

# Warum, warum... ist mein Gleitschirm krumm?

Teil 1

Die Geheimnisse der Stoff-Flügel -  
ein Konstrukteur plaudert aus dem Nähkästchen

## Von Sascha Burkhardt

WARUM FLIEGT DIESER GLEITSCHIRM SCHNELLER ALS EIN ANDERER, WARUM STEIGT JENER SCHNELLER IN DER THERMIK? WARUM DREHT DIESER BESSER, WARUM KLAPPT JENER STÄNDIG? UND WIE SCHAFFEN ES DIE HERSTELLER, IHRE SCHIRME IMMER SICHERER UND GLEICHZEITIG IMMER LEISTUNGSSTÄRKER ZU BAUEN? GLEITSCHIRM BRINGT LICHT IN DIE GEHEIMNISSE DES GLEITSCHIRMBAU!

Wir sind anders!  
Gleitschirme sind anders als die meisten Fluggeräte. Gleitschirm-Fliegen ist einzigartig! Das bestätigen nicht nur angefressene Tuchflieger nach einem „mega-geilen Thermiktag“, sondern auch ernsthafte Aerodynamiker nach einer fundierten Analyse unserer Flugmechanik. Ein Beispiel ist unsere einzigartige Steuerung über Bremsen: Aerodynamisch gesehen handelt es sich dabei um eine ziemlich komplizierte und unsaubere Kurvenerleitung!

Anstellwinkel indirekt  
Auch auf den Anstellwinkel können wir Tuchflieger im Gegensatz zu den anderen Luftfahrzeugen nur indirekt Einfluß nehmen: Wenn unser Schirm beim Einfliegen in eine starke Thermik seinen Anstellwinkel stark vergrößert, können

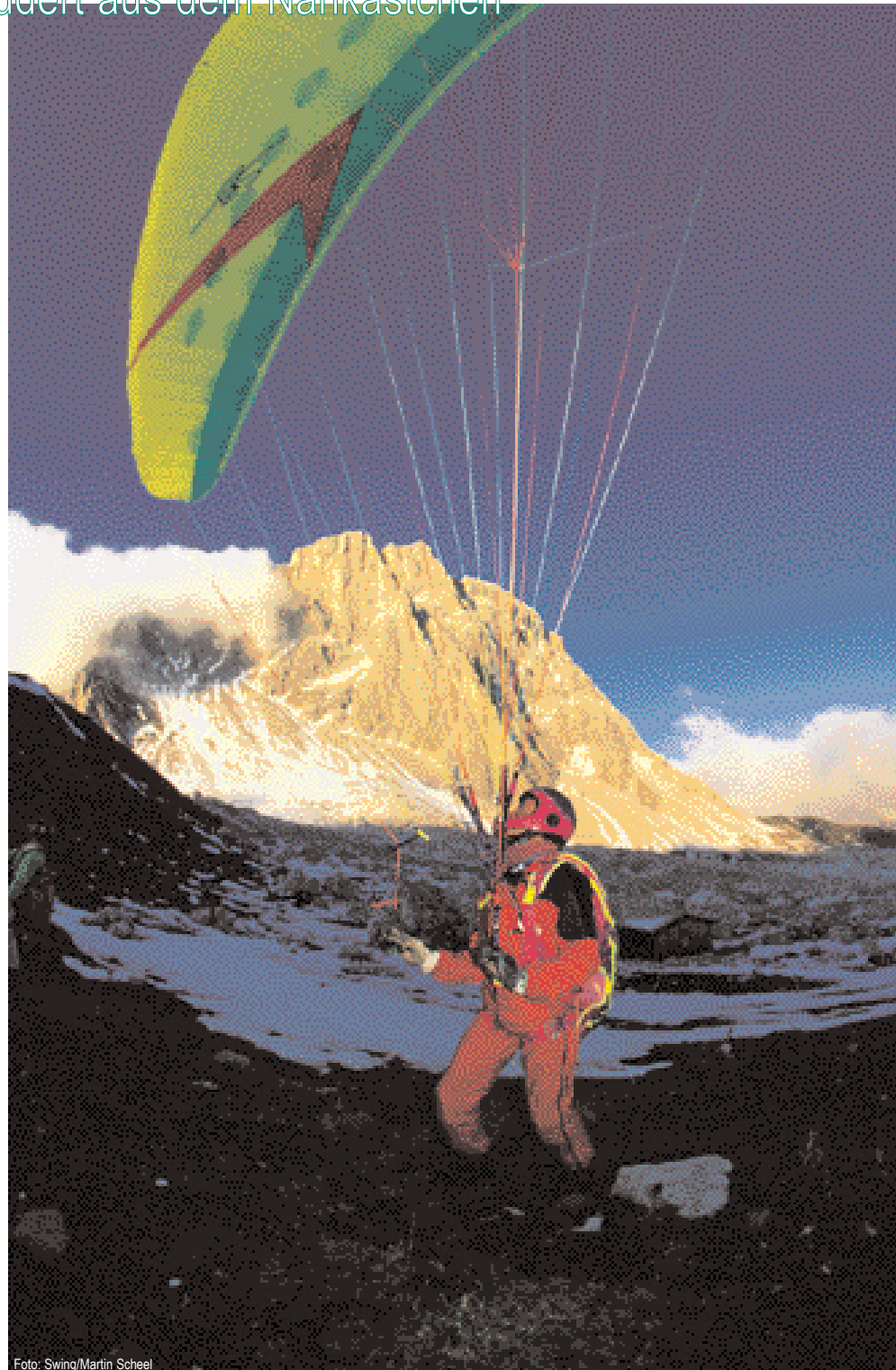
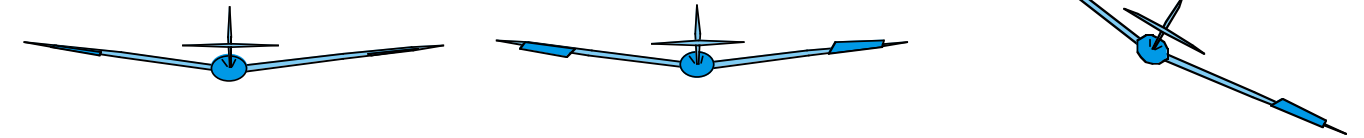


Foto: Swing/Martin Scheel

## Kurven fliegen oder würgen?

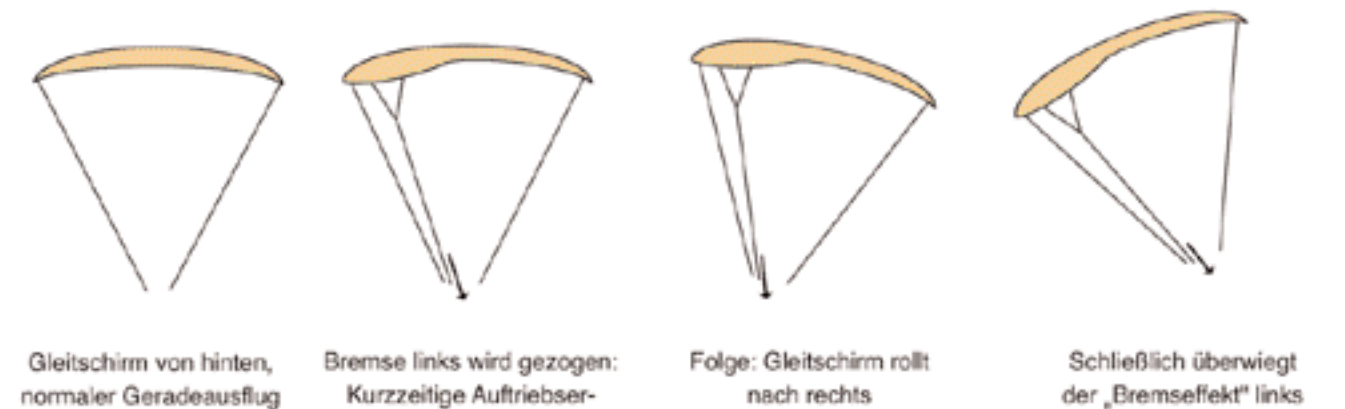


Ob Segelflieger, Motormaschine, Drachen oder Vogel: So ziemlich „alles, was fliegt“, kann direkt auf den Anstellwinkel seines Profils und die Schräglage um die Rollachse Einfluß nehmen und damit die Kurven sauber einleiten und nachzentrieren. Drachenflieger und UL-Trikes steuern als Zwei-Achser direkt über das Trapez Anstellwinkel und Rollachse, während die Flugzeuge und Dreiaxser neben dem Querruder für die Rollachse und dem Höhenruder für den Anstellwinkel sogar noch ein Seitenruder für das Gieren um die Hochachse haben. Der Gleitschirm hingegen muß sich mit einer einfachen „Bremsen“ begnügen, mit der er sich um die Kurve mehr oder weniger „herumwürgt“. Wenn wir zum Beispiel an der linken Steuerleine ziehen, dann bremsen wir die linke Flügelhälfte an. Dadurch müßte eigentlich die rechte

Flügelhälfte um die linke herumkreisen - so erklärt man den Schülern auch vereinfachend den Kurvenflug des Gleitschirms. In Wirklichkeit aber erhöhen wir durch das Abbremsen kurzzeitig den Auftrieb der linken Flügelhälfte. Während eines kleinen Momentes rollt der Gleitschirm also nach rechts. Flugzeuge leiten ja so auch eine Rechtskurve ein: Das linke Querruder klappt nach unten und erhöht den Auftrieb des linken Flügels. Gleichzeitig verliert der rechte Flügel Auftrieb, weil dort das Querruder nach oben geht. Resultat: Das Flugzeug rollt nach rechts und dreht dann auch nach rechts.

Beim Gleitschirm ist dieses gegenläufige Rollen „in die falsche Richtung“ je nach Schirmtyp und Stärke des Leinenzuges für den Piloten kaum oder gar nicht wahrnehmbar, verzögert aber in jedem Falle

die Kurvenerleitung. Wenn diese Bewegung stark ausgeprägt ist, geht dieser Mechanismus „in der falschen Richtung“ sogar noch weiter. Durch die Schräglage und die Trägheit rutscht der Schirm seitlich nach rechts ab, worauf durch den Girouetteneffekt sogar noch eine leichte Gierneigung nach rechts auftritt. Natürlich treten diese Nebeneffekte schnell in den Hintergrund, und die Zunahme des Luftwiderstands der linken Flügelhälfte übertrifft die anderen Phänomene: Der Gleitschirm dreht wie erwartet schließlich doch nach links. Der Preis für die Kurve ist aber eine willentlich degradierte Leistung eines Teils der Tragfläche!



wir nur durch Loslassen der Bremsen und der damit einhergehenden Geschwindigkeitszunahme den Schirm dazu bringen, seinen Anstellwinkel zu verringern. Ein zeitraubender Umweg, der auch das „direkte Feeling“, das zum Beispiel ein Delta-Pilot spürt, vermissen läßt.

Mit Klappe und Hintern  
Ein weiterer gewaltiger Unterschied zwischen den traditionellen Fluggeräten und unseren „Gleitsäckchen“: Die meisten

Fluggeräte steuern entweder aerodynamisch, das heißt über Veränderung der Tragflächen/Leitwerkform durch Ausfahren von Klappen, oder aber über Gewichtverlagerung (Drachen, Trikes). Gleitschirme vermischen beides! Wenn wir eine Kurve fliegen, verändern wir die Profilform durch Herabziehen der Austrittskante und steuern damit aerodynamisch. Gleichzeitig steuern wir aber auch über Gewichtverlagerung, indem wir unser Körpergewicht bewußt nach Kurveninnen verlagern und mit dem „Hin-

tern“ nachsteuern. Doch selbst mit voll zugezogenen Kreuzgurten und ohne bewußte Gewichtverlagerung würden wir die innere Flügelhälfte etwas stärker belasten: Der Zug an den Steuerleinen bewirkt nämlich ebenfalls eine Belastung des kurveninneren Flügels um die paar Kilo des Bremsensatzes, während die kurvenäußere Seite um diese Kilos entlastet wird (wir hängen uns quasi an die kurveninnere Seite). Diese Mischung aus Gewichtskraftsteuerung und aerodynamischer Steuerung



Foto: Hannes Mayr

Die aerodynamische Extrawurst: Der tiefliegende Scherpunkt und die Steuerung über Bremseinsatz machen aus dem Gleitschirm ein aerodynamisches Unikum. Auch die Pendeleffekte nach Kurvoneinleitung und -ausleitung sind in dieser Form bei anderen Luftfahrzeugen nicht bekannt.



Foto: Sascha Burkhardt



Foto: Norbert Aprissnig

Kollegen für Blindflüge auch einen künstlichen Horizont. Auch können unsere Schirme nicht auf einmal nach vorne abkippen und in den Sturzflug übergehen: Der Anstellwinkel im Flug ist durch die Fangleinen fest eingestellt, und selbst wenn die Kappe mal nach vorne schießt oder hinten hängen bleibt, bringt das tiefliegende Pendel des Piloten im wahrsten Sinne des Wortes „alles wieder ins Lot“. Deswegen sind wir auch so ziemlich die einzigen Flugzeuge,

die zu ihrer Sicherheit keinen Fahrtmesser benötigen. Ein Segelflieger zum Beispiel kann fast unbemerkt zu schnell fliegen, wenn er in einen leichten Sturzflug gerät. Die Piloten behalten deswegen auch den Fahrtmesser als eines der wichtigsten Instrumente ständig im Auge, um im grünen „materialverträglichen“ Geschwindigkeitsbereich zu bleiben.

ist in der Luftfahrt ein ziemliches Unikum, von einigen Ausnahmen unter den Starrflüglern der neueren Generation abgesehen.

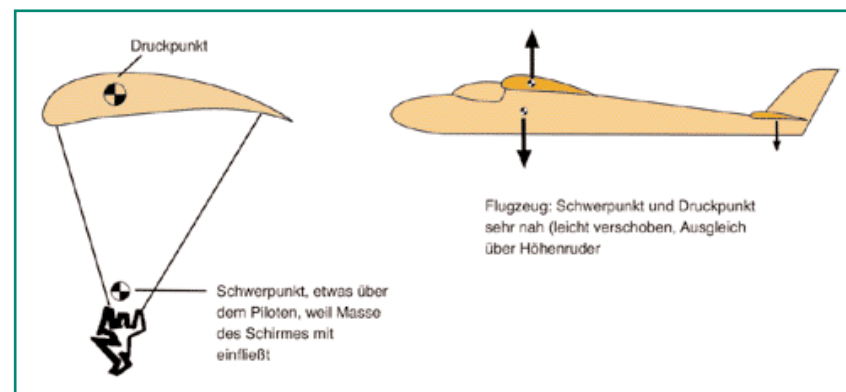
#### Tiefes Pendel

Schließlich gibt es noch zwei weitere gravierende Unterschiede zwischen unseren fliegenden Tüten und den Kollegen aus Blech oder Rohr:

Wir haben einen sehr tiefliegenden Schwerpunkt, und unsere Profile sind wabbelig weich. Der tiefliegenden Schwerpunkt hat weitreichende Konsequenzen auf unser Flugverhalten. Dadurch, dass unser Schwerpunkt ca. sechs bis sieben Meter unterhalb des Profildruckpunktes liegt, besitzen unsere

Fluggefährten eine hohe statische Stabilität. Im Gegensatz zu einem Flugzeug kann es uns selbst im Nebel nicht passieren, daß wir auf einmal auf dem Rücken fliegen. Bei einem Flugzeug kann es - für

den Piloten unbemerkt durchaus vorkommen, daß Fliehkräfte Schwerkraft nach unten vortäuschen, obwohl der Pilot schon längst mit dem Kopf nach unten fliegt. Deswegen haben die Blech-



Trotz tiefliegendem Schwerpunkt kann ein Gleitschirmprofil weit vorschlagen: Die Pilotenmasse braucht eine gewisse Zeit, um wieder ins Lot unter den Schirm zu kommen



Foto: Norbert Aprissnig

Das Einklappen der Stoffflügel hat auch Vorteile: Bevor es zum Materialbruch kommt „flüchtet“ der Flügel und „macht sich klein“.

Weich und wabbelig

Schließlich sind unsere Profile im Gegensatz zu jenen aller anderer Flieger wabbelig. Die Profile unserer luftgefüllten Stoffflügeln weisen eine variable Geometrie auf. Selbst wenn es nicht bis zum Klappen oder Kollaps kommt, ändert sich die Flügelform unter Einfluß von Gewichtsverlagerungen oder Böen ständig. Zwischen dem geplanten und zugeschnittenen Profil und der tatsächlichen Form können gewaltige Unterschiede bestehen!

Wenn dann die Kräfte auf den Stoffflügel in starken Turbulenzen zu groß werden, flüchtet das Profil sogar und klappt weg. Das ist unangenehm, aber eigentlich gar nicht so schlecht: Unsere Flügel sind also intelligent genug, bei zu starker Belastung den Weg des geringsten Widerstandes zu wählen, und den Kopf einzuziehen, bis die „Luft wieder rein ist“. Ein schwacher Trost für den Piloten, der auf einmal unter einem Stoffnäuel hängt und mit einem Schlag fünfzig Meter verliert!

### Geheimnisvolle Schirm-Schmieden

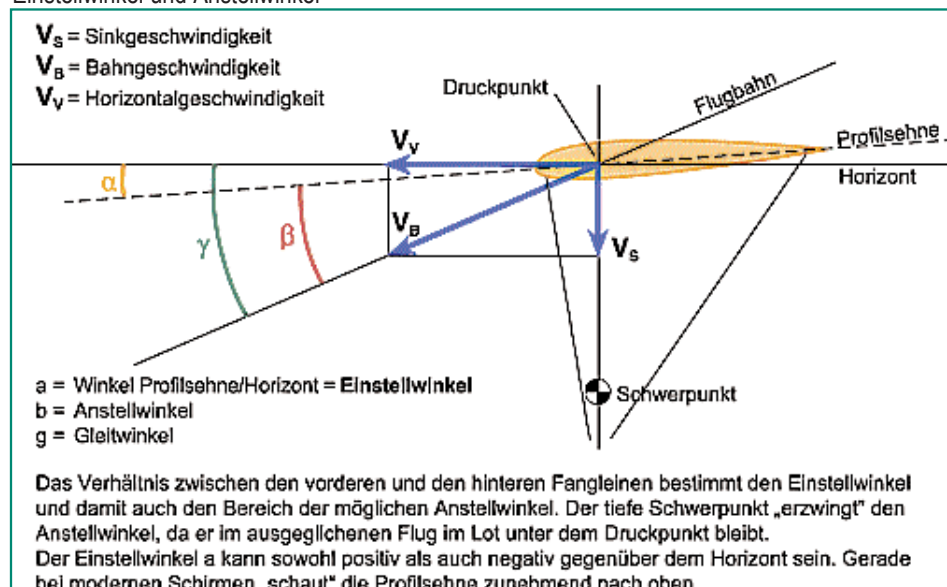
Alle diese Besonderheiten der Gleitschirme haben auch für den Gleitschirmbau weitreichende Folgen: Viele der Profiltheorien und aerodynamischen Erkenntnisse des Flugzeugbaus sind nur zum Teil auf unsere Schirme übertragbar. Die Tüten-Konstrukteure arbeiten deswegen auch viel mehr nach dem „Trial and Error“-Prinzip als die Kollegen aus der Blech-Branche. Ein Airbus-Prototyp fliegt in der Luft wirklich ziemlich genauso wie auf dem Papier beziehungsweise



Foto: Jacques Paul-Stéfani

Druckpunkt und Schwerpunkt praktisch identisch, effiziente aerodynamische Steuerung über weit auseinanderliegende Querruder: Ein Segelflieger läßt sich mühelos und verzögerungsfrei in die Kurve legen

### Einstellwinkel und Anstellwinkel

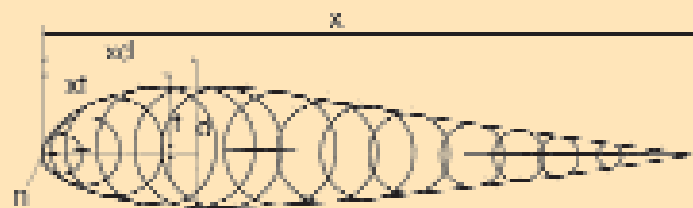


dem Simulatorbildschirm. Ein Gleitschirm-Prototyp dagegen bringt meist so manche Überraschung mit sich! Ganz abgesehen davon, daß die komplex gebogene Flügelform unserer Schirme nicht sehr einfach in Simulator-Programmen zu erfassen ist! Es erscheint also nicht erstaunlich, daß die Gleitschirm-Modelle jedes Jahr besser werden: Schritt für Schritt lernen die Konstrukteure zu den Grundregeln dazu und finden immer bessere Kompromisse zwischen Leistung, gutem Handling und Sicherheit. Um einmal etwas Licht in die Geheimnisse der Schnittmuster-Bogen für Stoffflieger zu bringen, haben wir

einen der bekanntesten deutschen Schirmschneider zum Reden gebracht: Manfred Kistler von der Firma SWING plaudert für uns aus dem Nähkästchen und verrät uns einige seiner Rezepte.

Am Anfang war das Profil Eine der wichtigsten Zutaten für gelungenes Gleitvergnügen: das Profil. Man kann zwar mit viel Aufwand auch ein Scheunentor zum Fliegen bringen, mit einem guten Profil ist das Thermikkreisen aber einfacher. Schon zu den Anfangszeiten der Fliegerei wurde an den Profilen gefeilt. Mittlerweile gibt es ganze Kataloge von Profilen, wobei deren

## Die 5 entscheidenden Merkmale eines Profils



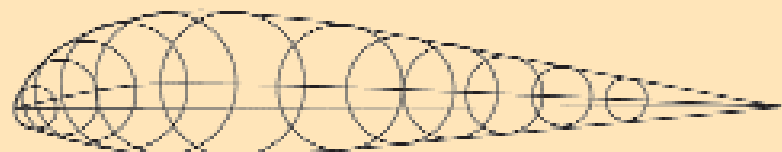
- x Profiltiefe
- xd Dickenrücklage
- xf Wölbungsrücklage
- f Profildicke
- die Werte beziehen sich alle auf die Profiltiefe
- n Nasenradius (Absolutwert in mm)

Die Wölbungslinie wird definiert durch die Mittelpunkte aller Kreise die in das Profil eingezeichnet werden können.

Am Beispiel dieses Astral 2 Profils:

$x = 2.885\text{mm}$   $d = 541\text{mm}$   $f = 37\text{mm}$   $xf = 560\text{mm}$   $xd = 670$   $n = 87\text{mm}$

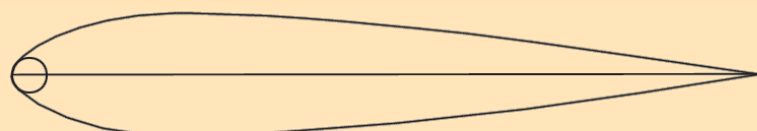
In Prozenten ausgedrückt: Die Dicke des Profils ist 18,7 %, die Wölbung beträgt 1,3 %, die Wölbungsrücklage liegt bei 19 % und die Dickenrücklage bei 23 %. Das Profil hat somit relativ wenig Wölbung, ist für einen Gleitschirm ziemlich dick und damit ausgezeichnet für den Schnellflug bei hoher Stabilität geeignet.



Dazu im Vergleich das Profil vom Mistral 1 (1994):

Dicke: 17 %, Wölbung 3,4 %, Dickenrücklage: 22 %, Nasenradius: 70 mm

Auffällig die viel stärkere Wölbung und der kleinere Nasenradius.



Im Vergleich ein symmetrisches Profil, Wölbung ist gleich Null.

Eigenschaften von fünf Merkmalen bestimmt werden:

- a) Profildicke
- b) Wölbung
- c) Wölbungsrücklage
- d) Dickenrücklage
- e) Nasenradius

Im Gleitschirmbereich kommt dazu noch ein weiterer Aspekt, der allen anderen Flugzeugen völlig unbekannt ist:

- f) Größe und Position der Eintrittsöffnung

### Manfred Kistler erklärt uns den Einfluß dieser Baumerkmale auf das Flugverhalten:

„Die Profildicke als Maß für die Bauhöhe eines Profils im Verhältnis zur Länge ist besonders im Gleitschirmbereich von entscheidender Bedeutung.

Ein dicker Flügel ist stabiler und unempfindlicher auf Störungen, das

Sicherheitsgefühl ist auch subjektiv. Nachteilig sind die höheren Steuerkräfte und das große Luftvolumen, das beim Startvorgang erst einmal gefüllt werden will. Das heißt, die Dimensionierung der Öffnungen hängt auch von der Profildicke ab.

Der Widerstand dicker Profile muß nicht größer sein als jener dünner Profile, denn in erster Linie hängt der Profilwiderstand von der Form des Profils ab, weniger von seiner Stirnfläche.

Gängige Profildicken bei modernen Gleitschirmen liegen zwischen 15 % und 20 %, das heißt, wenn die Profiltiefe 1 m beträgt, ist das Profil an der dicksten Stelle 15-20 cm hoch.

Die Profilwölbung hat starken Einfluß auf das Flugverhalten des Schirmes. Stark gewölbte Profile haben einen hohen Auftriebsbeiwert und steigen im allgemeinen sehr gut in der Thermik. Sie sind für den Langsamflug gut geeignet, haben aber Nachteile in der erzielbaren Geschwindigkeit.

Das Extremflughverhalten von Schirmen mit starker Profilwölbung wird außerdem von starken Schieftendenzen nach Fullstall, Frontstall und sämtlichen dynamischen Manövern geprägt.

Nurflügelprofile (S-Schlagprofile) weisen einen positiven Momentenbeiwert auf, sie stabilisieren den Flügel auch ohne Leitwerk um die Querachse (positives = aufrichtendes Pitch)

Für den Gleitschirm wäre dieses aufrichtende Moment natürlich sehr wünschenswert, weil Nickbewegungen dadurch zusätzlich gedämpft werden. Da der Gleitschirm flexibel ist, und wir keine Druckkräfte in Kappenrichtung übertragen können, sondern nur Zugkräfte über die Leinen, kann die Profilstalt in diesem Fall nicht genau gehalten werden. Trotzdem sind Ansätze in dieser Richtung vorhanden, ich habe beim Mistral 1995 ein S-Schlagprofil eingesetzt, und die Erfahrungen waren durchwegs positiv. Weitere Profilentwicklungen bei Swing wurden davon stark beeinflusst.

Thermikprofile haben die Wölbungsrücklage im allgemeinen relativ weit vorne, und bei den Gleitschirmprofilen hat sich das ebenfalls bewährt. Die Erzeugung des Auftriebs im vorderen Bereich ist für die passive Sicherheit gegen Einklapper wichtig. Es ist daher schlecht, wenn die Wölbungsrücklage zu weit hinten liegt.

Dasselbe gilt für die Dickenrücklage:

## Das Wandern ist des Druckpunkts Lust

Stark gekrümmtes Profil



Hier ein sehr stark gewölbtes Profil: Es wird unten richtig hohl. Solche Profile funktionieren nur bei Vögeln und Modellflugzeugen. Im Gleitschirmbereich setzt man sie nicht ein. Solche Profile tragen zwar im Langsamflug noch sehr gut, haben aber aufgrund ihrer weitreichenden Druckpunktwanderungen böse Schieftendenzen nach dynamischen Manövern. Allerdings nehmen unsere Profile im stark gebremsten Langsamflug durch die tief herabgezogene Austrittskante eine ähnliche Form an. Die Landeklappen von Flugzeugen „hohlen“ ebenfalls das Profil für den Langsamflug. Wir nutzen also alle die Vorzüge von fast symmetrischen Profilen für den Trimmflug und von hohlen Profilen für den Langsamflug!

S-Schlag - Profil



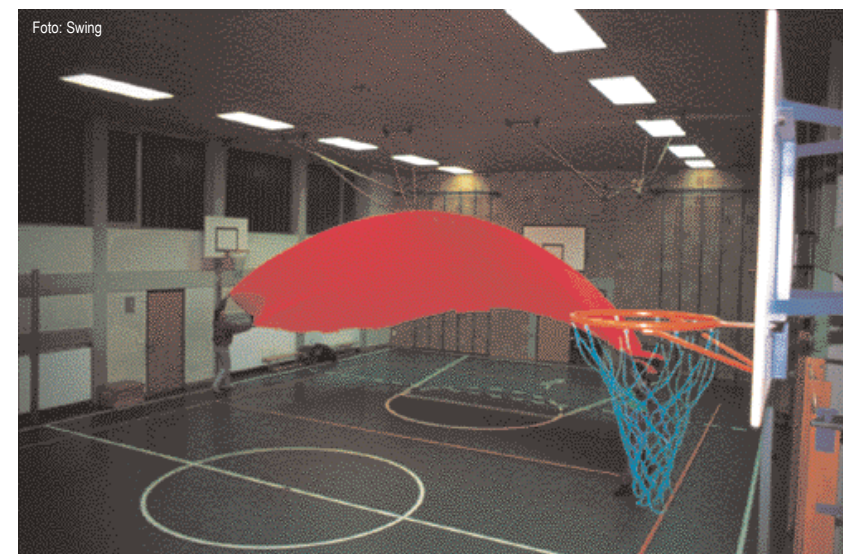
Hier ein Beispiel eines „autostabilen“ S-Schlag-Profils. Bei einem solchen Profil wandert der Druckpunkt kaum, und das Profil stabilisiert sich selbst. Leider kann man ein solches Profil wegen fehlender Zugleinen nach oben, wie sie ein Drachen über den Turm aufbauen kann, im Gleitschirmbereich nur schwer realisieren.

Auch sie sollte nicht zu weit hinten liegen. Bei Laminarprofilen im Segelflug ist das gang und gäbe, Versuche meinerseits mit Profilen aus diesem Bereich haben aber gezeigt, daß diese Profile wenig stabil sind, hohe Steuerdrücke aufweisen und

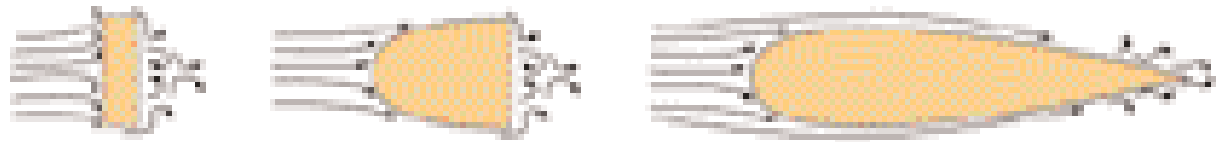
wenig Steuerweg bereithalten.

Die Dickenrücklage im Bereich von 15-22 % der Profiltiefe ist für den Gleitschirmbereich sinnvoll.

Je größer der Nasenradius, desto stumpfer das Profil, je kleiner der Nasenradius,



Die Gleitschirmarchitektur ist vor allem über praktische Versuche vorangetrieben worden



### Der Formwiderstand

Eine flache Platte erzeugt etwa 20 mal mehr Luftwiderstand als eine Platte derselben Größe, die tropfenförmig verkleidet ist. Es kommt also nicht auf die Stirnfläche an, d.h. die projizierte Fläche, sondern vielmehr auf die Form der Verkleidung!

desto spitzer das Profil. Spitze Profile weisen ein gutmütiges Extremflughverhalten auf, neigen aber zum Sackflug. Stumpfe Profile sind im Extremflug anspruchsvoller, haben aber nur eine geringe natürliche Sackflugtendenz.

Auf die Leistung hat der Nasenradius keine Auswirkung, wohl aber auf die Handlingeigenschaften. Stumpfe Profile bieten die meisten Vorteile: Die Anlaufstrecke für die anströmende Luft verläuft steiler, das Profil weist mehr Steuerweg auf, und der Strömungsabriss tritt später ein.

Die Größe und die Lage der Eintrittsöffnungen haben einen großen Einfluß - sowohl auf das Startverhalten, das Extremflughverhalten, auf den Staudruck im Gleitschirm sowie auf die beschleunigten Flugeigenschaften. Unsere Aufnahmen mit einer Videokamera im Schirminnen haben deutlich belegt, daß die Staupunktwanderung bei richtiger Lage und Dimensionierung der Öffnung innerhalb der Öffnung liegt. Somit tritt kein Staudruckverlust auf, das Einbeulen des Segels wird verhindert, und die Kappe liegt auch bei höheren Geschwindigkeiten ruhig in der Luft.“

Man sieht deutlich, wie schon bei der Profil-Auswahl unterschiedlichste Faktoren einfließen, bis schließlich der beste Kompromiß für das gewählte Pflichtenheft gefunden wird. Wie wurde dies denn zum Beispiel im konkreten Fall des brandaktuellen Mistral II umgesetzt?

„Für den Mistral 2 standen im Pflichtenheft vor allem sehr gutes Handling, gute Starteigenschaften, gute Thermikeigenschaften, gutes Gleiten. Deswegen haben wir ein Profil mit relativ starker Wölbung gewählt. Die Dicke im vorderen Bereich ist relativ groß (ca. 18 %). Dadurch erhalten wir eine hohe Stabilität und besse-

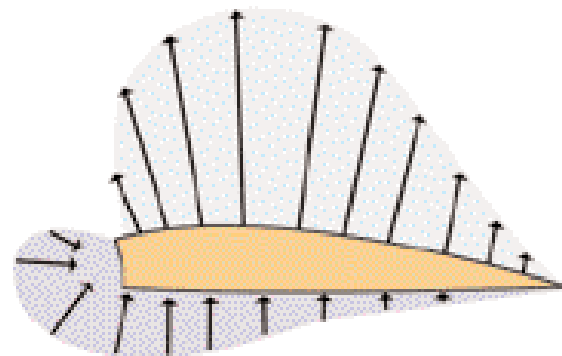
res Beschleunigen, weil der weit vorne liegende Hauptauftrieb die Kappe gegen Frontstalls stabilisiert. Hinten ist das Profil zugunsten geringer Steuerkräfte sehr dünn.

Die Dickenrücklage ist relativ weit vorne, um gute Thermikeigenschaften und genügend Steuerweg zu erhalten.

Die Öffnung ist in Hinblick auf den Start optimiert für ein gutes Füllverhalten. Nach den Erfahrungen mit der Innenvideokamera wurde die Öffnung so ausgelegt, daß bei höheren Geschwindigkeiten die Verformung der Nase gering bleibt. Die Staupunktwanderung sollte immer im Bereich der Öffnung stattfinden.

Der Nasenradius ist beim Mistral II eher groß und erlaubt einen guten Kompromiß aus Sackflughverhalten und Schießtendenz.“

**Gestreckt, gekrümmt, gepfeilt: In der nächsten Ausgabe lesen Sie, wie aus dem Stoffprofil ein Gleitschirm wird und welchen Einfluß Grundform und Krümmung auf den Flug haben.**



### „Nasen-Operationen“

Früher waren die Eintrittsöffnungen weit vorne, das Profil war vorne praktisch abgeschnitten. Man dachte, daß sich trotzdem durch den Staudruck eine virtuelle Profilnase bilden würde. Das war nur teilweise richtig. Die starken Verwirbelungen brachten vor allem unnötigen Widerstand. Heutzutage tragen die Profile nicht nur besser, sondern es wird auch ein größerer Teil des Auftriebs in Vortrieb umgewandelt.

Minoa 1992



Foto: Archiv GLEITSCHIRM

Picco 1992



Foto: Swing/Martin Scheel

Mythos 1993

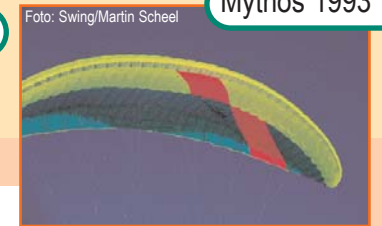


Foto: Swing/Martin Scheel

Manfred Kistler

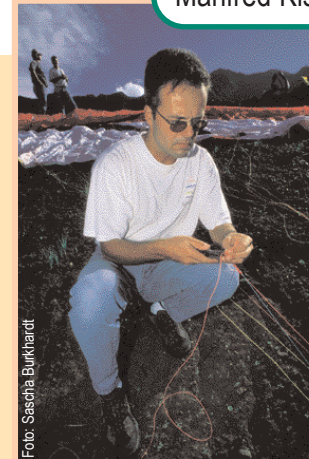


Foto: Sascha Burkhardt

1966 geboren in Mammendorf, verheiratet mit der Bankkauffrau Maria, 2 Kinder (Diana 4 Jahre und Marco 2 Jahre).

Schon als kleiner Junge war Manfred von der Fliegerei fasziniert. Bevor er selbst abhob, schickte er erst einmal selbstgebaute Flugmodelle als Stellvertreter voraus. Neben Segelfliegern waren auch

Nurflügler und Entenflügel dabei.

Nach 3 Jahren Ausbildung zum Flugzeugmechaniker hat er dann eineinhalb Jahre an Kampjets „herumgeschraubt“ (O-Ton Kistler), danach studierte er 4 Jahre lang Luftfahrzeugtechnik. Um selbst in die Luft zu kommen, begann er mit der Segelfliegerei. Dieser Sport erschien ihm aber bald etwas aufwendig und mit einer erdrückenden „Vereinsmeierei“ behaftet. Wie gut, daß bald die Gleitschirme erfunden wurden!

1990 flogen erste selbstgenähte Prototypen, seit 92 ist Manfred in einem Fulltime-Job bei Swing angestellt und hat dort maßgeblich an folgenden Modellen mitgewirkt:

Minoa 1992, Picco 1992, Mythos 1993, Mistral 1994, Ventus 1995-1996, Sinus und Astral 1997, Arcus 1998 und 1999, Silex 1999, Astral II 2000, Mistral II 2001.

Mistral 1994



Foto: Swing/Martin Scheel

Sinus 1997



Foto: Swing/Martin Scheel

Ventus 1995-1996



Foto: Swing/Martin Scheel

Astral 1 1997



Foto: Swing/Martin Scheel

Arcus 1998-1999



Foto: Sascha Burkhardt

Mistral II 2001



Foto: Franz Huber

Astral 2 2000



Foto: Swing/Martin Scheel

Fresh Breeze Silex 1999