 4 x Q 48 C s37 F108 als C-Profil – 0,80 m (0,40 m) x 0,14 m x 0,40 m, Profilbreite 2,06 m

Nachweis der Verankerung der Randbewehrung

$$l_{Pos,5} = 0,40 \text{ m} > 2 \cdot h = 2 \cdot 0,18 \text{ m} = 0,36 \text{ m} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Biegeliste

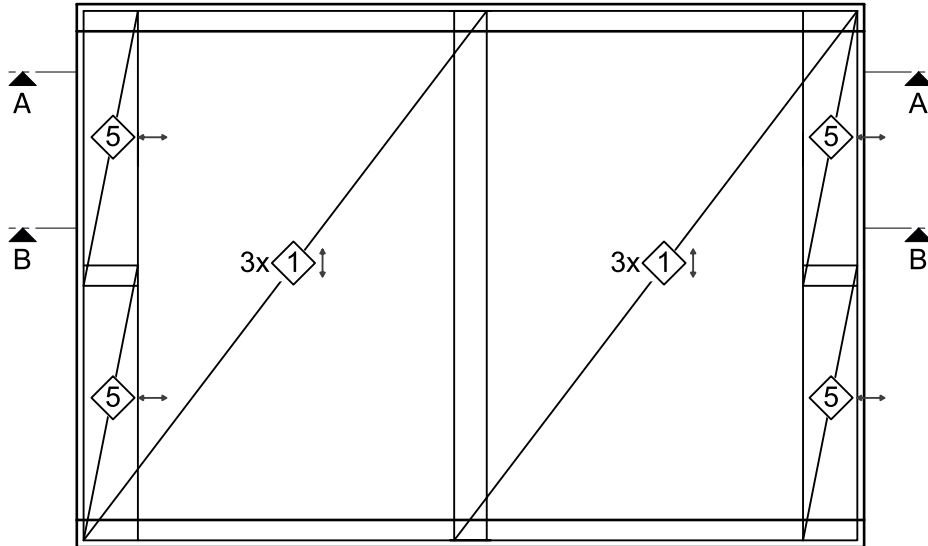
Pos.	Stk.	Einzellänge [m]	Bemaßte Biegeform (unmaßstäblich)	Gesamtlänge [m]	Breite [m]
1	6	3,96		23,76	3,00
2	4	1,14		4,56	1,14
3	2	0,80		1,60	3,00
4	2	0,80		1,60	0,95
5A-A	4	0,94		3,76	0,97
5B-B		1,34		5,36	1,09

Pos.	Bewehrungsmaterial
1,2,5	Q 48 C s37 F108
3,4	Q 31 C s28 F70

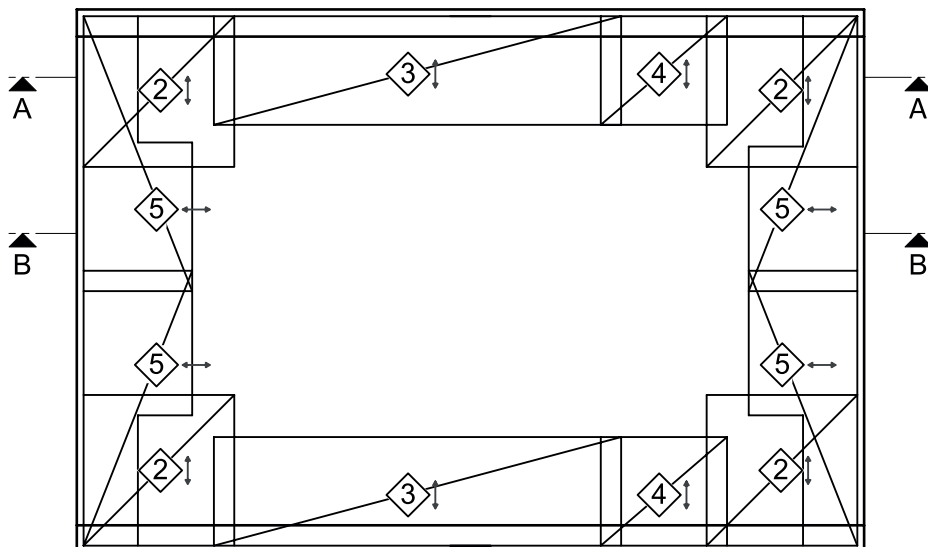
Bewehrungszeichnung

Nicht maßstäblich | Pfeile geben Längsrichtung der Gitter an
 Maßnahmen zur Lagesicherung, Einhaltung der Betondeckung sowie die Betonage sind Teil der Ausführungsplanung.

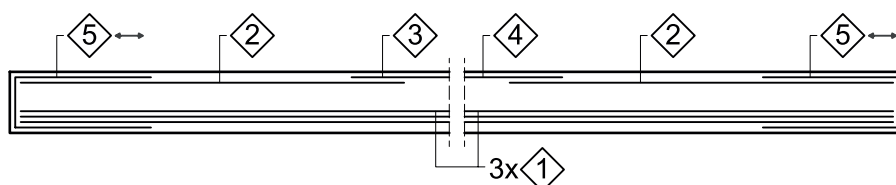
Untere Bewehrungslage



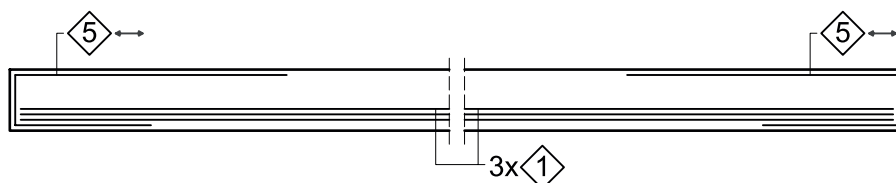
Obere Bewehrungslage



Schnitt A-A



Schnitt B-B



Impressum

Herausgeber: Johne & Groß GmbH
Kamenzer Straße 18
01936 Schwepnitz
Telefon: 035797 7095-0
Telefax: 035797 7095-10
info@johne-gross-gmbh.de
www.jgg-stahl.de



Johne & Groß GmbH

Autorin: Bianka Kupfernagel

Bildnachweis: Die Figuren und Fotos stammen von der Johne & Groß GmbH.

Satz und

Layout: Marketingberatung Bodo Broeker, www.marketingberatung-bb.de

Ausgabe: November 2023, 1. Auflage

Planungs- und Beratungsservice

Wir stehen Ihnen von Beginn an zur Seite. Unsere Ingenieure beraten Sie gerne zu jeder Fragestellung rund um nichtmetallische Bewehrungen und übernehmen auf Wunsch auch die Bemessung und Bewehrungsplanung.

Technische Projektleitung

Dr.-Ing. Tilo Senckpiel-Peters

Telefon: +49 151 16159851

E-Mail: t.senckpiel-peters@johne-gross-gmbh.de

Publikationen als pdf & Download von Planungshilfen

<https://www.jgg-stahl.de/produkte/downloads/>



Abbildung: CFK-Formgitter (C-Profil)



Hier gelangen Sie zu unserem Downloadbereich.