

Lastannahmen nach CS-VLA

Anhang: Beispielrechnung Flügelholm

von

Uli Eichner

LOLH, 9-11-2010

In diesem Anhang wird die beispielhafte Holmberechnung im Rahmen des Seminars Lastannahmen wiedergegeben.

Etwas vereinfacht wird dabei die modulare Betrachtungsweise zugrunde gelegt, wonach verschiedene Teile des Flügels unterschiedliche Aufgaben übernehmen:

- Die Holmgurte tragen das Biegemoment
- Der Holmsteg trägt die Querkraft
- Die Flügeltorsion wird von der Schale übernommen.

Eine Beschreibung hierzu findet sich auf der Seite der Firma Schleicher:

http://www.alexander-schleicher.de/technik/holmeinbau/technik_holmeinbau.htm

Geometrie und Schnittkräfte

Im Folgenden wird der Holm für den am stärksten belasteten Querschnitt berechnet, der im Bereich der Wurzelrippe zu finden ist:

$$y_{WR} = 0,6m$$

Querkraft und Biegemoment werden durch lineare Interpolation aus den berechneten Verläufen im Beispiel gewonnen:

$$Q(y_{WR}) = 12.714N + \frac{11.175N - 12.714N}{0,75m - 0,25m} \cdot (0,6m - 0,25m) = 11.637N$$

$$\begin{aligned} M(y_{WR}) &= 25.299Nm + \frac{19.712Nm - 25.299Nm}{0,75m - 0,25m} \cdot (0,6m - 0,25m) \\ &= 21.388Nm \end{aligned}$$

Die Flügeltiefe an der Wurzelrippe wird ebenfalls mittels linearer Interpolation errechnet:

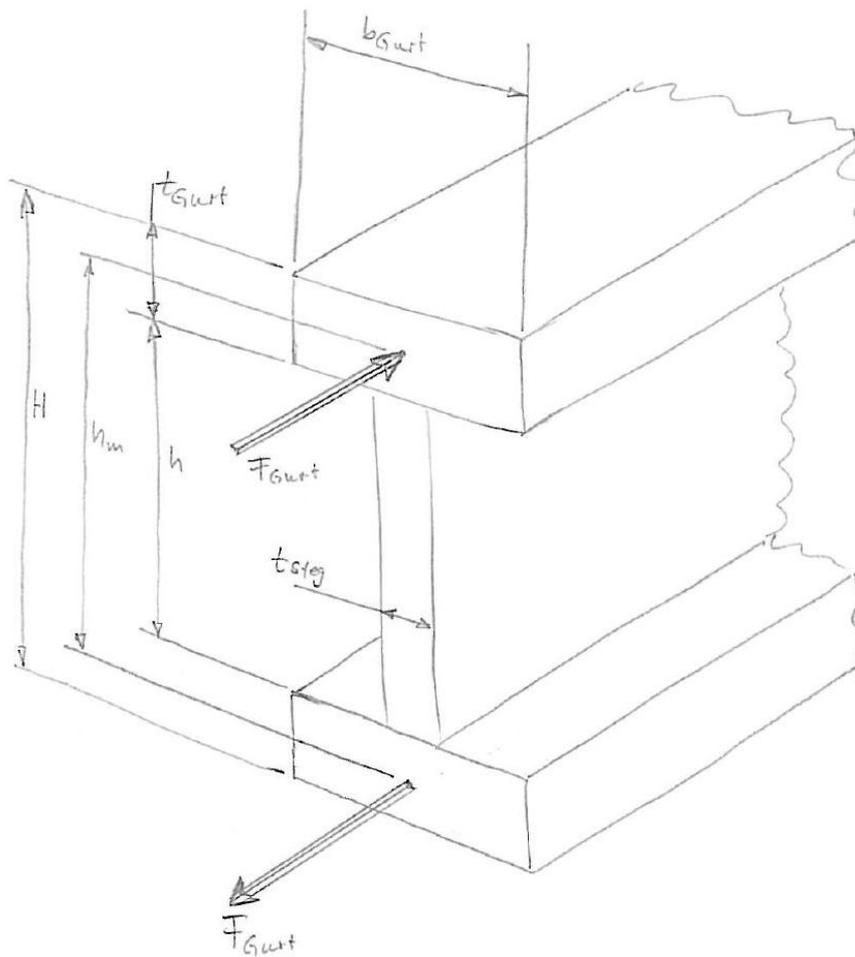
$$l(y_{WR}) = 1,200m + \frac{0,840m - 1,200m}{5,0m - 0,0m} \cdot (0,6m - 0,0m) = 1,157m$$

Bei einer Profildicke von 15% ergibt sich eine gesamte Bauhöhe von

$$H_{Profil} = 0,15 \cdot 1,157m = 174mm$$

Nimmt man für Ober- und Unterschale sowie Verklebungen knapp 20mm an, verbleibt für den Holm an dieser Stelle eine Höhe von

$$H = 155mm$$



Gurte

Einfache Berechnung

Grundlage dieser einfachen Berechnung ist das Hebelgesetz, wonach ein Moment durch ein Kräftepaar dargestellt wird, in diesem Fall Zug- und Druckkraft in den beiden Holmgurten. Der Holm sei dabei symmetrisch aufgebaut; die Abmessungen der beiden Gurte identisch. Nimmt man eine Gurtdicke von 8mm an, ergibt sich ein Abstand der Gurtmitten von

$$h_m = 155\text{mm} - 8\text{mm} = 147\text{mm}$$

Daraus ergeben sich die Gurtkräfte (betragsmäßig gleich groß):

$$F_{Gurt} = \frac{M}{h_m} = \frac{21.388\text{Nm}}{0,147\text{m}} = 145.497\text{N}$$

Die zulässige Spannung für CfK-Gurte liegt nach den Idaflieg-Werkstoffkennwerten bei $\sigma_{zul} = 400\text{N/mm}^2$, die Bruchspannung inkl. Sicherheitsfaktor entsprechend höher.

Damit lässt sich die notwendige Querschnittsfläche des Gurtes berechnen:

$$S_{Gurt} = \frac{F_{Gurt}}{\sigma_{zul}} = \frac{145.497N}{400 \frac{N}{mm^2}} = 364mm^2$$

Diese Berechnungsmethode ist nicht konservativ, da sie nicht berücksichtigt, dass die größten Spannungen im Gurt in den Randfasern auftreten, wodurch bei niedrigen Holmen oder dicken Gurten erhebliche Fehler entstehen können. Für eine schnelle Abschätzung ist sie aber sehr gut geeignet.

Exakte Berechnung nach der Elementaren Biegetheorie

Etwas aufwendiger ist die Berechnung nach der (exakten) Elementaren Biegetheorie. Mit Geometrie- und Materialdaten kann man das erforderliche Flächenträgheitsmoment des Holms berechnen:

$$I_{erf} = \frac{M}{\sigma_{zul}} \cdot \frac{H}{2} = \frac{21.388.000Nmm}{400 \frac{N}{mm^2}} \cdot \frac{155mm}{2} = 4.143.925mm^4$$

Das Flächenträgheitsmoment errechnet sich aus Geometriedaten des Holms; mit guter Näherung kann man dabei den Steg vernachlässigen.

$$I = \frac{(H^3 - h^3) \cdot b_{Gurt}}{12}$$

Mit der festgelegten Gurtdicke von 8mm bzw. einem Innenabstand der Gurte von 139mm ergibt sich die Gurtbreite zu

$$b_{Gurt} = \frac{12 \cdot I_{erf}}{H^3 - h^3} = \frac{12 \cdot 4.143.925mm^4}{(155mm)^3 - (139mm)^3} = 47,9mm$$

Das entspricht dann einer Gurtfläche von

$$S_{Gurt} = b_{Gurt} \cdot t_{Gurt} = 47,9mm \cdot 8mm = 383mm^2$$

Holmsteg

Der Steg nimmt nach dem modularen Prinzip die Querkraft auf. Bei steifen Gurten kann man mit guter Näherung davon ausgehen, dass die Schubspannung im Steg, die sich aus der Querkraft ergibt, über die gesamte Steghöhe konstant ist. Die Steghöhe wird mit

$$h = 147\text{mm} - 8\text{mm} = 139\text{mm}$$

angenommen. Mit einer zulässigen Schubspannung

$$\tau_{zul} = \frac{90 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1,15 \cdot 1,5} = 52,2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

von GfK ergibt sich eine Mindestlaminatdicke

$$t_{min} = \frac{Q}{h \cdot \tau_{zul}} = \frac{11.637\text{N}}{139\text{mm} \cdot 52,2 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 1,60\text{mm}$$

oder 6 Lagen 92125. Zur Gewährleistung entsprechender Beulsicherheit sind Stege meist gestützt, beispielsweise durch die Konstruktion des Stegs als Sandwichbauteil oder durch das Einfügen von Versteifungsprofilen zum Verkleinern der Beulfelder.

5.3 Gewebe mit $k_{\parallel} = 0,5$ (d.h. gleichen Faseranteilen in Kette und Schuß)

$$\rho_F = 2,55 \text{ kg/dm}^3$$

$$\phi_F = 0,35$$

Bemerkungen, Quelle			
E_{\parallel}	N/mm ²	16200	LBA
E_{\perp}	N/mm ²	-	-
E_{**}	N/mm ²	10700	LBA
ν_{12}	-	-	-
ν_{21}	-	-	-
G_{\parallel}	N/mm ²	3700	LBA
G_{**}	N/mm ²	7700	LBA
$\sigma_{\parallel D, Br}$	N/mm ²	90	LBA
$\sigma_{\parallel Z, Br}$	N/mm ²	90	LBA
$\sigma_{\perp Z, Br}$	N/mm ²	-	-
$\sigma_{\perp D, Br}$	N/mm ²	-	-
$\tau_{\perp, Br}$	N/mm ²	-	-
$\tau_{\parallel, Br}$	N/mm ²	-	-
$\tau_{**, Br}$	N/mm ²	90	LBA
$\epsilon_{\parallel, Br}$	%	-	-

Interessengemeinschaft Deutscher Akademischer Fliegergruppen	Bearbeitet: <i>Kulter</i> , 16.3.88
--	--

9.3 CFK-I-Holme

Mindest- $\phi_F = 0,54$

