

Einige Bemerkungen über die Anforderungen der in verschiedenen Ländern geltenden Segelflugzeugbauvorschriften bezüglich der im Windschlepp vorkommenden Belastungen des Segelflugzeuges

Von Dipl.-Ing. Irena Kaniewska, Luftfahrtinstitut Polen
(Argentinien)

Vortrag am 9. OSTIV-Kongress, Februar 1963, Junin

Die OSTIV bedauert, mitteilen zu müssen, dass die Verfasserin dieses Vortrages, Dipl.-Ing. Irena Kaniewska, am 2. Oktober 1963 während eines Nachtfluges mit einem Motorflugzeug den Fliegtod fand.

Frau Kaniewska war als polnische Pilotin und Segelflugzeug-Konstrukteurin in weiten Kreisen bekannt. Von 1946 bis 1954 war sie an der Versuchsanstalt für Segelflugzeuge (SZD) in Bielsko tätig und trug massgeblich zur Konstruktion der Typen Mucha, Kaczka, Jaskolka, Bocian und Czaplą bei. Daneben betätigte sie sich als sehr aktive Fluglehrerin für den Motor- und Segelflug und bildete zahlreiche junge Piloten aus. Seit dem Jahre 1954 arbeitete sie am Flugwissenschaftlichen Institut in Warschau, wo sie sich besonders den Festigkeitsproblemen und den Bauvorschriften bei Segelflugzeugen widmete. Sie beteiligte sich sodann an den Arbeiten, die in den OSTIV-Bauvorschriften für Standard-Segelflugzeuge ihren Ausdruck fanden.

* * *

OSTIV regrets to announce that the author of this paper, Dipl.-Ing. Irena Kaniewska, lost her life on the 2nd October 1963 during a night flight in a powered aircraft.

Madam Kaniewska was very well known as a Polish pilot and sailplane designer. From 1946 to 1954, she was active in the Sailplane Research Institute in Bielsko, and made a large contribution to the design of the following sailplanes: Mucha, Kaczka, Jaskolka, Bocian, Czaplą. Apart from this, she was a very active powered aircraft and sailplane flight instructor, and she trained a large number of young pilots. From 1954 onwards, she worked in the Scientific Flight Institute at Warsaw where she devoted herself particularly to the problems of the strength of sailplanes and sailplane airworthiness requirements. She took an active part in the work which resulted in the OSTIV Airworthiness Requirements for Standard Class Sailplanes.

Der Windschleppstart findet heutzutage in vielen Ländern Anwendung. Mit Rücksicht auf die aus niedrigen Betriebskosten, hoher Leistungsfähigkeit und leichter Installation derartiger Startanlagen in beliebigem Gelände resultierenden wirtschaftlichen Vorteile kann man eine weitere Verbreitung dieser Startmethode erwarten.

Ihr Hauptnachteil besteht in der verhältnismässig kleinen Höhe, auf welche das Segelflugzeug mit Hilfe der gegenwärtig angewandten Winden gebracht werden kann, was häufig die Zweckmässigkeit dieser Methode in Frage stellt. Eine grössere Starthöhe kann man mit stärkeren Winden (etwa 200 PS anstelle der bisherigen 90-120-PS-Leistung) und mittels Steigerung der Segelflugzeuggeschwindigkeit erreichen, was bei Ausnützung der Festigkeit der Segelflugzeugkonstruktion einen steileren Steigwinkel anwenden lässt.

Das Segelflugzeug wird in der Regel festigkeitsmässig unter Berücksichtigung der Höchstwerte der Belastungen, welche im freien Fluge in den durch die Vorschriften gegebenen Fällen vorkommen können, entworfen. Die Betriebs-



bedingungen des Segelflugzeuges beim Start mit einer Winde legt man so fest, dass sie keine Überschreitung der zulässigen, für den freien Flug bestimmten Belastungen verursachen.

Leider besprechen die gegenwärtigen Vorschriften die Windschleppbelastungen nur sehr allgemein. Deshalb muss man befürchten, dass entweder

die Festigkeit des Segelflugzeuges nicht genügend ausgenutzt wird, was eine Senkung der Segelflugzeugleistung beim Windschlepp zur Folge hat,

oder dass

manche Segelflugzeugteile während des Windschlepps grösseren als den bei den Bedingungen des freien Fluges vorkommenden und als massgeblich angenommenen Belastungen unterworfen sein können.

Die Vorschriften geben, wie am Anfang des Textes betont wird, nur die Mindestanforderungen an, deren Erfüllung aus Sicherheitsgründen notwendig ist, und welche der Konstrukteur dokumentieren muss. Deshalb sollten die in den Vorschriften enthaltenen Anforderungen ausschliesslich jene Fälle umfassen, deren Vorkommen von wesentlicher Bedeutung für die Konstruktion des Segelflugzeuges ist.

Die in den Vorschriften angegebenen Kombinationen von Flugzustandfällen und Belastungen, welche der Konstrukteur überprüfen muss, sollten möglichst verengt und so festgelegt sein, dass zur Auswahl massgebender Fälle keine zeitraubenden Rechnungen durchgeführt werden müssen, besonders, wenn ihre Parameter auf Grund angenäherter Voraussetzungen angenommen wurden.

Konkrete Probleme, bei welchen, in Anwendung der BCAR-Vorschriften, Ausg. 1960, der OSTIV-Ausg. 1960, der in der Schrift der OSTIV, März 1962, angegebenen «Winch Launching Requirements» und der ungarischen, polnischen und DDR-Vorschriften, zweifelhafte Fälle vorkommen.

A. Berücksichtigung von Massenkräften

Die vorangehend erwähnten Vorschriften lassen dem Konstrukteur freie Hand bei der Berücksichtigung oder Vernachlässigung von Massenkräften. Anwendung findet die Bezeichnung: «inertia forces may be assumed to achieve equilibrium».

Aus folgenden Gründen darf bei der Berücksichtigung oder Vernachlässigung der auf die Segelflugzeugkonstruktion wirkenden Massenkräfte keine Unklarheit zugelassen werden:

1. Die Massenkräfte können die Belastungen der Segelflugzeugkonstruktion verringern und deshalb vernachlässigt werden. In einem anderen, oder sogar in diesem Falle, können jedoch die Massenkräfte die Belastung eines anderen Segelflugzeugelementes vergrößern und sogar die Zerstörung desselben verursachen. Selbstverständlich müssen in solchen Fällen die Massenkräfte in den Festigkeitsberechnungen des Segelflugzeuges berücksichtigt werden.

2. Im Text der «Winch Launching Requirements, OSTIV 1962» wurde angegeben, dass bei der Bestimmung des Ausgangszustandes die von linearen Beschleunigungen stammenden Massenkräfte zur Erhaltung des Kräftegleichgewichtes des Systems berücksichtigt werden können. In diesem Falle wird die Berücksichtigung der Massenkräfte dazu führen, dass dank diesen das Gleichgewicht des Systems bei jeder beliebigen Seilzugkraft und bei deren beliebigem Wirkungswinkel erlangt werden kann. Dies verursacht, dass der betrachtete Flugzustand, der nachher in den Vorschriften als Ausgangszustand zur Superposition der Belastungen durch Böen, Seilzerren usw. betrachtet wird, völlig unbezeichnet bleibt.

Vorschlag: In den Vorschriften soll angegeben werden, dass die Massenkräfte in der Regel immer berücksichtigt werden müssen. In Fällen, in denen deren Berücksichtigung nicht verlangt wird, eventuell wenn die Wirkung der Massenkräfte von geringer Bedeutung ist, soll jedoch eine entsprechende Bemerkung angebracht werden, dass die Massenkräfte unberücksichtigt bleiben können.

B. Der Flugausgangszustand

Der Flugausgangszustand des Segelflugzeuges, mit dessen Belastungen sich später die zusätzlichen Belastungen durch Böen, Seilzerren usw. summieren, ist in den Vorschriften BCAR und OSTIV, Ausg. 1960, nur sehr allgemein als eine Reihe möglicher Kombinationen von Werten und Wirkungswinkeln der Seilzugkraft bezeichnet. Daraus folgt, dass jede dieser Kombinationen einen anderen Auftriebskoeffizienten C_2 des Flügels, also auch eine andere Auftriebskraft am Flügel und eine andere Kraft am Höhenleitwerk bestimmt.

Daraus geht eine grosse Zahl möglicher Kombinationen hervor, von denen jede wieder andere Parameter des Flug-

ausgangszustandes, dessen Bezeichnung vor dem Superponieren zusätzlicher Belastungen durch Böen, Seilzerren usw. notwendig ist, bestimmt. In der Bearbeitung der OSTIV, 1962, wurde diese unendliche Kombinationszahl mit Recht auf drei charakteristische (und gefährlichste) Flugausgangszustände begrenzt. Aber auch diese Anforderungen befreien den Konstrukteur von der Durchführung zeitraubender (graphischer oder rechnerischer) Analyse nicht. Ohne diese Analyse ist er nicht imstande, den Neigungswinkel des Seiles zu bestimmen. Dieser Neigungswinkel ist ein Ausgangsparameter zur Bestimmung des Flugausgangszustandes des Segelflugzeuges.

Vorschlag: Die Anforderungen der Vorschriften bezüglich der Flugausgangszustandbestimmung sind zu vereinfachen, nämlich:

1. Dem Konstrukteur ist nur die Annahme der zur Flugbahn vertikalen Kräftekomponenten zu erlauben.

2. Die Anzahl der charakteristischen Flugausgangszustände ist auf einen einzigen, analog dem in OSTIV, 1962, P. 2.4.3. angegebenen Flugausgangszustand, das heisst zum stationären horizontalen Fluge des Segelflugzeuges mit ganz nach oben ausgeschlagenem Höhenruder und bei maximal 75° nach unten geneigtem Schleppseil, zu begrenzen. Die Schleppseilkraft soll aus den Gleichgewichtsbedingungen in Richtung der Segelflugzeuglängsachse, ohne Berücksichtigung der von den zur Flugbahn parallelen Kräften stammenden Momente, hervorgehen.

Diese Vorschläge können wie folgt begründet werden:

Ad 1. Die Geschwindigkeit des Segelflugzeuges längs der Flugbahn ist konstant, mit Ausnahme der ersten Sekunden nach dem Abheben vom Boden. Diese Tatsache wurde sowohl durch die Praxis, wie auch durch Messungen bestätigt. Resultate solcher Messungen wurden durch Ing. Gedeon (Polytechnikum Budapest, Ungarn) durchgeführt und im Bericht «Belastungsmessungen im Windenschlepp» während des OSTIV-Kongresses im Jahre 1958 vorgetragen. Die Erhaltung der konstanten Geschwindigkeit während des Aufstiegs weist darauf hin, dass die zur Flugrichtung parallelen Komponenten aller äusseren Kräfte im Gleichgewicht sind.

Der Vorschlag der Vernachlässigung der zur Flugbahn parallelen Kräfte ist also durch Tatsachen begründet. Die einzige vorgeschlagene Vereinfachung besteht in der Vernachlässigung der von diesen zur Flugbahn parallelen Kräften stammenden Momente.

Man sollte sich jedoch darüber klar sein, dass in den BCAR- und OSTIV-Vorschriften auch manche Vereinfachungen vorgenommen wurden. Die darin angenommene horizontale Lage des Segelflugzeuges ist nur in der Endphase des Windenschleppfluges zutreffend; im ganzen, der letzten Phase vorhergehenden Fluges aber befindet sich das Segelflugzeug nicht in horizontaler, sondern in sehr steiler Position, was das Auftreten zusätzlicher, von der Massenverteilung des Segelflugzeuges abhängiger Längsmomente verursacht.

Ad 2. a) Wenn die in Punkt 1 erwähnte Voraussetzung angenommen wird, das heisst wenn bei der Bestimmung des Flugausgangszustandes nur die zur Fluglinie vertikalen Kräfte in Betrachtung gezogen werden, dann werden die in OSTIV, 1962, Punkte 2.4.2. und 2.4.3. angegebenen Fälle eindeutig sein.

b) Praktisch gesehen, wiederholt der im Punkt 2.4.1. der oben erwähnten Vorschriften angegebene Fall den Fall 2.6. ha

(der als massgeblich für das Schleppschloss und dessen Befestigungsstelle am Segelflugzeug gilt), besonders wenn die Berücksichtigung der Massenkräfte nicht verlangt wird. Die Belastung des Höhenleitwerks wird im Falle 2.4.1. zweifellos kleiner sein als im Falle 2.4.3., in welchem das Höhenruder ganz nach oben ausgeschlagen ist.

Es scheint, dass der Fall 2.4.1. wegen seiner Übereinstimmung mit dem Fall 2.6. aus dem Vorschriftentext beseitigt werden kann. Dadurch werden dem Konstrukteur mühevoll Berechnungen eines weiteren Flugausgangszustandes erspart.

Bei der Annahme der vereinfachenden Voraussetzung, welche auf der Vernachlässigung der Wirkung parallel zur Flugrichtung gerichteter Kräfte auf das Längsmoment des Segelfluges beruht, kann der Flugausgangszustand des Segelfluges auf einfache Weise bestimmt werden.

Der übersichtliche Aufbau der Beziehungen, welche die am Flügel und am Höhenleitwerk vorkommenden Kräfte wie auch die Seilzugkraft bestimmen, erlaubt es, auf einfache Weise den Einfluss einzelner Parameter des Segelfluges (wie z. B. Anordnung des Schleppschlosses, Winkel zwischen Flossen- und Flügelsehne, Ausschlagwinkel des Ruders, Fluggeschwindigkeit, usw.) auf den Flugausgangszustand und auf die Belastungen einzelner Konstruktionselemente des Segelfluges zu ermitteln.

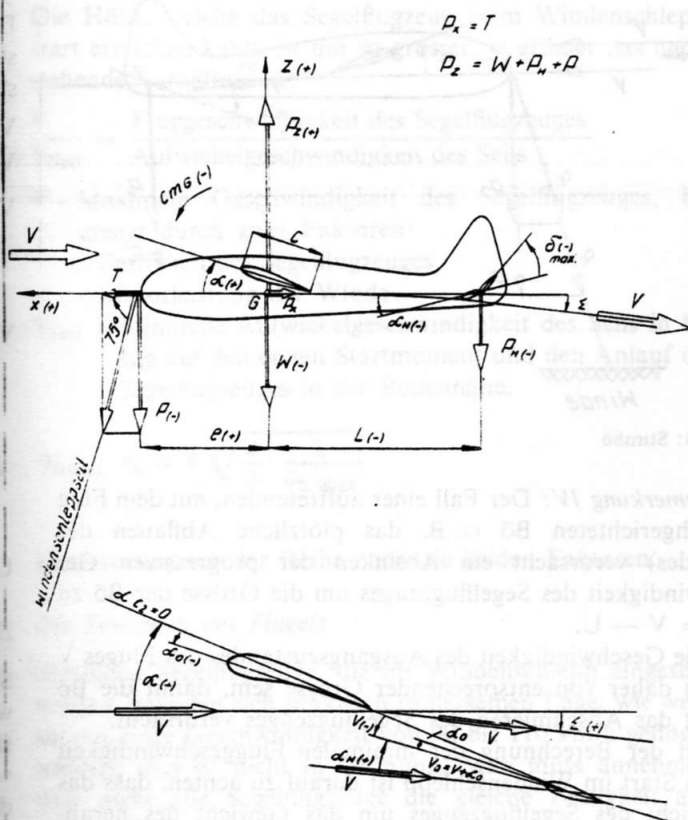


Fig. 1: Ausgangszustand des Fluges

Bemerkung: Der Wirkungsgrad des Höhenleitwerks ist ein für die Segelflugzeugbelastungen entscheidender Faktor. Man muss sich vor der Annahme zu niedriger Werte der maximalen Auftriebskraft des Höhenleitwerks C_{ZHmax} bei maximalem Ruderausschlag nach oben hüten.

Die bei Segelflugzeugen angewandten Höhenleitwerke haben verhältnismässig grosse Streckung: $A_H = 4,5$ bis $5,0$,

was bei negativem Anstellwinkel des Leitwerks $\alpha_H < 0$ (was in der Regel im Windenschlepp vorkommt) und bei $\delta_{max} = -20^\circ + 30^\circ$

$$C_{ZHmax} \approx 1,6-1,8$$

ergibt, aber nicht

$$C_{ZHmax} = 1,2$$

wie es die ungarischen und polnischen Vorschriften bestimmen. Selbstverständlich ist auch, dass der Längsmomentenkoeffizient des Flügels C_{mG} für die vorderste Schwerpunktlage anzunehmen ist.

C. Böenbelastungen

Die Anforderungen der Vorschriften geben an, dass zusätzliche Belastungen des im Flugausgangszustande befindlichen Segelfluges, wenn es eine vertikal zur Fluglinie nach oben oder nach unten gerichtete Böe trifft, zu berücksichtigen sind. Diese Böenbelastungen sollten in derselben Weise wie für das im freien Fluge befindliche Segelflugzeug errechnet werden.

1. Der Wert des Minderungsfaktors F (Alleviation Factor)

Während des Windenschlepps verhält sich das Segelflugzeug nicht so wie im freien Fluge, sondern als ob es mittels des gespannten Schleppseils am Boden verankert wäre.

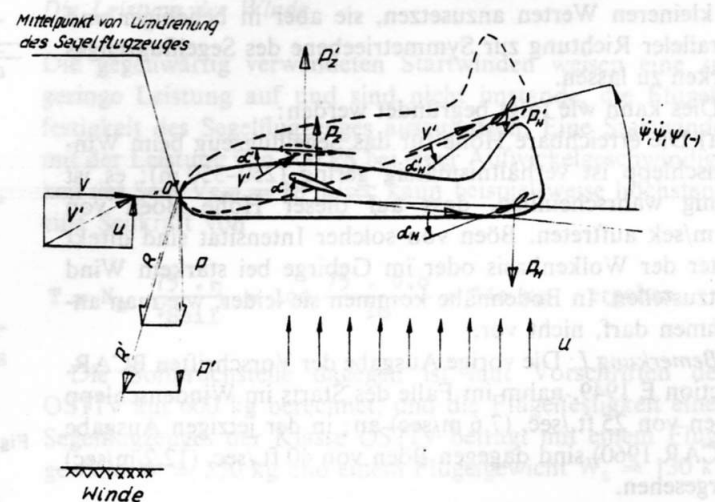


Fig. 2: Aufwind

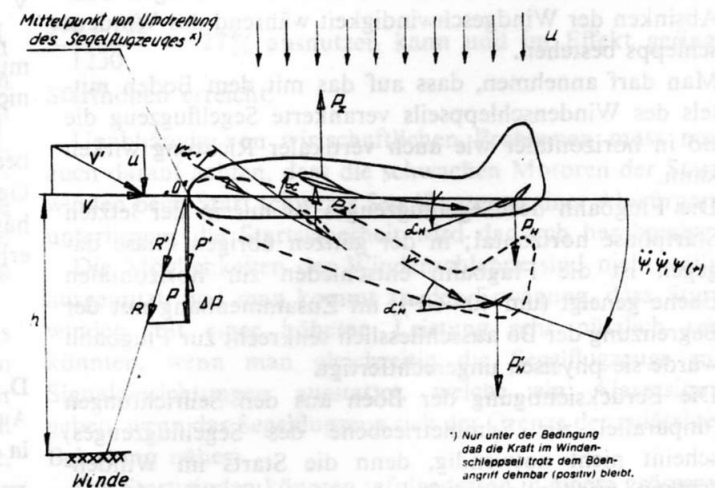


Fig. 3: Abwind

¹⁾ Nur unter der Bedingung, dass die Kraft im Windenschleppseil trotz dem Böenangriff dennoch (positiv) bleibt.

Wenn eine Bö das im freien Fluge befindliche Segelflugzeug trifft, wird es wegen der Anstellwinkelveränderung einer vertikalen Beschleunigung unterworfen und eine vertikale Bewegung einleiten. Ein solches Verhalten des Segelflugzeuges wirkt unter anderem auf die Verringerung der Böenbelastungen ein, was in den Vorschriften durch die Anwendung des Minderungsfaktors F berücksichtigt wurde.

Im Windenschleppfall ist die Annahme desselben F-Wertes wie beim freien Fluge unrichtig, denn das mittels des Schleppseils mit der Winde verbundene Segelflugzeug reagiert anders, als wenn es sich im freien Fluge befände. Bei vertikal nach oben gerichteter Bö ist die Dehnung des Schleppseils vernachlässigbar klein (ausgenommen wenn es reißt), und deshalb ist die Drehung des Segelflugzeuges um den Seilangriffspunkt die einzige Reaktion.

Auch bei vertikal nach unten gerichteter Bö kann man erwarten, dass das Segelflugzeug eine Drehung um den Seilangriffspunkt vollzieht, vorausgesetzt, dass die Bö kein Nachlassen des Schleppseils, sondern nur eine Verringerung seiner Zugkraft verursacht.

2. Die Richtungswirkung und die Intensität der Böen

In den Vorschriften sind die Böen mit einer Geschwindigkeit von 10 m/sek ausschliesslich senkrecht zur Flugbahn betrachtet. Es scheint, dass es zweckmässiger wäre, die Böen in kleineren Werten anzusetzen, sie aber in beliebiger und paralleler Richtung zur Symmetrieebene des Segelflugzeuges wirken zu lassen.

Dies kann wie folgt begründet werden:

a) Die erreichbare Höhe für das Segelflugzeug beim Windenschlepp ist verhältnismässig gering (250–350 m); es ist wenig wahrscheinlich, dass auf dieser Höhe Böen von 10 m/sec auftreten. Böen von solcher Intensität sind direkt unter der Wolkenbasis oder im Gebirge bei starkem Wind festzustellen. In Bodennähe kommen sie leider, wie man annehmen darf, nicht vor.

Bemerkung I: Die vorige Ausgabe der Vorschriften BCAR, Section E 1949, nahm im Falle des Starts im Windenschlepp Böen von 25 ft./sec. (7,6 m/sec) an; in der jetzigen Ausgabe (BCAR 1960) sind dagegen Böen von 40 ft./sec. (12,2 m/sec) vorgesehen.

b) Man darf annehmen, dass der Böenangriff aus einer beliebigen symmetrischen Richtung wirken kann, denn:

- die Bö, die das Segelflugzeug erfasst, kann nicht nur im thermischen Aufwind, sondern auch im Ansteigen oder Absinken der Windgeschwindigkeit während des Windenschlepps bestehen.

Man darf annehmen, dass auf das mit dem Boden mittels des Windenschleppseils verankerte Segelflugzeug die Bö in horizontaler wie auch vertikaler Richtung wirken kann.

- Die Flugbahn des Segelflugzeuges ist nur in der letzten Startphase horizontal; in der ganzen übrigen Phase dagegen ist die Flugbahn entschieden zur horizontalen Ebene geneigt (um 40° – 60°); im Zusammenhang mit der Begrenzung der Bö ausschliesslich senkrecht zur Flugbahn würde sie physisch ungerechtfertigt.
- Die Berücksichtigung der Böen aus den Seilrichtungen (unparallel zur Symmetrieebene des Segelflugzeuges) scheint nicht notwendig, denn die Starts im Windenschlepp werden grundsätzlich gegen die Windrichtung durchgeführt.

Vorschlag: Eine Ergänzung der Vorschriften scheint wie folgt notwendig: Das Segelflugzeug kann während des Starts im Windenschlepp einer beliebig gerichteten symmetrischen Bö begegnen (d. h. parallel zur Symmetrieebene des Segelflugzeuges), und zwar mit einer Geschwindigkeit von 4 m/sec.

Eine maximale Windgeschwindigkeit muss vorgesehen werden, bei welcher die Starts stattfinden können, denn die Intensität des Windstosses ist mit seiner Geschwindigkeit verbunden.

Bemerkung II: Die Flugzeugvorschriften BCAR, Section D, Ausgabe 1959, in P. D3-2,3,4 berücksichtigen Stirnböen von 25 ft/sec beim Koeffizienten $F = 1$ für Flugzeuge, die mit ausgefahrenen Klappen starten und landen.

Bemerkung III: Im Falle einer Stirnbö ist der Minderungsfaktor der Bö $F = 1$; die Belastung des Segelflugzeuges wächst dagegen im Verhältnis zum Ausgangszustand des Fluges wie

$$\left(\frac{V + U}{V}\right)^2$$

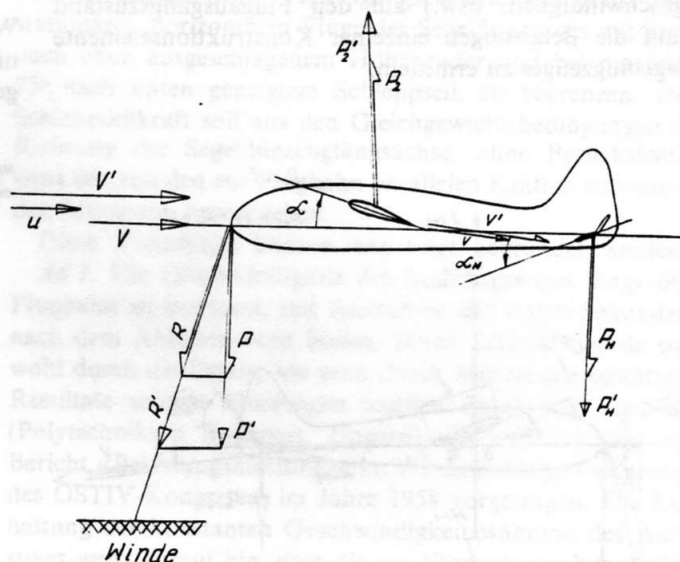


Fig. 4: Stirnbö

Bemerkung IV: Der Fall einer auftretenden, mit dem Flug gleichgerichteten Bö (z. B. das plötzliche Abflauen des Windes) verursacht ein Absinken der progressiven Geschwindigkeit des Segelflugzeuges um die Grösse der Bö zu $V' = V - U$.

Die Geschwindigkeit des Ausgangszustandes des Fluges V muss daher von entsprechender Grösse sein, damit die Bö nicht das Abschmieren des Segelflugezeuges verursacht.

Bei der Berechnung der minimalen Flugeschwindigkeit beim Start im Windenschlepp ist darauf zu achten, dass das Gewicht des Segelflugzeuges um das Gewicht des herabhängenden Seils der Winde und eventuell der Rückholwinde erhöht wird:

$$V = V_s \sqrt{\frac{W + \text{Gewicht des Seils}}{W}}$$

D. In den Vorschriften fehlen die Anforderungen für die Ausrüstung des Segelflugzeuges mit einer Startkupplung in der Nähe des Schwerpunktes.

Die Anforderungen der Vorschriften beziehen sich ausschliesslich auf jene Segelflugzeuge, die mit sogenannten

Vorderkupplungen ausgerüstet sind. Diese Kupplungen sind praktisch so weit vom Schwerpunkt am Rumpfbug angebracht, dass das maximale Längsmoment, das beim Höhenruderausschlag nach oben verwirklicht werden kann, viel zu klein wird, damit das Segelflugzeug den kritischen Anstellwinkel noch erreichen kann.

Es kommt aber vor, dass sich die Kupplungen in der Nähe des Schwerpunktes befinden (sog. Unterkupplungen, oder auch indirekt angebrachte Kupplungen, vermittlels welcher das Segelflugzeug imstande ist, beim Start im Windenschlepp das $C_{z \max}$ und damit auch eine grössere Höhe zu erreichen).

Für die so angebrachten Kupplungen sind die Möglichkeiten der Bestimmung des Ausgangszustandes des Fluges gemäss den angegebenen Kriterien in den Vorschriften BCAR und OSTIV nicht vorhanden. Den Ausgangszustand des Fluges bestimmen die Gleichgewichtskräfte beim vollen Ausschlag des Höhenruders.

Vorschlag: In den Vorschriften sind die Anforderungen in bezug auf die Segelflugzeuge, in denen die Startkupplungen in der Nähe des Schwerpunktes angebracht sind, zu berücksichtigen.

E. Die Belastungsfälle am Segelflugzeug beim Start im Windenschlepp

Die Höhe, welche das Segelflugzeug beim Windenschleppstart erreichen kann, ist um so grösser, je grösser das nachstehende Verhältnis ist:

$$\frac{V}{V_{\text{Seil}}} = \frac{\text{Fluggeschwindigkeit des Segelflugzeuges}}{\text{Aufwickelgeschwindigkeit des Seils}}$$

V – Maximale Geschwindigkeit des Segelflugzeuges, begrenzt durch zwei Faktoren:

- Festigkeit des Segelflugzeuges
- Motorleistung der Winde

V_{Seil} – Minimale Aufwickelgeschwindigkeit des Seils in bezug auf den ersten Startmoment und den Anlauf des Segelflugzeuges in der Bodennähe.

$$V_{\text{Seil}} V_s = 4 \sqrt{\frac{W}{S} \frac{1}{C_{z \max}}}$$

Untersuchen wir der Reihe nach die beiden Faktoren.

Die Festigkeit des Flügels

Sämtliche Segelflugzeuge, die im Windenschlepp eingesetzt werden, befinden sich praktisch in derselben Lage, wie wenn sie mit einer Geschwindigkeit von 90 bis 110 km/h geflogen werden; dies ist nicht in Ordnung. Man muss annehmen, dass nicht alle Segelflugzeuge die gleiche Festigkeit aufweisen. Zum Beispiel werden laut BCAR die Segelflugzeuge in zwei Gruppen eingeteilt: «Cloud Flying» ist die stärkere und «No Cloud Flying» die schwächere Gruppe im bezug auf die Festigkeit.

Wenn man von einer bestimmten Festigkeit des Flügels die auf den Fall eines stationären Abfangfalles mit dem Lastvielfachen « n » bei einer maximalen Geschwindigkeit des Segelflugzeuges ausgerichtet ist, während des Starts im Windenschlepp in einer ideal ruhigen Atmosphäre ausgeht, so wird für die am Rumpf angebrachte Startkupplung gemäss den Vorschriften BCAR und OSTIV:

$$V_W < V_S \sqrt{\frac{C_{z \max}}{C_{mG} + \left(\frac{L}{e} - 1\right) (D_v + D_s)}} \sqrt{n \left(1 - \frac{n-1}{n} \cdot \frac{W_T}{W}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{L}{e} - 1\right) D_\alpha - 1\right]}$$

Im Falle thermischer Aufwinde und bei einem starken Wind müsste die Geschwindigkeit um mindestens 4 m/sec vermindert werden.

Die so berechnete Geschwindigkeit, die der Festigkeit des Flügels entspricht, kann jedoch für gewisse Segelflugzeugtypen und insbesondere für das Höhenleitwerk und das Rumpfbende beträchtliche Belastungen ergeben, die in einem freien Flug nicht auftreten (z. B. beim Hochreissen). Eine solche Möglichkeit tritt bei Schul- und Übungssegelflugzeugen mit einem grossen Stabilitätsvorrat und konstruktiv vorgesehenem grossem Ausschlagswinkel des Höhenruders ein.

Es hat den Anschein, dass es zweckmässig wäre, anstelle der Veränderung der Geschwindigkeit eine Verstärkung des Höhensteuers vorzunehmen, um die Starthöhe des Segelflugzeuges nicht herabzusetzen.

Die Leistung der Winde

Die gegenwärtig verwendeten Startwinden weisen eine zu geringe Leistung auf und sind nicht imstande, die Flügelfestigkeit des Segelflugzeuges auszunutzen. Eine Startwinde mit der Leistung von 100 PS bei einer Aufwickelgeschwindigkeit des Seils $V_{\text{Seil}} = 18$ m/sec kann beispielsweise höchstens eine Seilkraft von

$$T = N_s \frac{75 \cdot \eta}{V_{\text{Seil}}} = 100 \frac{75 \cdot 0,8}{18} = 340 \text{ kg} \text{ ergeben.}$$

Die Sollbruchstelle dagegen ist laut Vorschriften der OSTIV auf 600 kg berechnet, und die Flügelfestigkeit eines Segelflugzeuges der Klasse OSTIV beträgt mit einem Fluggewicht $W = 330$ kg und einem Flügelgewicht $W_s = 130$ kg $n(W - W_T) + W_T = 5,5 \cdot 200 + 130 = 1230$ kg.

Daraus folgt, dass eine Startwinde mit einer Leistung von 100 PS die Segelflugzeugfestigkeit nur zu

$$\frac{340 \cdot 100}{1230} = 27\% \text{ ausnutzen kann und im Effekt geringe Starthöhen erreicht.}$$

Unabhängig von wirtschaftlichen Problemen muss man auch darauf achten, dass die schwachen Motoren der Startwinden beim Start schwerer Segelflugzeuge einer Abwürgung unterliegen; die Starticherheit wird dadurch herabgesetzt.

Die Möglichkeiten des Windenschlepps sind nicht völlig ausgenutzt, und man kommt zu der Erwägung, dass Startwinden mit einer höheren Leistung sehr nützlich sein könnten, wenn man gleichzeitig die Segelflugzeuge mit Signaleinrichtungen ausstattet, welche ein Alarmsignal geben, wenn das Segelflugzeug sich der Grenze der zulässigen Belastung nähert.

Die Startwinden könnten infolgedessen in einem grösseren Ausmasse Anwendung finden.

SYMBOLS

V_w	Geschwindigkeit beim Windenschlepp
V_s	Mindestgeschwindigkeit
C_z	Auftriebsbeiwert
C_{mG}	Momentenbeiwert
e	Abstand des Seilangriffspunktes vom Schwerpunkt
D_v	Einfluss des Winkels zwischen den Sehnen der Höhenflosse und des Flügels auf den Flugzustand
D_η	Einfluss des Höhenruderausschlags auf den Flugzustand
n	Lastvielfaches
W_T	Flügelgewicht
W	Gewicht des Segelflugzeuges
D_α	Einfluss des Flügelanstellwinkels (α) auf den Flugzustand
L	Abstand des Höhenleitwerks vom Schwerpunkt

LITERATUR

- (1) OSTIV Airworthiness Requirements, issue 1960.
- (2) C. O. Vernon: OSTIV Winch Launching Requirements, 8th March 1962.
- (3) OSTIV Standard Class Airworthiness Panel. Helsinki Meeting November 1961, p. 5.
- (4) ARB British Civil Airworthiness Requirements, Section E, Gliders, issue 1960.
- (5) ARB British Civil Airworthiness Requirements, Section E, Gliders, issue 1948.
- (6) J. Gedeon: «Belastungsmessungen im Windenschlepp», OSTIV Publication V, 1958.
- (7) J. Sandauer: «Charges sur un planeur en air agité», OSTIV Publication V, 1958.
- (8) J. Sandauer: «Obciążenia szybowca w burzliwej atmosferze» («Segelflugzeugbelastung in böiger Atmosphäre»), Technika Lotnicza (Monatsschrift der Vereinigung der Luftfahrtingenieure in Polen). 1958, Nr. 5, und 1954, Nr. 6.
- (9) W. Nowakowski: «Obciążenia szybowca w czasie startu przy pomocy wyciągarki» («Segelflugzeugbelastung beim Windenschleppstart»), Skrzydłata Polska (Offizielle Wochenzeitschrift des Aero-Clubs von Polen), 1948.
- (10) Polskie Przepisy Budowy Szybowcow (Polnische Bauvorschriften für Segelflugzeuge), 1959.

(Schweizer Aero-Revue 1964/12 und 1965/1)