

Warum, warum... ist mein Gleitschirm krumm?

Die Geheimnisse der Stoff-Flügel -

Teil 2

ein Konstrukteur plaudert aus dem Nähkästchen

Von Sascha Burkhardt

DIE GEHEIMNISSE DES GLEITSCHIRMBAUS: IN DER LETZTEN AUSGABE VON GLEITSCHIRM HABEN WIR GEZEIGT, WIE SICH DIE WAHL DER PROFILFORM BEI DER ENTWICKLUNG EINES SCHIRMMODELLS AUF DAS FLUGVERHALTEN AUSWIRKT. JETZT NEHMEN WIR GEMEINSAM MIT DEM BEI SWING ANGESTELLTEN DEUTSCHEN SCHIRMENTWICKLER MANFRED KISTLER DIE KURVEN, MASSE UND FORMEN UNSERER GELIEBTEN FLUGGEFÄHRTE UNTER DIE LUPE!

Formsache

Die Veränderungen im Profilbereich gehören sicherlich nicht zu den spektakulärsten Fortschritten im Gleitschirm-Bau der letzten zehn Jahre. Manche Hersteller benutzen sogar noch teilweise fast dieselben Profile wie vor einem Jahrzehnt. Sehr viel auffälliger sind die Änderungen im Bereich der Grundformen: Die ersten Gleitschirme sahen wie fliegende Matratzen aus - plump, eckig und wulstig. Und sie flogen auch wie Matratzen - die Gleitzahl kam nicht über drei hinaus, und das „beste Sinken“ hätte man besser das



Foto: Swing/Martin Scheel



Foto: SWING/Martin Schuel

Große Streckung beim SWING Stratus (li.); der extrem gestreckte Experimentalschirm mit aufblasbarem Luftschauch von Paradelta Parma (re.) konnte sich am Markt dagegen nicht durchsetzen



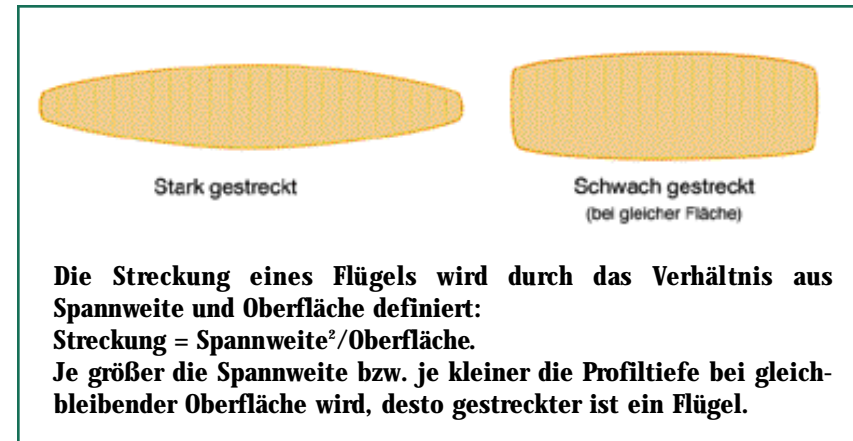
Foto: Hannes Mayr

„gemäßigte Stürzen“ nennen sollen. Immerhin: Bösartiges Extremflughverhalten kannten diese besseren Fallschirme eben aufgrund der geringen Leistung und des hohen Luftwiderstands kaum. Als die Gleitschirme dann Ende der Achtziger

Flügelrand. Bei einem stark gestreckten Flügel fallen diese Wirbel sehr viel weniger ins Gewicht, und desto besser ist die Leistung. Dies gilt in gewissem Maße auch für die Ellipsenform: Elliptische Flügelenden unterstützen eine harmonische Strö-

sieben herum probiert, doch durchgesetzt hat sich das nie. Denn ein zu stark gestreckter Flügel wird schwer zu starten, unhandlich, klappfreudig sowie anspruchsvoll bis gefährlich im Verhalten. Außerdem ist der Leistungsgewinn ab einem bestimmten Wert nicht mehr so spektakulär. Als Anfang der neunziger Jahre die ersten Schirme mit Streckungen von fünf flogen, brachte dies noch erhebliche Gewinne. „Ab Streckung sechs wird die Leistungszunahme deutlich geringer“, erklärt Manfred Kistler zu diesem Thema. Und fügt bezüglich des aktuellen SWING Mistral 2 hinzu:

„Für den SWING Mistral 2 haben wir eine Streckung von 5,2



gewaltige Fortschritte machten, sah man ihnen das auch sofort an. Die Flügel wurden immer elliptischer und gestreckter. Auch die Oberfläche von Ober- und Untersegel wurde glatter. Statt nur zehn bis zwölf riesigen Luftkammern hatten die Schirme auf einmal mindestens zwanzig Zellen und konnten so besser in Form gehalten werden.

Wirbel und Widerstand

Je gestreckter ein Schirm ist, desto geringer wird der Anteil des induzierten Widerstandes am Gesamtwiderstand: der induzierte Widerstand entsteht nämlich durch die Wirbel am

Flügelrand, verringern die kräftezehrenden Wirbelschleppen. Wer sich einen Fliegenflügel von Nahem anschaut (die Fliege bitte dranlassen), findet gerade im Außenbereich eine erstaunliche Ähnlichkeit mit der Grundform moderner Schirme. Allerdings spielt der ästhetische Aspekt bei der Gleitschirmentwicklung ebenfalls eine wichtige Rolle, und die harmonische Abrundung der Flügelenden geschieht nicht immer nur aus aerodynamischen Gründen.

Je größer die Streckung, desto leistungsfähiger ist der Flügel. Warum also nicht Streckung zehn im Gleitschirmbau? Fast jeder Hersteller hat mal mit extremen Streckungen über

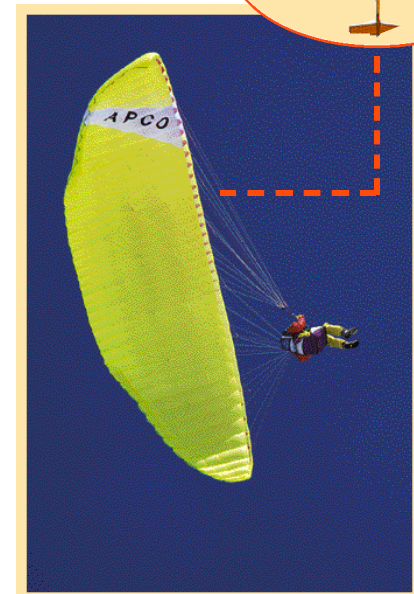


Foto: Archiv GLEITSCHIRM

Negative Pfeilung bei Apco 1993



Foto: Archiv GLEITSCHIRM

Omega 1 von Advance mit positiver Pfeilung

gewählt. Damit läßt sich ein gutes Handling erzielen, das den 1-2er Piloten nicht überfordert, aber dennoch eine sehr gute Leistung garantiert.“

Trotz zeitweiliger „Ausreißer“ mit extremen Streckungen bleiben die Gleitschirmbauer also beim vernünftigen Mittelmaß. Auch die Tendenz zur gleichzeitigen elliptischen Verjüngung von Eintritts- und Austrittskante der Flügelaußenseiten mäßigt

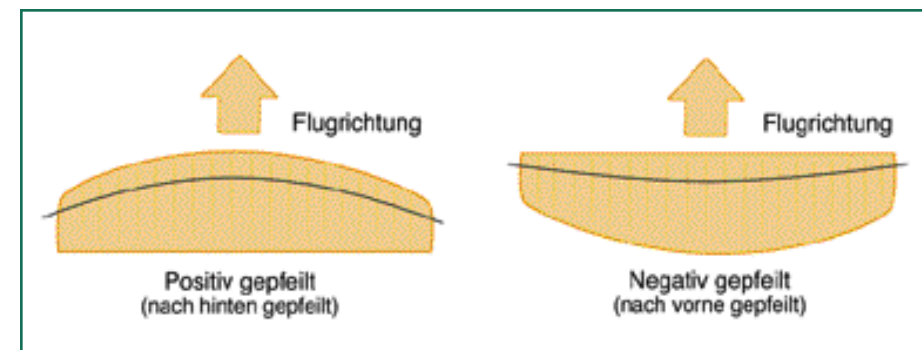


Pfeilung - negativ oder positiv?

Ein weiteres ganz wichtiges Merkmal der Flügelgrundform ist die Pfeilung. Diese kann auf die „t/4“-Linie bezogen werden. Über die gesamte Spannweite wird, von der Eintrittskante ausgehend, auf jeder Profilschne ein Punkt abgetragen, der einem Viertel der Profiltiefe entspricht. Danach wird durch diese Punkte eine Linie gezeichnet, die die Pfeilung veranschaulicht.

Ganz deutlich zu sehen ist die positive Pfeilung bei einem Drachen oder einem Kampfflugzeug. Die Austrittskante ist fast gerade, und die Eintrittskante schaut wie eine Pfeilspitze in Flugrichtung. Ein anderer Ausdruck für „positiv gepfeilt“ ist „nach hinten“ gepfeilt. Die Pfeilspitze schaut zwar nach vorne, die Enden der t/4-Linie hingegen „nach hinten“.

Im Gleitschirmbau wird sowohl neutral, positiv und negativ gepfeilt. Die ersten rechteckigen Flügel waren naturgemäß gar nicht gepfeilt. Dann begann man, die Ecken der „Matratzen“ abzuschneiden und elliptisch zu runden - in der Regel sowohl an der



sich wieder. Diese extreme Zuspitzung bei sonst unveränderten Parametern vergrößerte nicht nur die Streckung, sondern hatte auch einen weiteren Nachteil: Ein reduzierter Flügelaußenbereich liefert einen geringeren Anteil an Querkräften und resultiert somit in einer geringeren Spannung des Segels in Spannweitenrichtung.

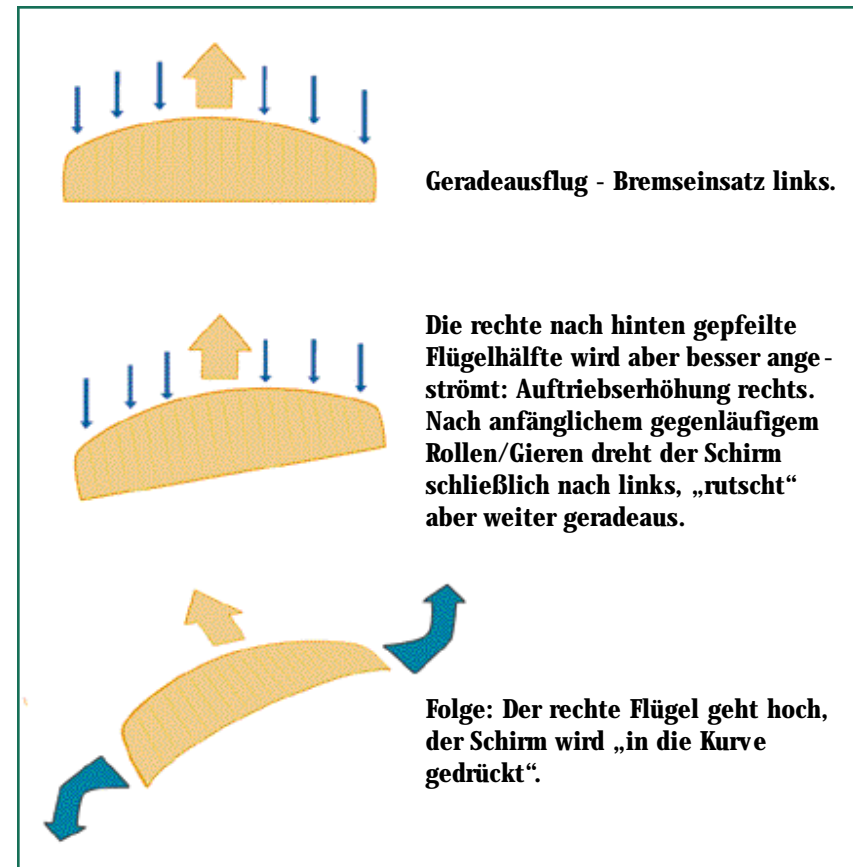
Eintritts- als auch an der Austrittskante. Diese Schirme waren somit immer noch ungepfeilt. Fast zeitgleich kamen dann etwas später sowohl positiv als auch negativ gepfeilte Schirme auf den Markt, und Mitte der neunziger Jahre experimentierten viele Hersteller zunehmend mit negativ gepfeilten Flügeln. Die Eintritts-



Rechteckige Matratze von Ailes de K

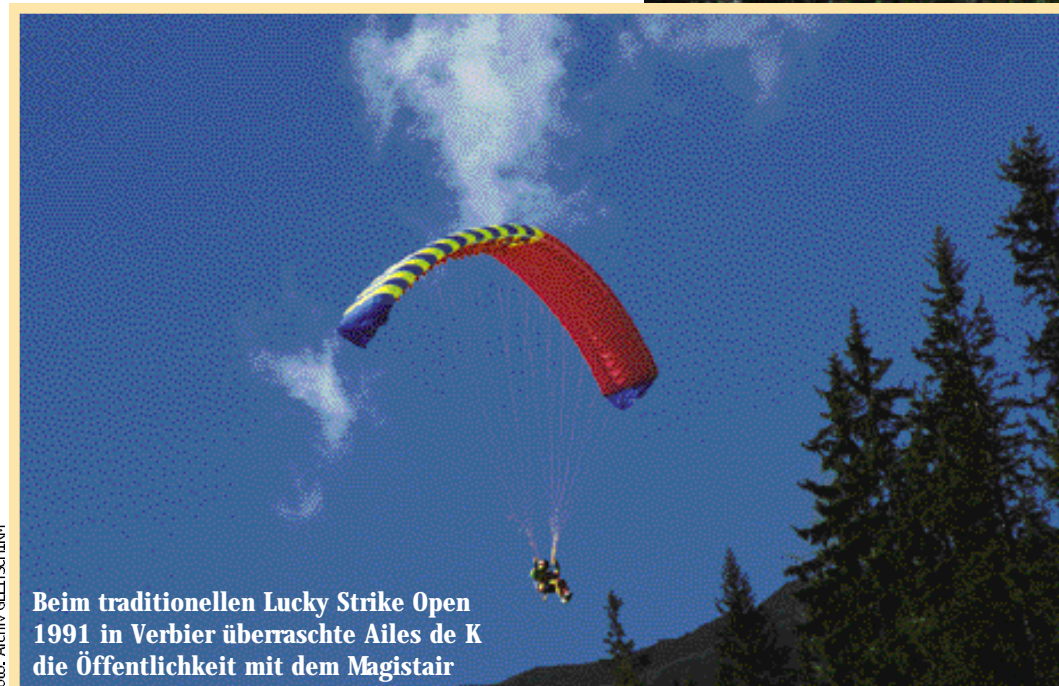
kanten waren fast schnurgerade, die Austrittskanten hingegen elliptisch geschwungen. Auf den ersten Blick sehen diese Schirme so aus, als würden sie „rückwärts“ fliegen! Die allgemeine Tendenz geht jetzt eher wieder in die Richtung positiv gepfeilter Flügel. Die Grundform des Ur-Omega von Advance wurde schnell zum beliebten Vorbild vieler Hersteller: Austrittskante schnurgerade, Eintrittskante elliptisch nach hinten

gebogen, Flügelenden ebenfalls sehr gerade abgeschnitten. Wie wirkt sich denn die Pfeilung auf das Flugverhalten aus? *„Eine gerade Eintrittskante bringt eine höhere Leistung“*, erklärt Manfred Kistler, *„deswegen sind die Eintrittskanten bei SWING in der Mitte relativ gerade, und wir pfeilen erst die Flügelenden nach hinten. Denn eine ganz gerade Eintrittskante würde an den Flügelenden etwas schneller einklappen.“*



Kurven und Kompromisse

Wie immer in der Aerodynamik gilt es, Kompromisse zu finden. Für ein gutes Handling und Kurvenverhalten ist nämlich zudem ein positiv gepfeilter Flügel besser. Wenn der Pilot beispielsweise an der linken Bremse zieht, um nach links zu drehen, rollt der Schirm zunächst je nach Schirmtyp mehr oder weniger stark nach rechts. Vor allem aber hat er, wenn er sich dann endlich bequem, nach links zu gieren, eine gewisse Tendenz, aus der Kurve „heraus zu schmieren“: Die Masse des Flügels möchte gerne weiter geradeausfliegen. Der Schirm rutscht also schräg mit dem rechten Stabilo voraus. Wenn der Schirm nun stark gepfeilt ist, bekommt die rechte Flügelhälfte durch die rechtwinkelige Anströmung mehr Auftrieb und rollt den Schirm nach links. Genau diese Schräglage unterstützt die geplante Kurvenlenkung. Die Kehrseite der Medaille: Ein stark positiv gepfeilter Schirm dreht nach einem Einklapper auch schneller weg als ein Schirm mit einer geraden Eintrittskante. *„Grund dafür ist die Masse des Piloten. Bei einem stark gepfeilten Schirm hängt der Pilot einiges weiter hinten (Flächenschwerpunkt ist weiter hinten aufgrund der Pfeilung). Klappt nun ein Flügelende*

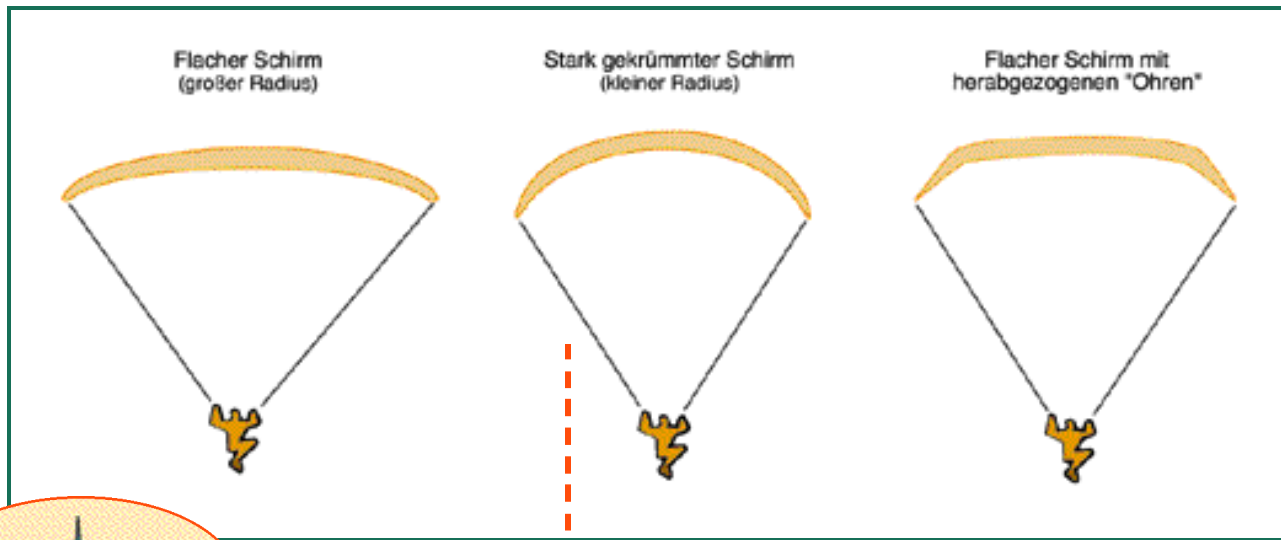


Beim traditionellen Lucky Strike Open 1991 in Verbier überraschte Ailes de K die Öffentlichkeit mit dem Magistair

Der North Para Solution war einer der ersten Serienschirme, der eine elliptische Grundform aufwies



ein, so wandert der verbleibende Flächenschwerpunkt logischerweise nach vorne, der Schirm geht „auf die Nase“. Auch um das Wegdrehen und Abkippen nach einem Einklapper gering zu halten, haben wir den Mistral 2 nur gering gepfeilt“, bestätigt Manfred Kistler das Beispiel des neuen Schirmes aus dem Hause SWING, dessen Pflichtenheft unter anderem die Aufgabe „Gutes Extremflugverhalten mit überschaubarem Wegdrehverhalten nach Einklappen“ enthielt. *„Die Planform des Mistral 2 ist eine Synthese aus SWING Arcus und Astral 2“*, fügt Manfred Kistler hinzu.



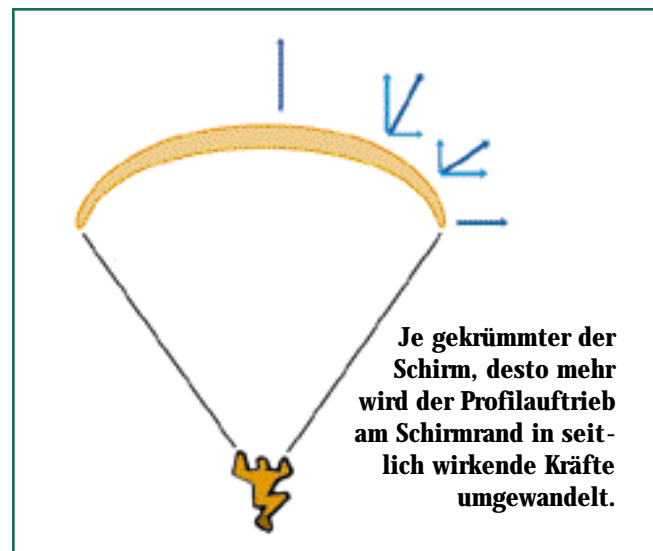
Mit diesem Flügel wurde Andy Hediger 1991 (!) Vizeweltmeister



Foto: Archiv GLEITSCHIRM

Warum ist mein Gleitschirm krumm?

Nicht nur in der Draufsicht weisen Gleitschirme geschwungene Formen und Kurven auf, sondern auch von vorne gesehen. Alle Schirme sind mehr oder weniger gekrümmt und bilden einen „Torbogen“ überm Piloten. Der Radius der Krümmung hängt vor allem von Spannweite und Fangleinen-Länge ab. Früher waren alle Fangleinen gleich lang, und der Schirm krümmte sich in einem gleichmäßigen Bogen um den Piloten. Da die ersten Schirme aber nur geringe Spannweiten aufwiesen, wirkten sie trotzdem recht „flach“. Wenn ein Gleitschirm gleichmäßig um den Schwerpunkt des Piloten gekrümmt ist, ist das Gespann sehr rollanfällig. Warum also sind Gleitschirme krumm, warum flacht man sie nicht stark ab? Man würde dabei schließlich eine höhere Leistung erzielen. Je flacher der Flügel, desto leistungsfähiger ist er. Doch ein vollkommen flacher Schirm ließe sich nicht in Form bringen, und eine gewisse Krümmung ist unerlässlich. Man macht sich nämlich zunutze, daß die Profile im Außenbereich eines gekrümmten Flügels nicht nur „nach oben“ ziehen. Nur eine Komponente der Auftriebskraft wird in nutzbaren Auftrieb umgewandelt. Eine andere Kraft-Komponente zieht zur Seite: Für den Piloten ist das verlorene Auftriebskraft. Im Extremfall, an einem senkrecht stehenden Stabilo, wird überhaupt kein Auftrieb nach oben erzeugt, sondern nur seitlicher



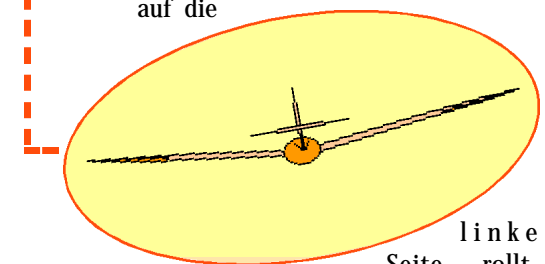
Je gekrümmter der Schirm, desto mehr wird der Profilauftrieb am Schirmrand in seitlich wirkende Kräfte umgewandelt.

Zug. Doch genau diese Kraft wird benötigt, um dem Flügel Form zu geben: Man „spannt den Schirm damit auf“. Ein vollkommen flacher Gleitschirm wäre extrem wackelig und würde stark in sich arbeiten. Er schöbe sich wie ein Akkordeon zusammen. Ein Start ist unmöglich, der Schirm kann keine flugfähige Form erreichen.

Der Konstrukteur muß also wiederum den richtigen Kompromiß finden. Und wie hat sich Manfred Kistler im Falle des Mistral 2 entschieden? Die adäquateste Lösung war für ihn eine Mischung aus beidem: „In der Mitte ist der Mistral 2 recht flach. Erst an den Flügelenden ziehe ich ihn stärker herunter, um eine ordentliche Verspannung zu erzielen. Das selbständige Ausleiten aus einer Spirale sollte für einen 1-2er jedenfalls selbstverständlich sein, und mit dem gewählten Radius ist das gewährleistet. Ebenfalls zu Gunsten hoher Spannkraft sind die Flügelenden nicht so spitz, sondern etwas großflächiger.“ Insgesamt ist der Radius also recht groß und der Schirm relativ flach, denn ein weiterer Punkt des Pflichtenheftes hieß doch: „Hohe Stabilität und überschaubares Wegdrehverhalten nach Klappen“.

Das ist ein weiterer, ganz wichtiger Punkt bei der Wahl der Krümmung. Wer einen Schirm konstruieren möchte, der möglichst stabil ist und vor allem aus der Steilschleife selbständig wieder heraus findet, darf den Radius nicht zu klein wählen. Je kleiner der Radius, desto stärker ist der Schirm gekrümmt, und desto ausgeprägter wird die negative V-Form des Flügels. Die V-Form eines Flügels bestimmt aber maßgeblich die Rollstabilität.

Ein Flugzeug mit einer positiven V-Form ist in der Regel sehr gutmütig. Wenn es zum Beispiel durch eine Böe auf die



linke Seite rollt, erzeugt die Anströmung an der linken Flügelhälfte automatisch mehr

Auftrieb als auf der rechten Seite und erzeugt eine Kraft, die sich der Kurvenerleitung entgegensetzt. Das Flugzeug ist also stabiler - und natürlich entsprechend weniger spritzig im Kurvenhandling. Umgekehrt haben Kampffjets oft eine ausgeprägte negative V-Form: Sie sind sehr instabil um die Rollachse und dementsprechend extrem wendig.

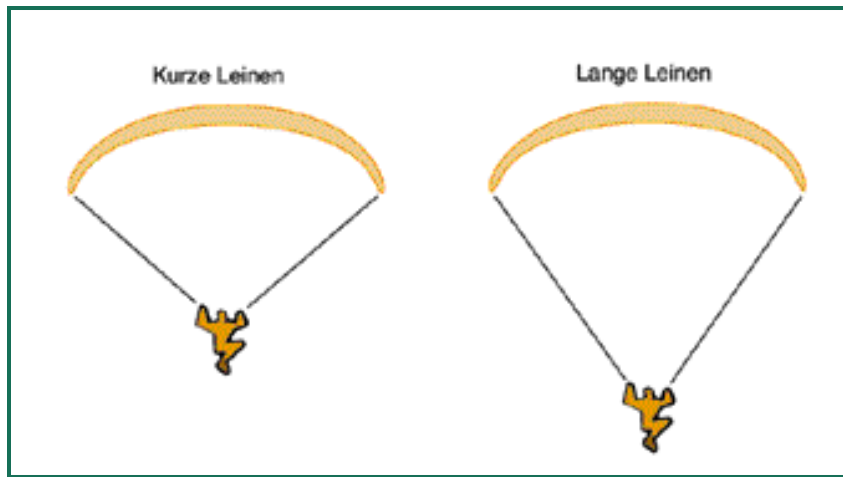
Kurven-Kummer mit der Krümmung?

Und Gleitschirme? Richtig, die haben eine negative V-Form und müßten dementsprechend ebenfalls sehr instabil und wendig sein. Doch man darf nicht vergessen, was wir schon in der letzten Ausgabe festgestellt haben: Der Schwerpunkt liegt bei unseren Luftgefährten sehr tief unter dem Segeldruckpunkt und stabilisiert dadurch das Gespann. Der Hersteller kann also die Wendigkeit durch Krümmung etwas erhöhen, darf dabei aber nicht übertreiben, wenn er nicht eine unangenehme Rollneigung oder gar eine Tendenz zur selbständigen Steilschleife ernten möchte.

Über kurz oder lang

Sehr eng verbunden mit dem Radius des Schirms ist die Länge der Fangleinen. Auch auf diesem Niveau hat sich im Laufe der Zeit einiges geändert: Die frühen Schirme hatten recht kurze Fangleinen. Mit zunehmender Leistung der Schirme verlängerte man auch die Fangleinen, um sich schließlich auf ein gewisses Maß einzupendeln, das jetzt teilweise sogar wieder unterboten wird. Der Grund für die zeitweilige Verlängerung: Je länger die Leinen, desto tiefer hängt der Schwerpunkt, und desto größer ist die statische Stabilität des Gespanns. Allerdings: Wenn das tiefhängende Piloten-Pendel in einem dynamischen Manöver doch mal weit ausschlägt, ist die gespeicherte Energie entsprechend groß, und das Nachpendeln in die andere Richtung kann entsprechend ausgeprägter ausfallen.

Ein anderer wichtiger Nachteil von allzu langen Fangleinen: Das Handling leidet, eben weil es aufgrund der hohen statischen Stabilität schwieri-



ger ist, das Gespann aus Pilot und Schirm in die Kurve zu legen. Dementsprechend ist auch die Negativtendenz etwas größer. Außerdem sind Gleitschirme mit langen Fangleinen schwerer zu starten. Das liegt daran, daß die Kappe beim Aufziehvorgang einen viel weiteren Bogen beschreiben muß, bevor sie über den

kommen hinzu wie zum Beispiel die Position der Fangleinen-Aufhängenpunkte. Ein kleines Beispiel: „Die A-Aufhängung des Mistral 2 ist gegenüber jener des Astral 2 etwas nach vorne gewandert. So erzielen wir bei SWING vergleichsweise hohe Steuerwege, die für dieses Modell gewollt waren“, verrät der Swing-Schneider Kistler. „Die B-Aufhängungen sind gleich geblieben, die C- und D-Punkte dagegen sind etwas nach hinten gerutscht, weil das abgewandelte Profil im hinteren Bereich mehr Abstützung braucht!“

Noch ein Beispiel: Die Anlenkung der Bremsleinen. „Sogenannte „spitze Bremsen“ erhält man, wenn man die Bremsen nur an den Flügelenden und nicht in der Mitte der Austrittskante anlenkt“, erklärt Manfred. „Sie wirken besser, weil das Kraftmoment besser ist. Aber sie können dementsprechend auch etwas heikler sein. Die Bremse des SWING Mistral 2 zieht im inneren Bereich relativ wenig und kann daher eher als gemäßigt spitz bezeichnet werden. Diese Funktionsweise ist eine der Komponenten für das gute Handling dieses Gleitschirms.“

Für alle Konstrukteure gewinnt zudem ein weiterer Aspekt zunehmend an Bedeutung: Der Lei-

stungszuwachs der Schirme wurde durch konstante Verfeinerung und Abstimmung der dargelegten Parameter erreicht. Doch was nützt der Millimeter-genaue Zuschnitt eines Profils, wenn die Form wegen Materialdehnung nicht eingehalten werden kann? Unsere Schirme bleiben weich und wabbelig, und es ist sehr viel schwerer, die Form eines luftgefüllten Körpers vorzubestimmen und auch einzuhalten, als es zum Beispiel mit den Blechprofilen im traditionellen Flugzeugbau der Fall ist.

Dementsprechend findig mußten die Gleitschirmhersteller auch werden, um ihre verbesserten Profil- und Schirmformen in der Realität umzusetzen. Schnell begann man zum Beispiel mit der Multiplikation der Zellen. Mit vielen kleinen Zellen läßt sich eine geplante Form sehr viel genauer einhalten als mit wenigen Großen. In den Anfangszeiten waren neun bis zwölf Zellen der Standard, heute sind es in der Regel fünfmal soviel, wenn man die Unterteilung von Doppelzellen mitrechnet. Auch

60-Zeller Paradelta Parma Bullball anno 1989



Foto: Archiv GLEITSCHIRM

diesbezüglich gab es natürlich frühe Exzesse. Schon der „Bullball“ von Paradelta Parma zum Beispiel bestand aus 60 Zellen. So ein Schirm ist natürlich schwer herzustellen und für eine rentable Serienproduktion zu teuer. Außerdem mußten die vielen Zellen konsequenterweise mit ebenso vielen Fangleinen abgestützt werden. Der italienische Hochleister sah wie ein fliegendes Spinnennetz aus!

Gabel-Tricks

Irgendwann kamen die Hersteller dann auf die Idee, viele dünne Fangleinen durch wenige Dicke zu ersetzen, und diese erst im oberen Bereich aufzugabeln. Ein guter Ansatz: Schließlich weisen mehrere dünne Fangleinen einen höheren Luftwiderstand auf als eine dicke Fangleine derselben Festigkeit. Allerdings werden durch die Aufgabelung schädliche Querkräfte erzeugt, die den Schirm wieder in sich zusammenziehen. Ähnliches gilt für zu kurze Fangleinen. Die Zugkomponente nach innen ist bei ihnen größer als bei langen Leinen, die fast rechtwinkelig am Schirm angreifen.

Mit dem Aufkommen der Diagonalzellen wurde eine hervorragende Lösung gefunden. Das Profil konnte stabiler verspannt werden, ohne die Zahl der Fangleinen zu erhöhen. Die Diagonalzellentechnik hat sich deswegen mittlerweile auch im großen Maße durchgesetzt. Doch auch etwas weniger sichtbare Tricks werden ein-

gesetzt, um die Form der Gleitschirme beizubehalten. Viele SWING-Modelle werden zum Beispiel so vernäht, daß das Achterlied konstant unter Spannung steht. „Durch werden die Eigenbewegungen der Kappe gedämpft, und das Öffnungsverhalten nach Klappen verbessert“, verrät Manfred.

Ein weiteres Beispiel der Feinarbeit: Die Hersteller greifen immer wieder darauf zurück, den Tragflügel mit einer Schränkung zu versehen: Die sogenannte Flügel-schränkung bezeichnet die progressive Veränderung des Einstellwinkels von der Flügelinnenseite zur Flügelaußenseite. „Die SWING-Schirme sind außen flacher angestellt als innen,“ erklärt Manfred Kistler, „unter anderem kann man dadurch den Leistungsverlust geringerer Streckungen etwas entgegenwirken.“

Auch wenn sich über die Erfahrungswerte immer genauere Regeln für den Gleitschirmbau ableiten lassen, bleiben unsere fliegenden Tüten doch hoch komplexe Luftfahrzeuge, deren Verhalten durch kleinste Änderungen eines der unterschiedlichen Faktoren wieder vollkommen anders ausfallen kann. Ein stark gefeilter Schirm zum Beispiel kann vollkommen kurvenunwillig sein, während sich ein anderer

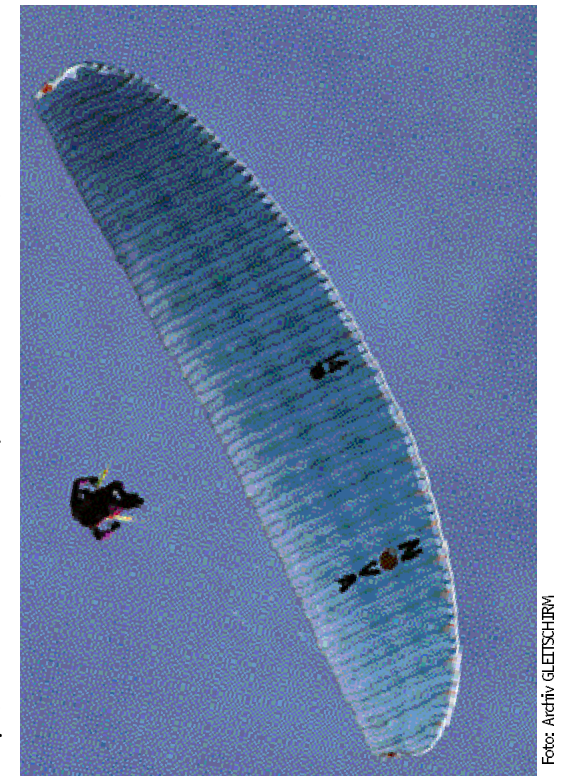


Foto: Archiv GLEITSCHIRM

NOVA war einer der ersten Hersteller, der Diagonalzellen verwendete. Hier Walter Holzmüller mit dem „X1“ bei der WM 1993

mit gerader Eintrittskante zum Handlingswunder mausert. Manchmal scheint das Verhalten eines Prototypen jeder Theorie trotzen zu wollen: Dementsprechend wird das „Trial and Error“ aus dieser Branche nie verschwinden, und erfahrene Konstrukteure wie Manfred Kistler werden weiterhin frei aus dem Nähkästchen plaudern können, ohne am nächsten Tag wegen billiger Kopien aus Nahost arbeitslos zu werden!