

Sicherheitsreserven beim Windenstarten

Windenseile aus Kunststoff

Karl Bühler SG Fribourg



Warum dieser Vortrag:

Wir betreiben eine Risikosportart! Mittelwert der tödlichen Unfälle in der Schweiz über die letzten 15 Jahre: 1 tödlicher verunfallter Pilot pro Jahr auf 880 aktive Piloten!

Jeder Unfall ist ein Unfall zuviel.

Dem Risikomanagement kommt höchst Priorität zu.

Wo lauern die Gefahren? Das Wissen über die Sicherheitsreserven in jeder Lage entschärft die Gefahrensituation bereits wesentlich.

In den letzten Jahren sind Vorfälle beim Windenstarten leicht angestiegen.
(Warum? Nicht statistisch relevant, da zuwenig Fälle, Gott sei Dank)

Die BGA hat vor ein paar Jahren eine Informationskampagne lanciert. In den letzten 2 Jahren sind Windenunfälle in den UK zurückgegangen (2008 6 serious, 0 fatal)

Aktuelle Situation

Um auch moderne Doppelsitzer und motorisierte Segelflugzeuge hochziehen zu können, verwendet man immer mehr:

- Leistungsstärkere Winden (300PS und mehr) und
- Schleppseile aus Kunststoff.

Beide Aufrüstungen haben zum Ziel die Seilkraft zu erhöhen um grössere Schlepphöhen zu erreichen.

Wie wirken sich solche Änderungen auf die Sicherheitsreserven beim Windenbetrieb aus?

Die Verfahren des Windenstartens haben Tradition; Sind sie aber noch aktuell?

Vorfall Roland Grunder: ASH 26E, Start zum etablieren der besten Steuereinstellungen in Amlikon (Stahlseil).

Dann Starts in Olten (Dyneemaseil, sonst gleiche Winde).

... im Gegensatz zu Amlikon war es nicht möglich, trotz voll gestossenen Knüppel, die Flugzeugnase unmittelbar nach dem Start nach unten zu steuern. Erst nach Erreichen von ca. 30 Grad Steiglage wurde das Höhensteuer wirksam....

Im Folgenden werden wir speziell auf die Auswirkungen beim Aufrüsten auf **Kunststoffseile** eingehen Wo liegen die Vorteile und welche Situationen werden verschärft.

Die verschiedenen Unfallkategorien beim Windenstarten

Kategorie	Anteile
Flügelberührung am Boden	9 %
Unkontrollierter Anfangssteigflug	14 %
Startunterbruch, Ausklinken	17 %
Defekt an der Winde	25 %
Seilrisse	22 %
Übriges (Abkippen, Kollision ...)	13 %

Typen von Unfällen beim Winderstarten. Die beiden ersten Arten von Unfällen führen fast immer zu schweren bis fatalen Verletzungen.

Videos



Passiert hauptsächlich erfahrenen Piloten!

AUSKLINKEN BEVOR DER FLUEGEL DEN BODEN BERUEHRT!

Kunststoffseil (Dyneema)

	Dyneema 5 mm	Stahlseil 5 mm
Reissfestigkeit	ca. 2000 daN	ca. 1650 daN
Spez. Gewicht	0.95 g/cm ³	5 g/cm ³
Gewicht pro Meter	10-15 g/m	80-90 g/m
Elastizität (Faser)	90 kN/mm ²	200 kN/mm ²

- Das Dyneema-Seil ist **wesentlich leichter** als das Stahlseil.
- Das Dyneema-Seil ist etwas elastischer als das Stahlseil.

Üblicherweise werden Seile aus Polyethylenfasern (Dyneema) verwenden, die einerseits sehr leicht sind und andererseits eine sehr hohe Zugfestigkeit (250–300 daN/mm²) aufweisen. Die Faser ist sehr lange haltbar und hat eine hohe Beständigkeit gegen Abrieb, Feuchtigkeit, UV-Strahlen und Chemikalien.

Die Seildicke die für Schleppseile verwendet wird, ist in etwa die gleiche wie bei einem Stahlseil.

Der typische **Elastizitätsmodul** eines Stahlseiles ist also etwas doppelt so gross wie bei Dyneema (Nylon 2-4, Kautschuk 0.001-0.01). Dies bedeutet, dass sich eine 1000 m lange Stahlseilfaser unter einer Zugkraft von 250 daN (Kp für die alten Physiker) um 0.5 m verlängern wird, ein Dyneema Seilfaser um ca. 1m. Dies ist jedoch nur ein indikativer Wert, die effektive Elastizität des Seils hängt zudem von der Art der Verflechtung im Seil ab.

Gemäss der Erfahrungen wirkt sich diese Elastizität eher angenehm aus, es konnte kein spezieller „Gummiseil“ >Effekt festgestellt werden.

Kunststoffseil

Vor- und Nachteile im Clubbetrieb

Vorteile

- leichter zu handhaben
- größere Schlepphöhen
- keine Versprödung der Seile (keine Kaltverformung)

Nachteile

- Vorsichtiger Umgang ist erforderlich
- In der Anschaffung teurer als Stahlseil
- Lebensdauer der Kunststoffseile (?)

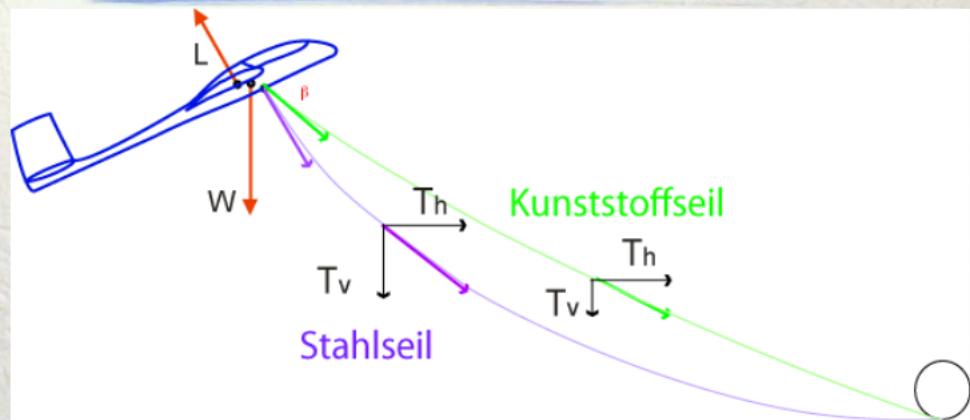
Das Schleppseil von 1 km Länge wiegt statt 120 kg nur 18 kg.

Einfach zu spleissen, Die Verletzungsgefahr bei ausgerissenen Kardeelen entfällt.

Kann ev. leichter „angesaugt“ werden.

Winden müssen leicht umgerüstet werden (keine scharfen Kanten, andere Kappvorrichtung).

Auswirkungen des Kunststoffseils im Steigflug



- Seilkraft am Flugzeug = Seilkraft an Winde + Seilgewicht
- Weniger Seildurchhang, mehr Kraft in Flugrichtung.
- Kleinere Flächenbelastung, niedrigere Minimalgeschwindigkeit

Bei der gleichen Zugkraft der Winde gilt: Je schwerer das Seil, desto grösser der Seildurchhang. Durch das Gewicht des Seils wird die Zugkraft am Flugzeug etwas vergrössert. Allerdings wirkt diese zusätzliche Kraft in Richtung der Schwerkraft (!?), sie bringt keinen zusätzlichen Vortrieb sondern vergrössert nur die Flächenbelastung (Lastvielfache). Die Minimalgeschwindigkeit ist somit beim Verwenden eines Kunststoffseils tiefer und man hat, bei gleicher Schleppgeschwindigkeit, eine grössere Geschwindigkeitsreserve!

Aufgabe: Wie èblich muss für jeden Flugzeugtyp die passende Seilkraft, resp. Windenleistung im Steigflug ermittelt werden (-> Tabelle)

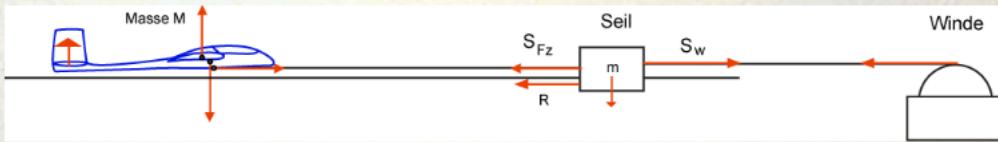
Im Schlepp gibt es kaum Seildurchhang. Somit entfällt für den Windenfahrer bei seiner Beurteilung, ob zu schnell oder zu langsam geschleppt wird, der Seildurchhang als „Messgröße“. (Am Anfang schleppt man eher zu langsam).

Die Änderungen wirken sich alle positiv auf das Verhalten im Schlepp aus.

Aber Startphase ??

Anrollphase:

Seilkraft ist nicht gleich Seilkraft!



$$S_{\text{Seilg}} = m_{\text{Seilg}} \cdot \text{Beschleunigung}$$

$$S_{\text{Winde}} = R + (m_{\text{Seilg}} + m_{\text{Seil}}) \cdot \text{Beschleunigung}$$

$$R = g \cdot m_{\text{Seil}} \cdot \text{Gleitreibungscoeffizient}$$

- Während der Beschleunigung, solange das Seil am Boden schleift, ist die Seilkraft an der Winde **grösser** als diejenige die am Flugzeug angreift (Trägheit des Seils, Gleitreibung).
- Dieser Effekt ist bei einem (schweren) Stahlseil wesentlich grösser als bei einem Kunststoffseil. Die Seilmasse m_{Sz} , und damit der Trägheitseffekt, sowie die Bodenreibung sind bei einem Dyneema-Seil etwa 8 x kleiner.

Beim Anrollenb ist der Unterschied zwischen der Seilkraft an der Winde und der am Segelflugzeug ist beim Verwenden eines Stahlseils wesentlich grösser als beim Kunststoffseil. Er ist in etwa proportional zum Seilgewicht.

Ein Kunststoffseil wiegt ca. 8 x weniger und kann im ausgezogenen Zustand anstatt von zwei bis drei mittelkräftigen Segelfliegern beim Stahlseil von einem 10 jährigen Kind gezogen werden.

Kunststoffseil

Auswirkungen in der Startphase

Kleineres Seilgewicht:

Die Gesamtträgheit ist kleiner, dadurch **stärkere Beschleunigung des Systems**, d.h. bei gleicher Windenleistung ist die Kraft die am Flugzeug angreift grösser.

Kleinere Bodenreibung (Reibkraft \sim Gewicht):

Während der Phase in der das Schleppseil am Boden schleift, ist bei gleicher Windenkraft, die **Kraft die am Flugzeug** angreift wesentlich **grösser**.

Kleineres Seilgewicht,

Das Gewicht und damit auch die Trägheit des gesamten Systems ist kleiner (ca. 90 kg) und bei gleicher Windenleistung wird das Flugzeug deshalb etwas stärker beschleunigt.

Kleinere Bodenreibung,

Die Bodenreibung ist proportional zum Seilgewicht! Solange das Schleppseil am Boden aufliegt, ist bei einem Kunststoffseil die Kraft die effektiv am Flugzeug angreift (bei gleicher Zugkraft der Winde) wesentlich grösser als bei einem Stahlseil.

Kräfte in der Anrollphase: 300 PS:

Stahlseil

Abflugmasse kg	Windenleistung PS	mittlere Kraft an der Winde daN	Mittlere Beschleunigung [m/s ²]	Zeit von 0-100 km/h [sec]	mittlere Kraft am Flugzeug daN	Max. Kraft am Flugzeug daN *)
450	300	441	6.0	4.6	270	600
750	300	441	3.9	7.1	295	650

Kunststoffseil

Abflugmasse kg	Windenleistung PS	mittlere Kraft an der Winde daN	Mittlere Beschleunigung [m/s ²]	Zeit von 0-100 km/h [sec]	mittlere Kraft am Flugzeug daN	Max. Kraft am Flugzeug daN *)
450	300	441	9.0	3.1	405	810
750	300	441	5.5	5.1	415	830

*) Beim Anziehen mit max. Windenleistung

Beim Anziehen mit der gleichen Windenleistung ist die Seilkraft am Flugzeug ist bei einem Kunststoffseil wesentlich grösser (130 daN).

Das System beschleunigt deshalb rasanter.

Kräfte in der Anrollphase: 400 PS

Stahlseil

Abflugmasse kg	Windenleistung PS	mittlere Kraft an der Winde daN	Mittlere Beschleunigung [m/s ²]	Zeit von 0-100 km/h [sec]	mittlere Kraft am Flugzeug daN
450	400	588	8.6	3.2	385
750	400	588	5.6	4.9	420

Kunststoffseil

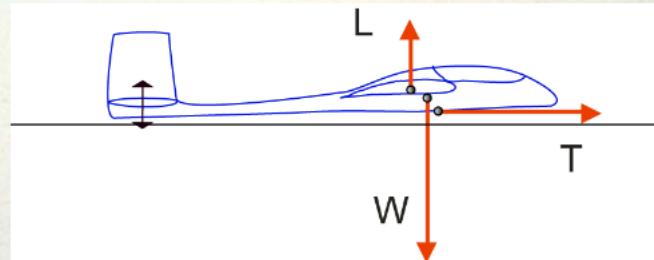
Abflugmasse kg	Windenleistung PS	mittlere Kraft an der Winde daN	Mittlere Beschleunigung [m/s ²]	Zeit von 0-100 km/h [sec]	mittlere Kraft am Flugzeug daN
450	400	588	12.3	2.3	550
750	400	588	7.5	3.7	560

Ein Umrüsten auf Kunststoffseile bewirkt IN DER ANZUGSPHASE d.h. in den ersten 3-4 sec. in etwa den gleichen Effekt wie eine Erhöhung der Windenleistung um 120 PS.

„..... und dann in weniger als 3 Sekunden von 0 auf 100km/h ...“

Ist dies wünschenswert? Fehlertolerante Flugsituation....?! Auch ein Ringelpietz verläuft viel „sportlicher“!

Auswirkungen in der Startphase: Aufkippmoment



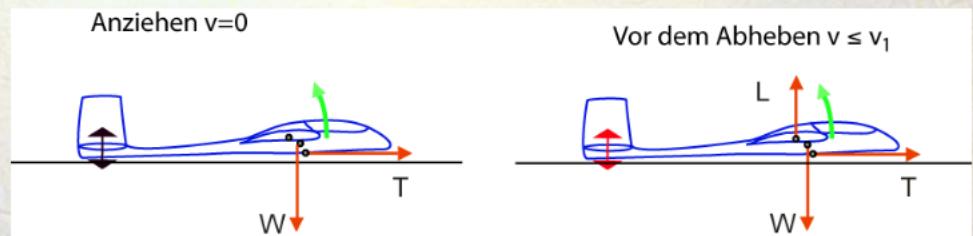
Die Seilkraft greift unterhalb des Schwerpunkts an und bewirkt beim Start ein Aufkippmoment, das umso grösser ist:

- je grösser der Hebelarm,
- je grösser die Seilkraft.

Die Klinke ist immer unterhalb des Schwerpunktes angebracht, so dass beim Start das Flugzeug die Tendenz hat von selbst abzuheben. Je grösser die Zugkraft, desto schwieriger ist es die Nase unten zu halten. Bei niedrigen Geschwindigkeiten sind die verfügbaren Ruderkräfte sehr klein. **Ab einer gewissen Zugkraft wird jedes Flugzeug unsteuerbar, es bäumt sich auf und es kommt zu einem Strömungsabriss, der zum Trudeln am Seil führen kann.** Je grösser die Zugkraft und je grösser der Hebel ist mit dem diese angreifen kann, desto gefährlicher ist dieser Effekt.

Speziell bei Flugzeugen mit Pendelrudern ist Vorsicht geboten. Hält man das Ruder voll gestossen um gegen das kommende Aufbüumen anzukämpfen, so kann sich das kontraproduktiv auswirken. Der Anstellwinkel des Höhenruders ist dann sehr gross und die Strömung wird nicht sofort anliegen. Dies bewirkt, dass das Höhenruder in der Startphase lange unwirksam bleibt!

Auswirkungen in der Startphase: Aufkippmoment



Am Anfang des Anrollens wirkt das Gewicht stabilisierend. Mit dem Erreichen der steigender Rollgeschwindigkeit wirkt der sich entwickelnde Auftrieb diesem Effekt entgegen.

Der kritische Moment wird kurz vor dem Erreichen der Minimalgeschwindigkeit in Rollkonfiguration erreicht.

In diesem Moment muss genügend Höhenruderwirkung vorhanden sein um dem Aufkippmoment entgegenwirken zu können!

Auswirkungen in der Startphase Aufkippmoment

Karl Höck, (Aerokurier, Feb 2009) untersuchte das Aufkippverhalten von Segelflugzeugen in Abhängigkeit von der Leistung der Seilwinden (240 , 300 und 400 PS)

Die Resultate seiner Untersuchungen können auch auf den Fall des Wechsels auf ein Kunststoffseil übertragen werden; der bestimmende Parameter für das Aufkippen ist die Seilkraft die auf das Segelflugzeug wirkt (grosse Leistung = grosse Seilkraft).

2-3 Unfälle durch unkontrolliertes Aufbäumen in der Anfangsstartphase;
75% davon fatal.

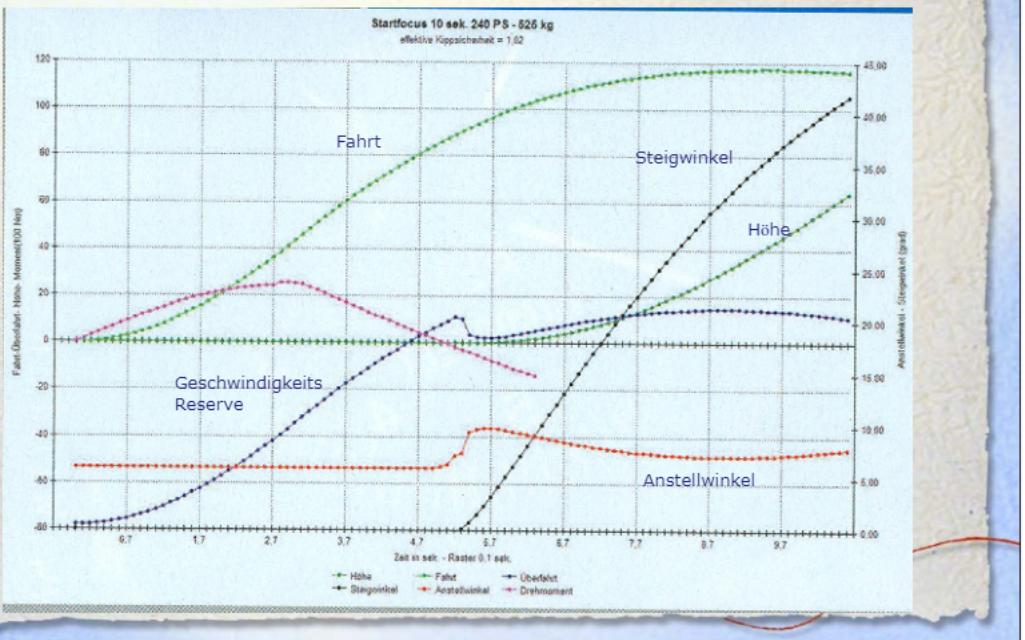
Abhängig vom Flugzeugtyp und der Windenleistung.

Karl Höck, (Aerokurier, Feb 2009) untersuchte das Aufkippen von Segelflugzeugen in Abhängigkeit von der Leistung der Seilwinde (240 – 400 PS). Leider keine Details zur Rechenmethode.

Grosse Leistung = grosse Seilkraft, d.h. die Überlegungen gelten auch für den Effekt von Kunststoffseilen.

Aufkippmoment bei 240 PS

Karl Höck, (Aerokurier, Feb 2009)



In 3 Sekunden auf Volllast. Berücksichtigung des Auftriebbeiwerte des Höhenruders

Anstellwinkel beim Rollen: 5 Grad; kurzfristiges Ansteigen auf 10 Grad

Left side: Fahrt / Überfart / Höhe / Moment (100Nm)

means: speed / speed reserve / altitude / torque moment (from 0 to 120 units)

Right side: Anstellwinkel / Steigungswinkel (grad)

means: angle of attack / angle of climb (from 0 to 60 units)

Base : Zeit in sek, Raster 0.1 sec

means: time in seconds, resolution 0.1 sec.

Light green : speed (Fahrt)

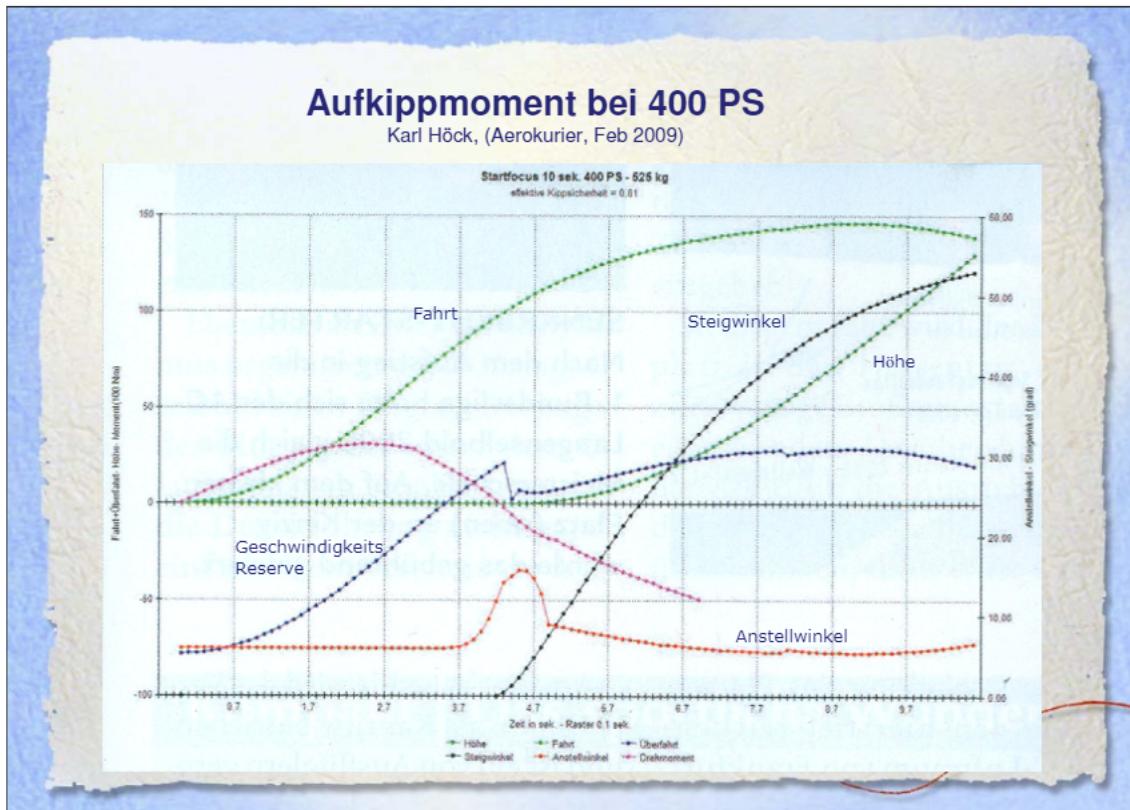
Darker green : altitude (Höhe)

Blue violet : speed reserve (Überfahrt)

Black : climb angle (Steigungswinkel)

Red : angle of attack (Anstellwinkel)

Purple : torque moment (Drehmoment)



Anstellwinkel beim Rollen: 5 Grad; kurzfristiges Ansteigen auf 16 Grad (statisches Ueberziehen bei 14 -16 Grad), Gradient ca. 30 grad/sec, geht gegen dynamische Ueberziehen.

Grosse Polemik: Sind wir wirklich im Risikobereich?? Wir haben schon immer... man hat ja nur....

Konsensus:

Starke Winden und Kunststoffseile ermöglichen es ein Flugzeug unkontrolliert in die Luft zu katapultieren. Früher war dies auf technischen Gründen gar nicht möglich.

Die Sicherheitsreserven sind sehr viel kleiner geworden. Fehler wie z.B. eine falsche Klappeneinstellung werden nicht mehr verziehen.



Im Unfallbericht würde wohl stehen: Wahl einer falschen Flugtaktik in der Startphase.

Aber konnte der Pilot überhaupt etwas wählen?

Auswirkungen in der Startphase Sensibilität der Flugzeuge

Folgende Parameter beeinflussen das Aufbäumverhalten

- Grosse Seilkraft am Flugzeug in der Anrollphase
- Hebelarm der Seilkraft
- Anstellwinkel und Anstellwinkel des Höhenruders beim Rollen
- Wirksamkeit und Hebelarm des Höhenruders

Jedes Flugzeug kann durch ein genügend aggressives Anrollen zum Aufbäumen gebracht werden!

Der Hebelarm ist bei den motorisierten Versionen grösser als bei den Standardtypen, sie sollten vorsichtiger angezogen werden.

Speziell bei Flugzeugen mit Pendelrudern ist Vorsicht geboten. Hält man das Ruder voll gestossen um gegen das kommende Aufbäumen anzukämpfen, so kann sich das kontraproduktiv auswirken. Der Anstellwinkel des Höhenruders ist dann sehr gross und die Strömung wird nicht sofort anliegen. Dies bewirkt, dass das Höhenruder in der Startphase lange unwirksam bleibt! .



Karl Höck empfiehlt die Betriebsanweisungen zu ergänzen :

durch Grenzwerte der Seilkraft für jedes Segelflugzeug.

Verhalten während der Beschleunigungsphase (Höhenruderstellung)

Seilkraftregulierung der Winde während der Anfangsbeschleunigung.

sowie konstruktive Massnahmen bei neuen Segelflugzeugen.

Zusammenfassung

- Ein Erhöhen der Windenleistung oder ein Umrüsten auf Kunststoffseile erhöht die Attraktivität des Windenstarts beträchtlich, birgt aber Probleme da, wo man eigentlich gar nicht erwartet: In der Anrollphase.
- Bei einer (zu) grossen Beschleunigung neigt das Segelflugzeug dazu, sich selbstständig aufzubäumen. Die Sicherheitsreserven werden kleiner und die Flugsituation wird nicht mehr fehlertolerant. Je nach Flugzeugtyp ist dieses Verhalten mehr oder weniger problematisch.
- „Volle Leistung bis zum Abheben“ eignete sich bei alten Winden und Stahlseilen, in der neuen Umgebung muss das Startverfahren angepasst werden.

Persönliche Einschätzung:

Die Problematik ist nicht so, dass sie nicht durch passende Verhaltensmassnahmen kontrolliert werden könnte.

Problematisch ist es, dass bei einem Fehler für den Piloten keinerlei Möglichkeit besteht sich selbstständig aus der Situation zu retten (Seilkraftregelung? Sollbruchstelle löst das Problem nicht!).

Wichtig, und sofort umzusetzen, ist eine umfassende Sensibilisierung aller Betroffenen und ein rigoroses Umsetzen der angepassten Startverfahren.

WHAT PRICE FOR SAFETY (in weniger als 3 sec Von 0 – 100 km/h für 10 Höhenmeter mehr beim Windenstart)



,,... und dann in weniger als 3 Sekunden von 0 auf 100km/h ...“

Finden Sie die Klinke um rechtzeitig auszuklinken!!