



Dimensionierung von Flächensteckungen mit CFK-Stäben

Dr.-Ing. Herbert Funke

Kohlefaserstäbe, kurz CFK-Stäbe, eignen sich in besonderer Weise zur Verbindung von Tragflügelsteckungen von Flugmodellen. Im Vergleich zu Flächensteckungen aus Stahl sind CFK-Stäbe um den Faktor 5 leichter. Im Vergleich zu Alurohrsteckungen weisen Flächensteckungen mit CFK-Vollstäben bei gleicher Biegefestigkeit einen geringeren Durchmesser auf und eignen sich somit insbesondere für leichte Steckungen in dünnen Tragflügeln.

Eine häufig gestellte Frage ist dabei jedoch die richtige Auswahl und Dimensionierung der Stäbe für den einzelnen Anwendungsfall. Die folgenden Tabellen und Diagramme liefern hier Anhaltswerte für eine Vielzahl praxisrelevanter Anwendungsfälle.

Grundlagen der Berechnung

Die hier beschriebene Dimensionierung erfolgt anhand von vereinfachten, mechanischen Zusammenhängen. So wurde davon ausgegangen, dass die Flächensteckung nur die Rumpfmasse zu tragen hat. Dieses ist dann der Fall, wenn die Auftriebsverteilung des Flügels in Spannweitenrichtung proportional zur Massenverteilung des Flügels ist. Bei hohen Einzelmassen (z. B. Ballastmassen) sind hier ggf. Korrekturen vorzunehmen. Ferner wird der Tragflügel als Rechteckflügel mit flächenkonstantem Auftrieb angenommen. Gegenüber der tatsächlichen Auftriebsverteilung ergibt sich dabei in der Regel eine Überdimensionierung, die hier als zusätzliche Sicherheit verstanden werden kann.

Formeln

Unter Annahme der oben genannten Vereinfachungen kommen folgende Formeln zur Anwendung:

Biegemoment der Flächen-Steckung:

$$M_B = \text{Auftriebskraft} \times \text{Hebelarm}$$

Maximale Auftriebskraft:

$$F_A = \text{Lastvielfaches} \times \text{Erdbeschleunigung} \times \text{Rumpfgewicht}$$

Hebelarm:

$$l = 1/4 \times \text{Gesamtspannweite}$$

Biegespannung im Rundstab:

$$\sigma_B = \frac{M_B}{W_y}$$

Die Widerstandsmomente W_y für den Rundstab ergeben sich nach nebenstehender Tabelle:

Ferner wurde für die Rundstäbe eine Biegefestigkeit von 600 N/mm² angenommen. In Versuchen wurden Biegefestigkeiten weit über diesem Wert erzielt, so dass hier ebenfalls zusätzliche Sicherheiten vorhanden sind.

Stab-Ø	W_y
2 mm	0,79 mm ³
3 mm	2,65 mm ³
4 mm	6,28 mm ³
5 mm	12,30 mm ³
6 mm	21,20 mm ³
8 mm	50,30 mm ³
10 mm	98,20 mm ³
12 mm	170,00 mm ³
14 mm	269,00 mm ³
16 mm	402,00 mm ³
18 mm	573,00 mm ³
20 mm	785,00 mm ³
24 mm	1 357,00 mm ³

Orientierung für die Belastungshöhe

Da nicht nur die Tragflügelgeometrie und die Auftriebsverteilung sondern auch die Belastungshöhe entscheidend für die Tragfähigkeit einer Flächensteckung sind, wurden hier drei Modellkategorien unterschieden. Die dabei festgelegten maximalen Lastvielfachen dienen als Orientierungshilfe:

Modellkategorie	maximale Lastvielfache
Leichte Segelflugmodelle, langsame Elektroflugmodelle	n = 6 g
Schnelle Segelflugmodelle, Motorflugmodelle	n = 12 g
Hotliner, Speedmodelle, Kunstflugmodelle	n = 20 g

Gebrauch der Tabellen

Die Werte in den Tabellen der nächsten Seiten zeigen Rumpfmassen in kg. Die Tabellen geben an, welche Rumpfmasse von einer Steckung mit vorgegebenem Ø in Abhängigkeit von der Spannweite getragen werden kann.

▷ Ablesebeispiel:

Bei einem maximalen Lastvielfachen von 12 g kann ein CFK-Stab, mit Ø 16 mm bei einer Spannweite von 3,00 m eine Rumpfmasse bis 2,7 kg tragen.

Gebrauch der Diagramme

Die Diagramme zeigen, welcher CFK-Stab-Ø bei einer bestimmten Kombination von Spannweite und Rumpfmasse erforderlich ist.

▷ Ablesebeispiel:

Bei einer Spannweite von 2,35 m und einem Rumpfgewicht von 6.200 g liegt der Schnittpunkt für Lastvielfache von 12 g oberhalb der Linie für CFK-Stäbe mit 18 mm Ø. Es ist also der nächst dickere Stab mit 20 mm Ø erforderlich.

Wichtiger Hinweis:

Die angegebenen Werte liefern ungefähre Anhaltswerte für den Gebrauch und die Auswahl von CFK-Stäben als Flügelsteckungen. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Lastfälle im genannten Anwendungsbereich kann keine Gewährleistung für eine genügende Biegefestigkeit in Einzelfällen übernommen werden. Festigkeitsversuche werden in Einzelfällen empfohlen. Irrtümer, Druckfehler und Änderungen vorbehalten.

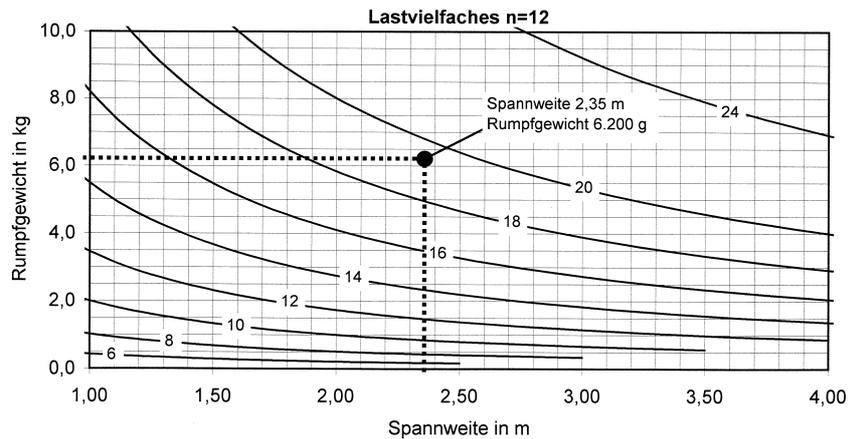


Ablesebeispiel

**Schnelle
Segelflugmodelle,
Motorflugmodelle**

max. Rumpfgewichte in kg für $n_{max} = 12$, abhängig vom \varnothing des CFK-Stabes und der Flügelspannweite

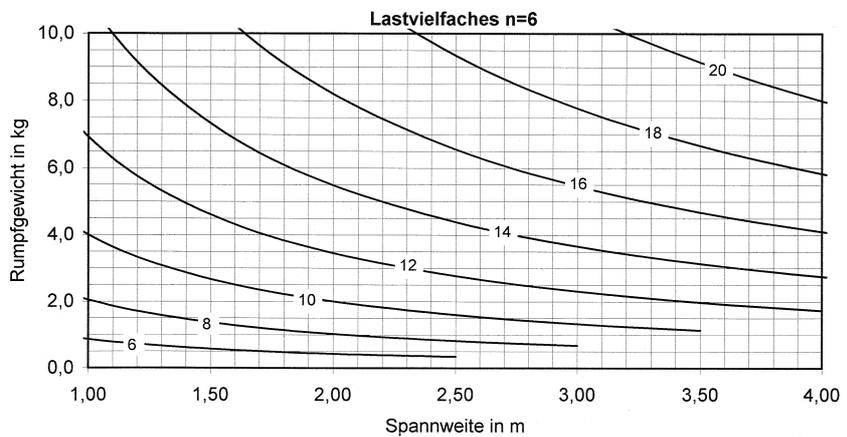
CFK-Stab \varnothing in mm	Flügelspannweite in m											
	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	6,00
6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2						
8	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4						
10	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8		0,6				
12	4,3	3,5	2,8	2,2	1,7	1,4		1,0	0,9			
14	6,9	5,5	4,4	3,4	2,7	2,2		1,6	1,4	1,2		
16							2,7	2,3	2,0	1,8	1,6	
18	14,6	11,7	9,3	7,3	5,8		max. Rumpfgewicht		2,9	2,6	2,3	1,9
20	20,0	16,0	12,8	10,0	8,0				4,0	3,6	3,2	2,7
24			22,1	17,3	13,8	11,1	9,2	7,9	6,9	6,1	5,5	4,6



**Leichte
Segelflugmodelle,
langsame
Elektroflugmodelle**

max. Rumpfgewichte in kg für $n_{max} = 6$, abhängig vom \varnothing des CFK-Stabes und der Flügelspannweite

CFK-Stab \varnothing in mm	Flügelspannweite in m											
	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	6,00
6	1,1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3						
8	2,6	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,7					
10	5,0	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,3	1,1				
12	8,6	6,9	5,5	4,3	3,5	2,8	2,3	2,0	1,7			
14	13,7	11,0	8,8	6,9	5,5	4,4	3,7	3,1	2,7	2,4		
16	20,5	16,4	13,1	10,2	8,2	6,6	5,5	4,7	4,1	3,6	3,3	
18			18,7	14,6	11,7	9,3	7,8	6,7	5,8	5,2	4,7	3,9
20				20,0	16,0	12,8	10,7	9,1	8,0	7,1	6,4	5,3
24						22,1	18,4	15,8	13,8	12,3	11,1	9,2

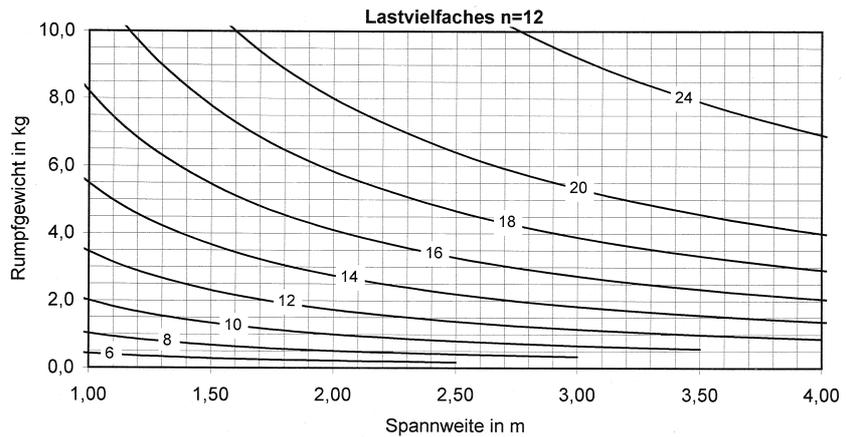




**Schnelle
Segelflugmodelle,
Motorflugmodelle**

max. Rumpfgewichte in kg für $n_{max} = 12$, abhängig vom \emptyset des CFK-Stabes und der Flügelspannweite

CFK-Stab \emptyset in mm	Flügelspannweite in m											
	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	6,00
6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2						
8	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3					
10	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6				
12	4,3	3,5	2,8	2,2	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9			
14	6,9	5,5	4,4	3,4	2,7	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2		
16	10,2	8,2	6,6	5,1	4,1	3,3	2,7	2,3	2,0	1,8	1,6	
18	14,6	11,7	9,3	7,3	5,8	4,7	3,9	3,3	2,9	2,6	2,3	1,9
20	20,0	16,0	12,8	10,0	8,0	6,4	5,3	4,6	4,0	3,6	3,2	2,7
24			22,1	17,3	13,8	11,1	9,2	7,9	6,9	6,1	5,5	4,6



**Hotliner,
Speedmodelle,
Kunstflugmodelle**

max. Rumpfgewichte in kg für $n_{max} = 20$, abhängig vom \emptyset des CFK-Stabes und der Flügelspannweite

CFK-Stab \emptyset in mm	Flügelspannweite in m											
	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	6,00
8	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2					
10	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3				
12	2,6	2,1	1,7	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5			
14	4,1	3,3	2,6	2,1	1,6	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7		
16	6,1	4,9	3,9	3,1	2,5	2,0	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	
18	8,8	7,0	5,6	4,4	3,5	2,8	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
20	12,0	9,6	7,7	6,0	4,8	3,8	3,2	2,7	2,4	2,1	1,9	1,6
24	20,8	16,6	13,3	10,4	8,3	6,6	5,5	4,7	4,2	3,7	3,3	2,8

