

Faserverbund-Holmbrücken, richtig dimensioniert und konstruiert.

Holmbrücke und Rumpfaufhängung sind zwei Dinge!

Bei Modellflugzeugen werden die Tragflächen althergebracht mittels Rundstäben an den Rumpf gesteckt.

Der besseren Handlichkeit wegen werden diese meistens nicht fest im Rumpf eingeklebt, sondern durch ein im Rumpf eingeklebtes Rohr gesteckt.

Der Rumpf wird damit direkt an die Holmbrücke gehängt.

Bei kleinen Fliegern ist das sicher eine vernünftige Lösung.

Bei grösseren Modellen sollten wir uns aber eher an den mantragenden Vorbildern orientieren und hier gibt es diese Konstruktionsart aus guten Gründen nicht.

Diese Befestigungs(un)art zeigt vorallem ihre Schwäche, wenn Faserverbund-Rundstäbe, also Glas- oder Kohlefaserstäbe als Holmbrücke verwendet werden sollen.

Faserverbundbauteile haben den Vorteil, in Faserrichtung sehr stark zu sein (gute Zug- und Druckfestigkeit und damit auch Biegefestigkeit), dagegen sind sie quer zur Faserrichtung eher schwach und Scherbelastungen lieben sie überhaupt nicht (s. Skizze 5). Faserverbund-Holmbrücken werden also bei der üblichen Einbauart eher falsch belastet.

Nun, was ist vorzukehren. Der Modellbauer grosser Modelle sollte beachten, dass das Verbinden der beiden Tragflächen statisch eine Sache ist, das befestigen des Rumpfes zwischen diesen Flächen eine andere.

Diese beiden Dinge sollten getrennt betrachtet und entsprechend konstruktiv gelöst werden und zwar am gescheitesten so, wie es sich ja bei den grossen Brüdern bewährt.

Man geht also davon aus, dass die Tragfläche aus statischen Gründen am besten aus einem Stück besteht. Da dies aus Transportgründen nicht möglich ist, wird die Tragfläche in der Mitte geteilt und beim Montieren mittels Holmverbinder wiederum zusammengesetzt.

Was noch fehlt ist der Rumpf. Dieser wird nun lediglich an vier Bolzen (wie zwei Verdrehsicherungen pro Flächenhälfte statt nur eine) dazwischengehängt und zwar berührungslos und unabhängig von der Holmbrücke.

Selbstverständlich wäre auch bei Modellen eine originalgetreue Verbindung mittels Holmstummeln und Bolzen möglich. Das erfordert aber einen immensen Bauaufwand und ergibt trotzdem Probleme, weil Modellrumpfe im Verhältnis zu Originalrumpfen wesentlich grösseren Belastungen ausgesetzt sind und sich deshalb beim Landen auch mehr verformen, was gegen eine solche mühsam erstellte Holmbrücke spricht.

Carbon- (Kohlefaser) oder Glas-Rundstäbe:

Normalerweise werden Kohlefaser-Rundstäbe als Holmbrücken verwendet. Carbon-Rundstäbe haben eine viel grössere Zug- und Druckfestigkeit als Glas und sie sind wesentlich steifer, aber logischerweise dann eben auch weniger elastisch!

Das Bruchverhalten bei Ueberlast und falscher Belastung ist jedoch ähnlich bis gleich. Beide brechen bei Ueberlast ohne grosse Vorwarnung.

Wer den Vorteil von Faserverbund-Holmbrücken nutzen will, soll sich halt tunlichst darum bemühen, den Rest darum herum auch richtig zu machen.

Leider sind solche Flächenbefestigungen im Modellbereich noch sehr selten anzutreffen. Soweit bekannt, bietet einzig die Firma Multiplex Modelle mit dieser Art von Flächenbefestigung und zwar unter dem völlig missverständlichen Namen „schwimmende Aufhängung“, obschon da überhaupt nichts schwimmt.

Was macht man nun, wenn bei einem gekauften Modell bereits ein Führungsrohr im Rumpf eingeharzt ist? Die Flächensteckung also bereits „falsch“ eingebaut ist?

Das ist in der Regel kein Problem. Einfach die Flächen mit dem vorgesehenen Führungsrohr an den Rumpf stecken und so positioniert, einen zweiten Bolzen (zweite Verdrehsicherung) einkleben. Nach der Härtung kann nun das Führungsrohr aus dem Rumpf herausgetrennt werden und die Sache ist erledigt. Dass diese Bolzen gegeneinander abgestützt werden müssen, versteht sich ja von selbst.

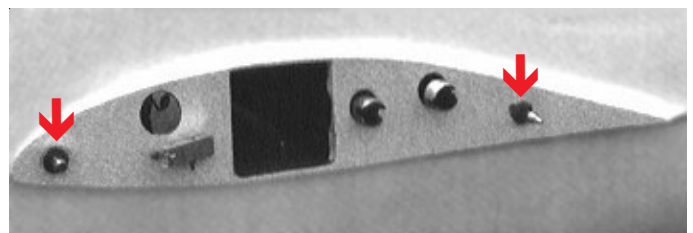
Um die Flächen am Rumpf zu fixieren, können die herkömmlichen Systeme angewendet werden, seien es Gummiringe, Federn, MPX-Multilock oder eben eine Konstruktion wie umseitig beschrieben.

Metall ummantelte Carbonstäbe:

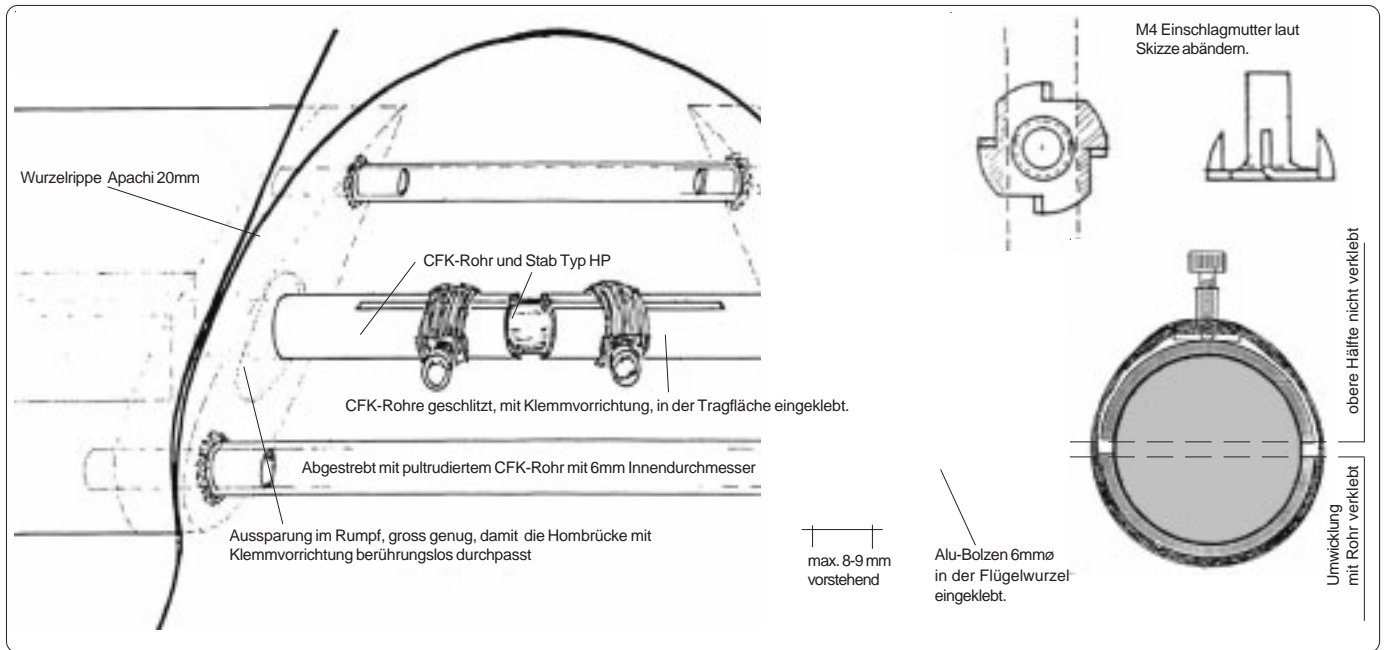
Auch das ist nicht des Rätsels Lösung, denn damit wird, wenn überhaupt, nur das Symptom bekämpft und nicht das Uebel. Zudem wird hier der Carbonstab arg geschwächt, da er ja um die Mantelstärke dünner ist als er eigentlich sein könnte. Gerade die Dicke (Bauhöhe) ist aber sehr wichtig.



Beispiel: Nachträglicher Einbau bei einer MPX-DG



Als Vergleich, Original-Flächenanschluss DG 800. An diesen beiden Bolzen hängt der ganze Rumpf!



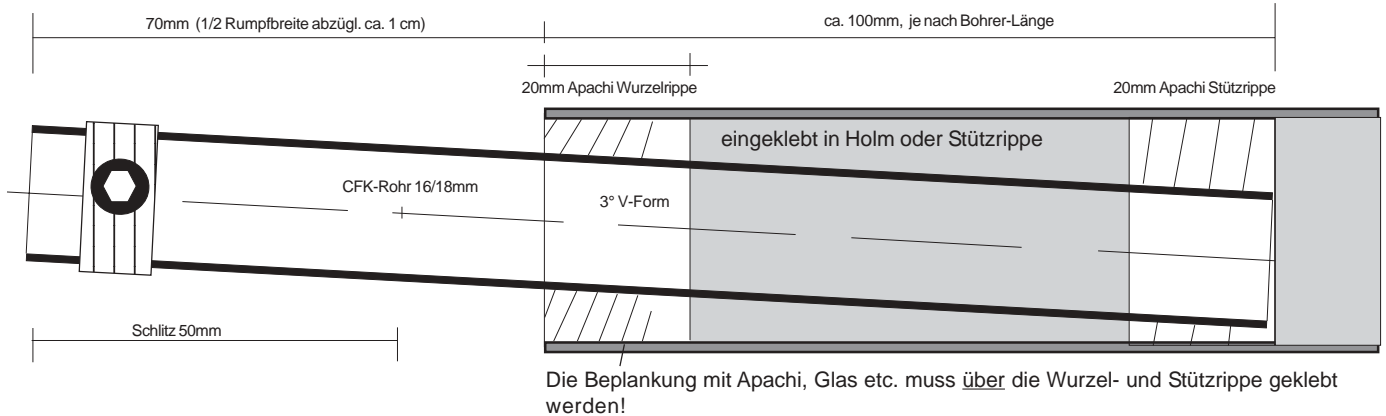
Beispiel einer für Kohlefaserstabe optimierten Holmbrücke: In den Tragflächen wird ein laut Skizze geschlitztes CFK-Rohr mit der entsprechenden V-Form eingeklebt. Anschliessend wird die eine Rohrhälfte und die beiden Schlitze mit Trennmittelpaste bestrichen resp. gefüllt. Nun wird mit einem Epoxydharz getränkten Carbonrovin-Wickel eine laut Zeichnung abgeänderte M4-Einschlagmutter auf der mit Trennmittel behandelten Rohrhälfte festgeklebt (kein 5-Min-Epoxy verwenden).

Nach der Härtung kann nun mit einer M4-Schraube das CFK-Rohr grossflächig auf der Holmbrücke, ohne jegliche Kerbwirkung, festgeklemmt werden.

Achtung! Zeichnung und Text genau beachten. Kein Loch bohren. Die Schraube drückt lediglich auf die obere, nicht festgeklebte Halbschale und nicht auf den Rundstab!

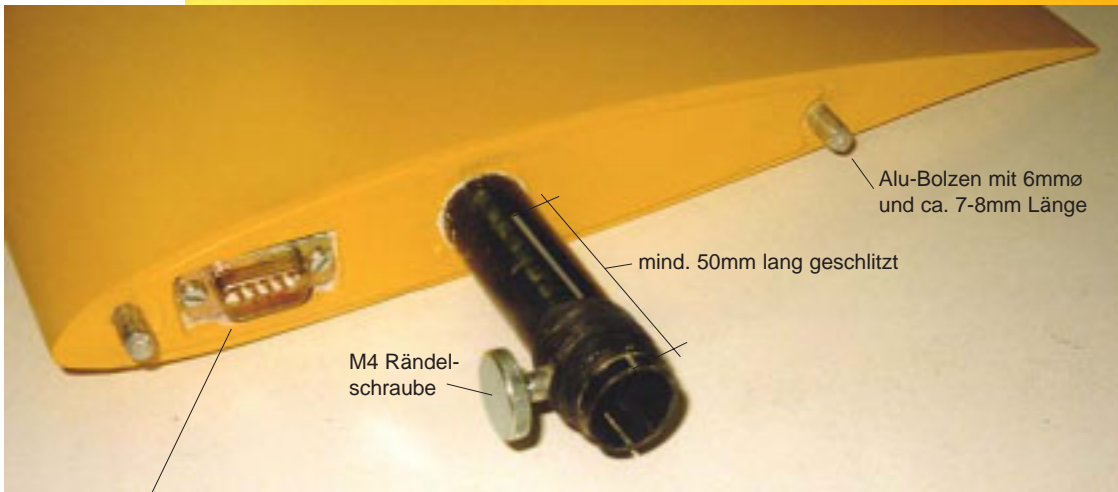
Die Schrauben dürfen nur ganz leicht von Hand festgezogen werden. Das genügt völlig, da eine sehr grosse Fläche „klemmt“!

Selbstverständlich sind auch andere Konstruktionen denkbar und möglich, die hier vorgestellte bewährt sich aber seit vielen Jahren in vielen Segelmodellen, auch im rauen Flugbetrieb im Gebirge mit etwelchen Aussenlandungen.



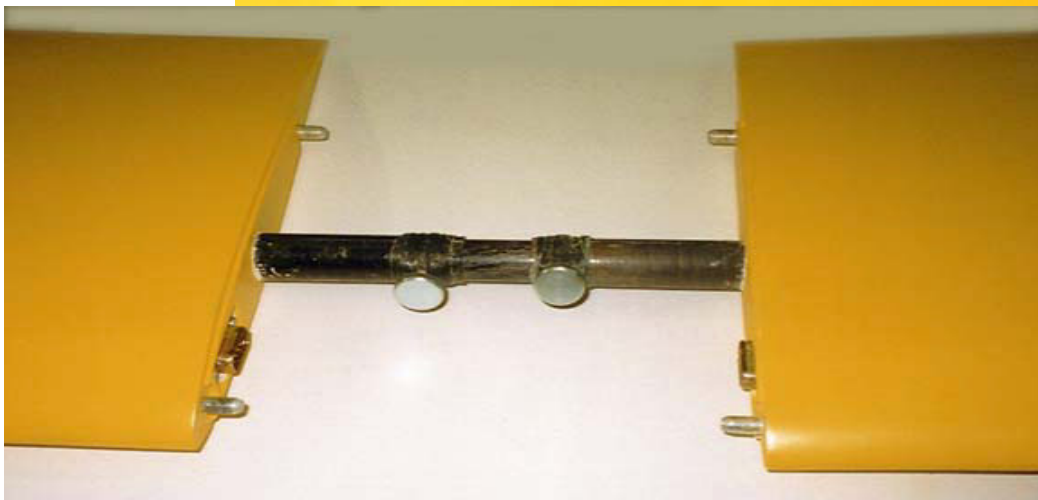
Auf dem Bild zwei Holmbrücken, fertig vorbereitet für den Einbau. Vor dem Einbau müssen die beiden offenen Rohrenden verschlossen werden, damit kein Klebstoff eindringen kann.





Sub-D-Stecker im Rumpf und in der Flächenwurzel (auf gute und leichtgängige Qualität achten!

6mmø Löcher, innen im Rumpf abgestrebt mit CFK-Rohr, mit 6mm Innendurchmesser.



Die richtige Dimensionierung von Faserverbund-Steckungen:

Die hier aufgeführte Tabelle basiert auf Erfahrungswerten für CFK-Steckungen, also Steckungen aus Carbon-Vollstäben. Das sind Erfahrungswerte, basierend auf eigenen Modellen, Modellen von Kollegen und aus der Erfahrung vieler anderer Modellfliegern, die wir im Laufe der Jahre als Kunden beraten durften.

Eine absolute Regel gibt es aber nicht, denn die Modelle, die Modellkategorien, der Flugstil der Piloten, die Konstruktionsart der Steckung u.s.w. sind zu verschieden, als dass man das in einer einfachen Tabelle darlegen kann. Die Tabelle dient also lediglich als grobe Richtlinie zur Wahl des „richtigen“ Durchmessers. Das ist im übrigen bei metallenen Steckungen nicht anders, auch hier verlässt man sich in der Regel auf Empfehlungen und Erfahrungen anderer.

Berechnen von Steckungen:

Im folgenden Beitrag von Herrn **Dr.-Ing. Herbert Funke** finden Sie solche Berechnungsmodelle und auch Tabellen aufgrund solcher Berechnungen. Es geht hier nicht darum, diese seriöse Arbeit anzuzweifeln, sondern vielmehr um einen Erklärungsversuch, warum die „theoretischen Tabellen“ von der „praktischen Tabelle“ abweicht.

Um entsprechende Berechnungen anzustellen muss man viele Annahmen treffen wie z.B. die Zugfestigkeit der verwendeten Fasern, resp, die Biegefestigkeit des zu verwendenden GFK-Stabes sowie den Flugstil, resultierend in einer Annahme des Lastvielfachen u.s.w.

Selbstverständlich werden alle diese Annahmen so getroffen, dass man sich zweifellos auf der sicheren Seite bewegt. Daraus resultiert dann eben eine Rechnung mit Durchmesseranschlägen, die über jeden Zweifel erhaben sind, resp. wie Herr Funke selber feststellt:
„In Versuchen wurden Biegefestigkeiten weit über diesem Wert erzielt, so dass hier ebenfalls zusätzliche Sicherheiten vorhanden sind.“

Er sagt aber an anderer Stelle auch:
„Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Lastfälle im genannten Anwendungsbereich kann keine Gewährleistung für eine genügende Biegefestigkeit in Einzelfällen übernommen werden.“
 Das gilt natürlich auch für die Tabelle, die aufgrund von Erfahrungswerten erstellt worden ist. Wer aber seriös und sauber baut und sich sogar für eine sogenannt schwimmende Konstruktion entschliesst, der darf sich ruhig an diese Tabelle halten, viele Modelle und Flugstunden beweisen, dass diese so falsch nicht sein kann. Für extrem belastete Steckungen wie z.B. für F3B Modelle während des Hochstarts u.ä. empfehlen wir jedoch eher, sich an die Tabelle von Herrn Funke zu halten.

Auswahlhilfe für die Tragflächensteckung von Modellflugzeugen mit Kohlefaser-Rundstäben aufgrund von Erfahrungen.

Durchmesser	Spannweite	Modell-Gewicht
6 mm	1,0 m	1,0 kg
8 mm	2,0 m	1,5 kg
10 mm	2,5 m	2,0 kg
12 mm	3,0 m	3,0 kg
14 mm	3.75 m	5,0 kg
16 mm	5,0 m	bis 8,0 kg

Im Zweifelsfalle immer Ueberdimensionieren,.

Belastungsarten: (Skizze 5)



Auch eine Belastung auf „Durchbiegen“ ist eine Zug- und Druckbelastung, wobei in der Mitte eine rel. unbelastete neutrale Zone verbleibt.

Scherbelastung, in unserem Falle quer zum Faserverlauf.



Rechnerische Dimensionierung von CFK-Flächensteckungen

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:

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

Biegespannung im Rudstab:

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

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
2mm	0,79 mm ³
3mm	2,65 mm ³
4mm	6,28 mm ³
5mm	12,30 mm ³
6mm	21,20 mm ³
8mm	50,30 mm ³
10mm	98,20 mm ³
12mm	170,00 mm ³
14mm	269,00 mm ³
16mm	402,00 mm ³
18mm	573,00 mm ³
20mm	785,00 mm ³
24mm	1357,00 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:

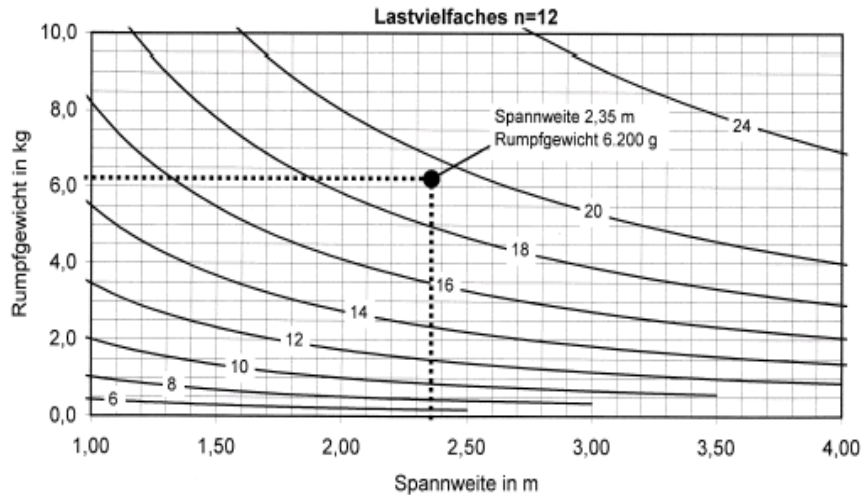
Die angegebenen Werte liefern ungefähre Anhaltswerte für den Gebrauch und die Auswahl von CFK-Stäben als Flügelsteckungen.

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 Segelflug-
modelle, Motorflug-
modelle**

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

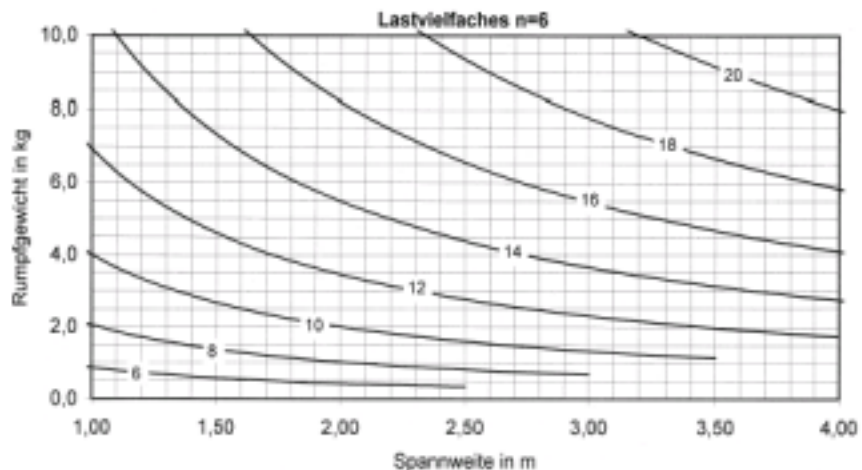
CFK-Stab Ø in mm	Flügelspannweite in m											
	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	6,00
6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2						
8	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4						
10	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8		0,6				
12	4,3	3,5	2,8	2,2	1,7	1,4		1,0	0,9			
14	6,9	5,5	4,4	3,4	2,7	2,2		1,6	1,4	1,2		
16							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



**Segelflugmodelle,
langsame Elektro-
flugmodelle
Belastung bis N = 6g**

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

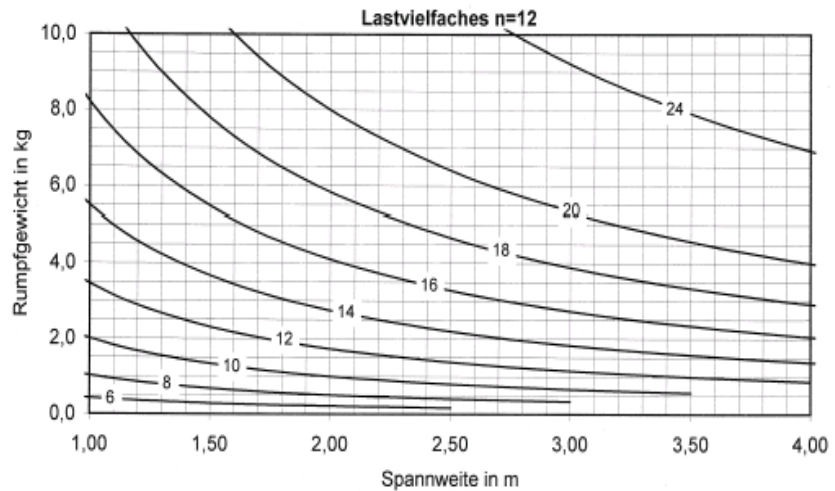
CFK-Stab Ø in mm	Flügelspannweite in m											
	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	6,00
6	1,1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3						
8	2,6	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,7					
10	5,0	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,3	1,1				
12	8,6	6,9	5,5	4,3	3,5	2,8	2,3	2,0	1,7			
14	13,7	11,0	8,8	6,9	5,5	4,4	3,7	3,1	2,7	2,4		
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
Belastung bis N = 12g

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

CFK-Stab Ø 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
Belastung bis N = 20g

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

CFK-Stab Ø 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

