

Die Entwicklung des Konstruktionsgedankens beim Bau der Flügelbeschläge im Szybowcowy Zaklad Doswiadczalny

Von Dipl.-Ing. ROMAN ZATWARNICKI, Szybowcowy Zaklad Doswiadczalny, Bielsko-Biala, Polen

Vortrag am 7. Kongreß der OSTIV, Juni 1958, Leszno (Polen)

Das Problem, mit dem ich mich nachstehend befassen werde, behandelt die Entwicklung der Konstruktionslösung des wichtigsten tragenden Knotens im Segelflugzeug, nämlich der Flügelbeschläge. Um die Aufgaben, die von den Flügelbeschlägen zu erfüllen sind, kennen zu lernen, muß man sich vor allem über die Flügelbelastung im klaren sein. Die aerodynamischen Kräfte, die auf den Flügel wirken, sind entlang der Flügelfläche unregelmäßig verteilt. Für unsere Überlegungen genügt die Annahme einer Resultante P (s. Fig. 1), die im Neutralpunkt des Flügels angreift, und eines Momentes M . Da die Resultante schräg gerichtet ist, zerlegen wir sie in zwei zueinander senkrechte Kräfte: die zur Flügelebene tangentielle Kraft P_t und die Normale P_n . Diese zwei Komponenten belasten den Flügel in zwei Ebenen und verursachen dadurch die Belastung der Flügelbeschläge.

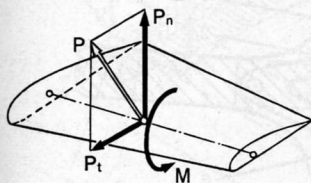


Fig. 1

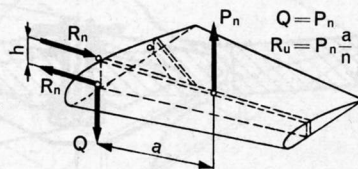


Fig. 2

Wenn wir als Beispiel die klassischen Beschläge des freitragenden Flügels annehmen, welche die Ober- und Unterbeschläge des Hauptholmes und den Beschlag des Hinterholmes umfassen, werden wir sehen, daß auf jeden Punkt auch jede der genannten Belastungen wirkt (s. Fig. 2). Die Kraft P_n bewirkt bei den vorderen Beschlägen die Reaktion $Q = P_n$ und zwei Reaktionen

$$R_n = P_n \cdot \frac{a}{h}$$

beide von gleicher Größe, aber entgegengerichtet.

Daneben ist die Größe der einzelnen Kräfte zu erwähnen. Es nähert sich die Kraft R_n im Falle eines einsitzigen Leistungssegelflugzeuges 20 Tonnen, während die anderen Belastungen der Beschläge nur einige hundert Kilo erreichen (s. Fig. 3). Die Kraft P_t verursacht bei den Vorderbeschlägen

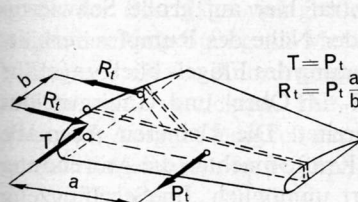


Fig. 3

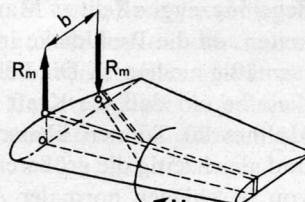


Fig. 4

die Reaktion $T = P_t$, bei den Vorder- und Hinterbeschlägen die horizontalen Reaktionen

$$R = P_t \cdot \frac{a}{b}$$

(s. Fig. 4). Das Flügeldrehmoment M bewirkt in den Vorder-

und Hinterbeschlägen die vertikalen Reaktionen

$$R_m = \frac{M}{b}$$

Es sei nun auf die Idee der klassischen Flügelbeschläge eingetreten, von denen ich die Beschläge des Segelflugzeuges «Weihe» als typisch auswähle. Sie weisen drei Befestigungspunkte auf und entsprechen im Prinzip dem vorerwähnten Belastungsschema.

Falls man bei den Beschlägen dieser Art zylindrische Bolzen anwendet, entstehen große Schwierigkeiten bei der Herstellung und im Gebrauch.

Schon zwei parallele Bolzen des Hauptbeschlages bestimmen eindeutig die Lage des Flügels, und der dritte Bolzen soll diese Lage nur festhalten. Ungenaue Ausführung verursacht Schwierigkeiten bei der Montage des dritten Bolzens, und wenn man dabei den Hammer gebraucht, entstehen Spannungen, die vom Konstrukteur nicht vorgesehen werden konnten. Sogar die genaueste Herstellung in der Werkstatt bietet keine Garantie für eine leichte Montage und die Austauschbarkeit der Flügel für längere Zeit, da das am meisten gebrauchte Material, das Holz, nicht feuchtigkeitsbeständig ist und inzwischen die Beschläge versetzt werden können. Es können auch Verdrehungen der einzelnen Beschläge auftreten, wodurch die Montage der zylindrischen Bolzen auf sehr große Schwierigkeiten stößt.

Der zweite Nachteil der Beschläge mit zylindrischen Bolzen ist das Entstehen von Spielräumen bei der Befestigung des Flügels. Um die Einführung des Bolzens zu erleichtern, muß im Entwurf ein Spiel zwischen dem Bolzen und der Bohrung vorgesehen sein. Die kleine Entfernung zwischen den Beschlägen (ca. 200 mm) verursacht, daß am Flügelende das Spiel schon deutlich fühlbar ist. Während der Gebrauchszeit des Segelflugzeuges – besonders infolge wechselnder Beanspruchung bei thermischen oder Gewitterflügen – vergrößert sich das Spiel weiter.

Diese Nachteile der zylindrischen Bolzen haben unsere Anstalt dazu veranlaßt, auf sie zu verzichten und dafür in den Konstruktionen konische Bolzen einzuführen. Auf diese Weise hat man das Spiel zwischen Bohrung und Bolzen beseitigt. Bei den Hinterbeschlägen hat man vorerst die zylindrischen Bolzen belassen. Man rechnete damit, daß bei der verhältnismäßig großen Basis zwischen den Vorder- und Hinterbeschlägen das Spiel am Flügelende nicht fühlbar wird. Eine gewisse Rolle spielte hier auch die leichtere und billigere Herstellung der zylindrischen Bolzen. So entstanden die Beschläge der Segelflugzeuge SZD-9 «Bocian» und SZD-12 «Mucha-100».

Da großer Wert auf leichte und schnelle Montage zu legen war, wurde das Ein- und Ausführen der Bolzen in die Bohrung sehr sorgfältig bearbeitet. Dieses wird durch eine gemeinsame Schraube gewährleistet. Beim Zusammenstellen des Segelflugzeuges wird der hintere Bolzen vor dem Festziehen der konischen Bolzen eingeführt. Die konischen

Bolzen sind mit Hilfe einer Schraube leicht zu fixieren (s. Fig. 5). Figur 5 zeigt schematisch, wie die gemeinsame Schraube (1) mit linkem und rechtem Gewinde und dem

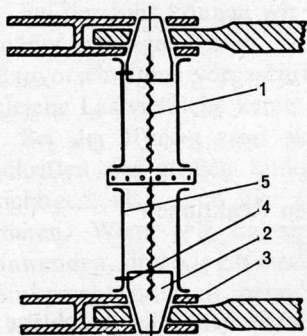


Fig. 5

Kopf in der Mitte den konischen Bolzen (2) in den Beschlägen zusammen- bzw. auseinanderzieht. Jeder der Bolzen wird mit einem Stift (4) gegen Umdrehung gesichert. Die Stifte werden in Schlitten einer Hülse (5) geführt, die den Kopf der Schraube (1) aufhält. Auf diese Weise wird gleichmäßige, gegengerichtete Bewegung beider Bolzen gewährleistet.

Diese Art der Beschläge benötigt indessen die Beachtung einer gewissen Reihenfolge bei der Montagetätigkeit, ansonst beim Einführen des Hinterbolzens Schwierigkeiten auftreten können.

Den weiteren Schritt in der Entwicklung bildete der Ersatz des dritten zylindrischen Bolzens durch einen konischen Bolzen und Befestigung desselben in einem elastischen Beschlag. Dadurch erreichte man, daß das genaue Einhalten der Entfernung zwischen dem Vorder- und Hinterbeschlag nicht so wichtig wird und die Einführung der Bolzen keine Schwierigkeiten mit sich bringt. Auf diese Art sind die hinteren Beschläge des Segelflugzeuges «Mucha-100», Serie A, entworfen. Die Weiterentwicklung des Flugzeuges («Mucha Standart») weist die gleichen Beschläge auf. Die Vorteile dieser Beschläge im Vergleich mit den vorher angewandten sind unbestritten.

Wenn auch das Montieren und Demontieren des Segelflugzeuges bereits zufriedenstellend ist, so kann man kleine Spannungen in der Konstruktion doch nicht vermeiden, da das gleichzeitige, genaue Zusammenpassen dreier Beschläge unmöglich ist. Eine solche Anordnung ist statisch unbestimmt, was die genannten Montageschwierigkeiten verursacht. Deshalb gingen die nächsten Lösungen in der Richtung der Ausscheidung aller unnötigen Versteifungen und der Schaffung einer statisch bestimmten Verbindung.

Außer der erwähnten Segelflugzeuggruppe mit Beschlägen konventioneller Art entwickelte das Szybowcowy Zakład Doswiadczalny neue Konstruktionen, um die in den Beschlägen wirkenden Kräfte zu reduzieren. Diese Kräfte sind von der kleinen Basis (Abstand zwischen den Beschlägen), die durch die Profilhöhe begrenzt wird, abhängig. Deshalb hat man sich beim Segelflugzeug «Jaskółka» bemüht, diese Basis zu vergrößern, was zu einem neuen Prinzip der Beschläge führte (s. Fig. 6). Auf dem gestrichelten Grund der Zentral-

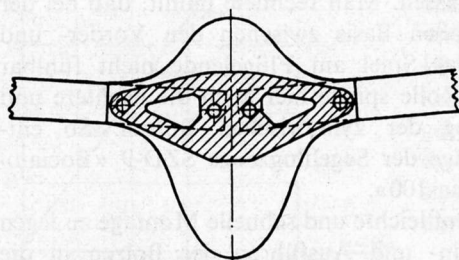


Fig. 6

brücke zwischen den tragenden Wänden sieht man von außen hineinführende Hauptholmstutzen, von denen jeder mit zwei

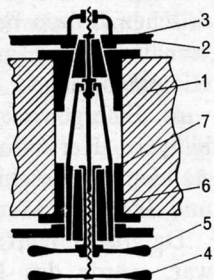


Fig. 7

horizontalen Bolzen befestigt wird. Da diese Bolzen den breiten Hauptholm mit zwei Wänden der Zentralbrücke verbinden (Vorder- und Hinterwand), müssen sie an diesen beiden Stellen gut eingepaßt sein. Um jedes Spiel zu vermeiden, wurde die Anwendung konischer Bolzen unerlässlich.

Die Idee dieser Bolzen ist folgende (s. Fig. 7): Der breite Holm (1) befindet sich zwischen den Blechwänden der Zentralbrücke (2). Mit dem Griff (4) kann man den konischen Bolzen (3) anziehen, wodurch der Holm mit der hinteren Blechwand verbunden wird. Der Griff (5) dient dazu, um den Kegel (6) in die innen konische Federhülse einzuziehen. Diese Hülse ist nach außen zylindrisch und gewährleistet die Verbindung mit der Vorderwand der Zentralbrücke. Der konische Bolzen und der Kegel werden jeder mit einem anderen Gewinde angezogen. Nach dem Anziehen des konischen Bolzens (3) befindet sich die Federhülse (7) schon an ihrem Platz und wird nur noch vom Kegel (6) auseinandergedrängt. Die Anwendung dieser Konstruktion hat aber nur die Montagearbeiten weitgehend erleichtert, da das genaue Einhalten des Abstandes zwischen den Bolzen andererseits eine gleichzeitige Fertigung beider Bohrungen des Holmes im Zusammenhang mit der Zentralbrücke nötig machte. Die Auswechselbarkeit der Flügel bleibt immer noch zweifelhaft (s. Fig. 8). Um diesen Nachteil

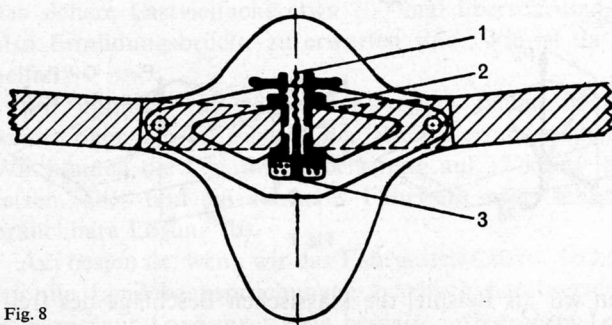


Fig. 8

zu beseitigen, hat man die Konstruktion weiter entwickelt. An Stelle der mittleren horizontalen Bolzen wurde eine senkrechte Schraube (1) eingeführt, welche die Holmstutzen mit einem Preßstück auf eine Unterlage in der Zentralbrücke niederdrückt. Diese Anordnung ist an sich statisch bestimmt; leider aber kann der Hauptholm nicht allein alle Belastungen des Flügels übernehmen. Sogar ein Holm von den Ausmaßen wie beim Segelflugzeug «Jaskółka» genügt nicht, und man war gezwungen, den hinteren Beschlag beizubehalten. Natürlich wandte man auch hier einen konischen Bolzen an, doch die klassische, statische Bestimmbarkeit der Verbindung Rumpf-Flügel wurde gestört.

Eine weitere Etappe bildet das Prinzip der Beschläge beim Segelflugzeug «Zefir». Man traf hier auf große Schwierigkeiten, da die Profildicke in der Nähe des Rumpfes verhältnismäßig niedrig ist. Die Belastung des Flügels blieb ungefähr dieselbe, so daß die Kraft R_n im Ober- und Untergurt des Holmes 20 Tonnen überschreitet. Die kleineren Ausmaße und gleichzeitig die größeren Kräfte machten die Anwendung von Beschlägen normaler Art unmöglich. Im Segelflugzeug «Zefir» wandte man für den Flügel die Schalenbauweise an. An der Stelle eines üblichen Holmes befindet sich ein Holzkasten von großem Querschnitt. In der Nähe des Rumpfes gehen die Holzkasten der beiden Flügel in Kastenbeschläge aus Leichtmetall über. Die letzteren sind so gebildet, daß sie nach dem Aufsetzen der Flügel übereinander greifen (s. Fig. 9). Die beiden Beschläge sind mit zwei senkrechten

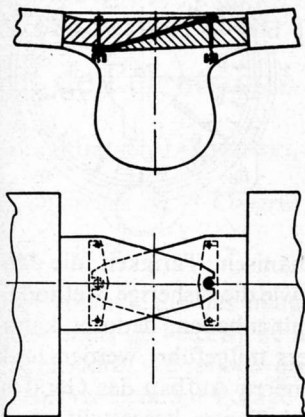


Fig. 9

Schrauben verbunden, die als Basis die volle Breite des Rumpfes ausnutzen. Auf diese Weise verkleinerte man die Kräfte in den Schrauben und in den Beschlagteilen dazwischen. Es muß erwähnt werden, daß trotz aller Bemühungen der Abstand zwischen den Schrauben doch relativ klein bleibt, und zwar deswegen, weil bei diesem Flugzeug im Hinblick auf geforderte hohe Leistung ein sehr kleiner Rumpfquerschnitt angewandt wurde.

Auch hier hat man sich bemüht, eine statisch bestimmte Lösung zu finden. Es ergeben sich daraus Montagevorteile, über die ich schon gesprochen habe. Außerdem ist es möglich, alle Belastungen genau zu identifizieren und die einzelnen Teile für ihre Übernahme zu bestimmen (s. Fig. 10).

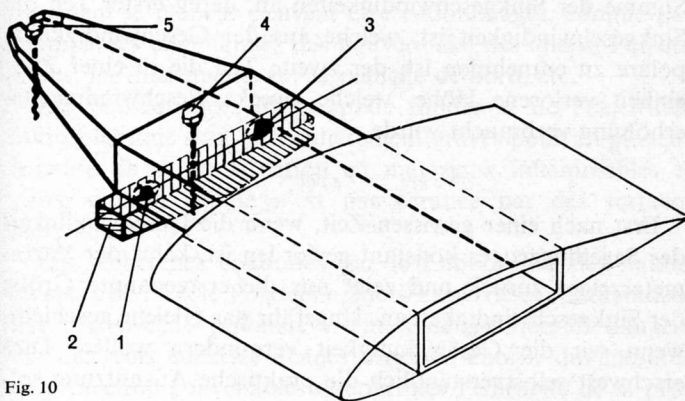


Fig. 10

Figur 10 zeigt die Befestigungsweise eines Flügels. Auf einer festen Grundlage, die in den Rumpf eingebaut ist, sind senkrecht zwei Kegelbolzen (1) befestigt. Der Flügel wird mit speziellen Bohrungen darauf gesetzt. Die Schraube (4) zieht den Flügelbeschlag zu den Kegelbolzen an, und die Schraube (5) bestimmt die Lage zur Drehung um die durch die Bolzen (1-1) gehende Achse. Auf diese Weise wurde bei der Befestigung des Flügels am Rumpf eine minimale Anzahl zueinanderpassender Elemente nötig. Um das Zusammenpassen der Kegelbolzen auf die Bohrungen im Flügel zu erleichtern, ist einer von ihnen verschiebbar angeordnet. Auf diese Weise kann man zwischen den Bolzen und den Bohrungen identische Abstände erhalten. Nach der ersten Montage wird der bewegliche Bolzen angezogen.

Durch Anwendung der Kastenbauweise wurden die Ausmaße der Beschläge viel größer. Sowohl deshalb als auch wegen der Anfertigung aus Metall konnte man auf die Hinterbeschläge, die in Anordnungen konventioneller Art unerlässlich sind, verzichten. Die beiden vertikalen Schrauben haben als Aufgabe lediglich das Anziehen der Flügelbeschläge zu den Kegelbolzen im Rumpf.

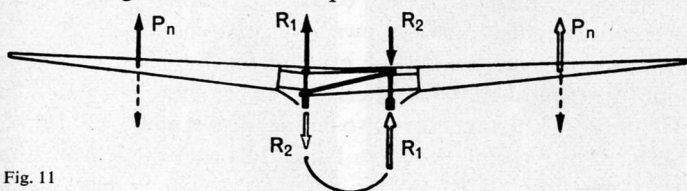


Fig. 11

Bei dieser Anordnung werden die Belastungen wie folgt übernommen (s. Fig. 11): Die größten normalen Kräfte P_n

entstehen beim Abfangen. Die Belastung der senkrechten Schrauben ist mit Pfeilen angezeigt. Man sieht, daß die linke Schraube gezogen wird, während die rechte praktisch nicht belastet wird. Im Rückenflug ist die Belastung umgekehrt (gestrichelte Pfeile).

Beachtenswert ist, daß die Schrauben unteilbar mit beweglichen Preßstücken ausgestattet sind. Die Aufgabe dieser Stücke ist das Vorbeugen gegen Fehler in senkrechter Stellung der Schrauben zur Beschlagsebene, die während der Fertigung und bei der Belastung auftreten können. Auf diese Weise ist die Anordnung dem Gedanken der statisch bestimmten Beschläge näher und weist die daraus entstehenden Vorteile auf.

In der Ebene des Flügels greift die tangentielle Kraft P_t an (s. Fig. 12). Diese Belastung wird von den Kegelbolzen

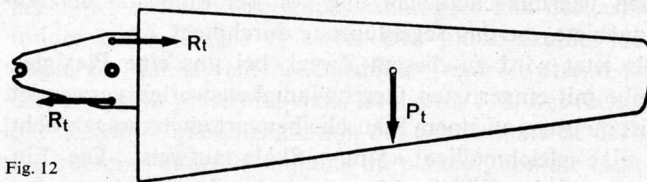


Fig. 12

übernommen. Die Pfeile R_t geben die Richtung der Belastung. Diese Figur zeigt auch das Spiel zwischen den Schrauben in den Holmmetallstutzen.

Die letzte Belastungsart, die durch das Drehmoment verursacht wird, ist in Figur 13 dargestellt. Auf den Rumpf

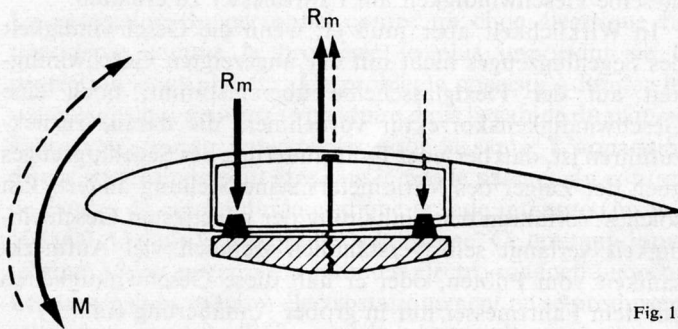


Fig. 13

wirken die Kräfte R_m . Im Falle eines negativen Momentes, das mit gestricheltem Pfeil markiert ist, werden die mittlere Schraube und der hintere Kegelbolzen belastet. So übernimmt die Schraube immer die Zugbeanspruchung, während die zweite Reaktion vom Bolzen aufgenommen wird, der unter Druck steht. Der zweite Bolzen ist inzwischen entlastet. Dank der Schraube wird ein Spiel der Kegelbolzen in den Bohrungen vermieden.

Man sieht, daß bei diesem Prinzip der Beschläge die senkrechten Schrauben die wichtigste Rolle spielen. Aus diesem Grunde wurden beim Entwurf auch andere Einflüsse, wie z. B. Abnutzung während der häufigen Montagen, berücksichtigt. – So ist der Sicherheitsfaktor sehr hoch und garantiert die nötige Festigkeit.

Die Besprechung der Konstruktionseinzelheiten überschreitet den Rahmen dieses Vortrages, doch möchte ich auf die Verbindungsweise des hölzernen Holmes mit dem Metallstutzen hinweisen. Da in unserer Anstalt das Leimen des Metalles mit Holz für hochbeanspruchte Teile noch nicht angewandt wurde, hat man sich in diesem Falle entschlossen, auf die Metallteile spezielle Holzgurten zu nieten und dann mit dem Holm, Holz auf Holz, zu verleimen. Ein statischer Versuch des Flügels hat die Festigkeit der Verbindung bestätigt.