

Die Steilspirale - Königin

GRENZERFAHRUNGEN

VON PETER BRUGGMÜLLER

Die Steilspirale ist ein sehr beliebtes Flugmanöver - und dennoch ein recht „unbekanntes Wesen“. Die komplexe Aerodynamik und das manchmal erstaunliche Schirmverhalten umgeben diesen Flugzustand für viele Piloten mit einer geheimnisvollen Aura. Peter Bruggmüller analysiert die Aerodynamik der Steilspirale und erforscht ihre Grenzen.

Foto: Thomas Ulrich

Leichte Kurven

Schon bei einer leichten Kurve verläßt eine Gleitschirmkappe die typischen Verhaltensmuster anderer Flugzeuge. Zur Erinnerung: Will ein Gleitschirmpilot, der sich im Geradeausflug befindet, eine Rechtskurve einleiten, zieht er bekanntlich an der rechten Steuerleine. Was dabei aus aerodynamischer Sicht passiert, ist im Gegensatz zur übrigen Luftfahrt recht komplex. Durch das Ziehen der Steuerleine wird das Profil stärker

gewölbt und steiler angestellt. Da die Fluggeschwindigkeit im ersten Moment noch unverändert ist, bedeutet das, daß der Auftrieb der rechten Flügelhälfte zunimmt (siehe Abbildung 1a). Der rechte Flügel wird leicht angehoben, und ein Anheben des rechten Flügels würde eigentlich dazu führen, daß der Schirm gegen die Pilotenabsicht nach links fliegen will. Warum passiert das nicht? Dafür gibt es zwei Gründe. Das Ansteigen des Auftriebs bewirkt gleich-

Abb. 1a



Zieht der Pilot an der Steuerleine, werden gleichzeitig Auftrieb und Widerstand erhöht

der Kurven

IM KREISVERKEHR



zeitig einen größeren Widerstand der rechten Flügelhälfte. Dieser Widerstand bremst die rechte Schirmhälfte, sodaß nun die linke Seite vorausfliegt und die Kurve eingeleitet wird. Die ungleichmäßige Auftriebsverteilung leistet dabei auch einen Beitrag. Sie zieht den Schirm auf die Kurveninnenseite und hilft mit, daß die notwendige Schräglage für einen gleichmäßigen Kurvenflug rasch hergestellt wird. Noch einmal zusammengefaßt: Beim Ziehen an der Brems-

Rundum glücklich

Persönliche Erfahrungen des Autors

Die Steilspirale ist eines meiner Lieblingsmanöver. Aber nicht nur das, für mich spiegelt sie ein Stück persönliche Gleitschirmgeschichte wider. Als ich im Januar 1992 als Student meine ersten Höhenflüge unter einem betagten Brizair erlebte, war ich sofort Feuer und Flamme für den Flugsport. Was mich bald schon sehr störte, war die Tatsache, daß ich damit keine richtige Steilspirale fliegen konnte. Natürlich war das gar nicht nötig, denn meist stand ich viel früher auf dem Boden als mir lieb war. Es half nichts, ein Comet CX 21 war mein erklärtes Traumgerät. Nach einer kurzen Gewöhnungsphase an die Leistungsmaschine wollte ich endlich erkunden, wie denn die Steilspirale ist, von der einige Vereinskameraden so schwärmten. Einfach so zum Spaß, denn als beste Abstiegsmethode wurde in der Flugschule A- und B-Leinenstall gelehrt. Also zog ich beherzt an der Steuerleine. Nach einer Sekunde des Zögerns tauchte der Schirm weg, drehte immer schneller. Es begann mir schwarz vor Augen zu werden. Ob ich wirklich an der Grenze der körperlichen Belastbarkeit war oder mir das nur eingebildet hatte, weiß ich bis heute nicht. Ich erinnere mich nur daran, daß ich die Steuerleine losließ und mich friedlich fliegend wiederfand. Jedenfalls hatte ich von nun an großen Respekt. Trotzdem wuchs bald mit jeder neuen Spirale meine Freude am Spaß, und fünf Monate später erlebte ich die erste große Schrecksekunde. In der schönsten Spirale krachte es, ich erhielt ruckartig einen Schlag und schon war alles wie vorher. Ich leitete die Steilspirale aus und kapierte erst jetzt, daß das Sitzbrett gebrochen war. Bei meinen damals mageren 55 kg erstaunte mich das schon. Zwei Jahre später erlebte ich bei einer Flugvorführung für die örtliche

Skischule ähnliches. Mit einer kräftigen Steilspirale an meinem P40 wollte ich zur Programmöffnung das Publikum beeindrucken - ja, das war damals mit sowas noch möglich. Nach wenigen Umdrehungen vernahm ich trotz enormer Windgeräusche, wie irgendwas langsam zerriß, und kippte seitlich leicht weg. „Wo ist der Rettungsschirm?“, war mein erster Gedanke. Reflexartig beendete ich die Spirale und sah - mit der Hand am Griff des Retters - daß eine Naht am Gurtzeug gerissen war und das Sitzbrett herausstand. Trotzdem hing ich sicher in den Gurten. Ich konnte sogar mein Flugprogramm fortsetzen. Natürlich war ich nun vorsichtiger ...

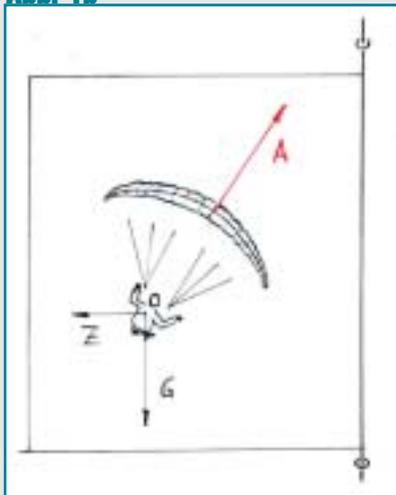
Kollegen berichteten wiederholt von gigantischen Sinkwerten in der Spirale. Ich konnte es aber nie glauben, mein heute noch funktionstüchtiges Alibi-Vario zeigt nämlich keine Sink- und Steigwerte über 10.0 m/s. Das Rätsel um die Sinkwerte sollte sich jedoch rasch lösen. Mein bester Fliegerkollege kam auf dem Landeplatz leicht benommen auf mich zu und meinte: „Ich habe mir gerade das Hirn wegspiralt!“ Ich hatte ihn gesehen, und seine Spirale war wirklich beachtlich. Sein Piccolo zeigte unglaubliche 20.6 m/s maximales Sinken - erflogen unter der Mutter aller moderner Schulschirme, einem Philou. Meßfehler? Oder war das tatsächlich möglich, was ich immer für Fliegerlatein gehalten hatte? Die Zeit steht nicht still. Ich hätte kaum gedacht, daß es in so naher Zukunft Gleitschirme geben würde, mit denen es oft leichter ist auf- als abzusteigen, daß selbst an neu entwickelten Gurtzeugen gebrochene Sitzbretter und zerrissene Gurte keine Seltenheit sind, daß Hersteller für akroambitionierte Piloten verstärkte Gurte auf den Markt bringen würden, daß die Steilspirale aus dem Schattendasein eines Funmanövers heraustreten und zur Abstiegsvariante Nr. 1 avancieren würde.

leine werden Auftrieb und Widerstand an der gebremsten Seite erhöht. Dominiert nun der Auftrieb, will der Schirm zuerst in die entgegengesetzte Seite drehen, bevor er in die vom Piloten beabsichtigte Kurve gezwungen wird. Man spricht daher auch von einem „negativen Wendemoment“. Dieses Verhalten beobachtet man in erster Linie an sehr leistungsstarken, gestreckten Flügeln mit flacher Kappenkrümmung. Besonders ausgeprägt soll es beim extrem gestreckten Versuchsflügel mit dem Schlauchholm Paradelta Ben Hur gewesen sein. Zum Glück passiert meist etwas anderes, nämlich der gewünschte Effekt: Der Widerstand dominiert, die Schirmseite wird verzögert, und der Schirm

fliegt willig in die vom Piloten beabsichtigte Richtung.

Normalerweise unterstützen wir Piloten ganz unbewußt den Kurvenflug, indem wir das Gewicht auf die Kurveninnenseite verlagern. Das hat nämlich zur Folge, daß der Mehrauftrieb durch das Anbremsen ausgenützt wird, um mehr von unserem Gewicht zu tragen. Damit wird das Anheben der gebremsten Flügelhälfte vermieden, und die Effekte des negativen Wendemoments werden unterdrückt. Übertreiben wir es mit der Gewichtsverlagerung, kann die Schirmhälfte nicht mehr den notwendigen Auftrieb erzeugen und taucht ab. Bei vielen Gleitschirmmodellen kann man mit extremer Gewichtsverlagerung eine Steilspi-

Abb. 1b



Im Kurvenflug stehen Gewicht, Zentrifugalkraft und Auftrieb miteinander im Gleichgewicht

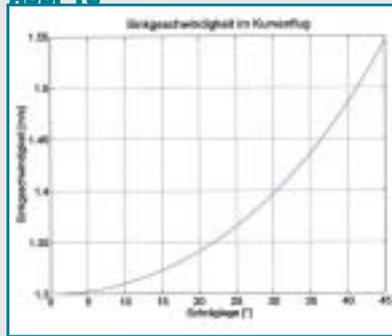
rale einleiten, ohne die Steuerleinen einzusetzen.

Betrachtet man nun den stationären Kurvenflug mit maximal 45° Schräglage, gilt in sehr guter Näherung, was Abbildung 1b zeigt. Schirmkappe und Gleitschirmpilot befinden sich in einer senkrechten Ebene, die sich wie eine Tür in der Angel dreht, mit dem wichtigen Unterschied, daß es im Flug auf einer flachen Schraubenlinie abwärts geht. Der Auftrieb muß in der Kurve nicht nur das Gewicht tragen können. Er muß auch die Zentrifugalkraft kompensieren. Bei 45° Schräglage nimmt er um circa 41 % zu. Der Einfachheit halber soll angenommen werden, daß die Kurve nur mit Gewichtsverlagerung geflogen wird. Da sich dabei offensichtlich die aerodynamische Qualität des Gleitschirms gegenüber dem Geradeausflug nicht verändert hat, kann dieser zusätzlich nötige Auftrieb nur erzeugt werden, indem die Fluggeschwindigkeit zunimmt. Und weil der Schirm bei unserer theoretischen Betrachtung in keiner Weise deformiert wird, bleibt die Gleitzahl gleich. Dies heißt im Klartext, Vorwärts- und Sinkgeschwindigkeit nehmen gleichermaßen zu. Grafik 1c zeigt, daß beispielsweise bei gut 40° Schräglage das Sinken im Trimmflug von 1,3 auf 1,5 m/s zunimmt.

Steilspirale

Wenn man eine erheblich steilere Kurve fliegt und allmählich in die

Abb. 1c



Im Kurvenflug ist größerer Auftrieb notwendig als im Geradeausflug, weil auch die Zentrifugalkraft kompensiert werden muß. Leitet der Pilot eine Kurve nur durch Gewichtsverlagerung ein, kann der Schirm diesen Mehr-Auftrieb nur erbringen, indem er schneller fliegt. Daher nimmt auch die Sinkgeschwindigkeit zu.

Spirale übergeht, sind die vereinfachten Betrachtungen aus Abbildung 1b nicht mehr gültig. Der Schirm „geht auf die Nase“, Geschwindigkeit und Belastung nehmen zu. Die Kurve wird zu einer engen Spirale. Pilot und Schirmkappe befinden sich nicht mehr in einer senkrechten, sondern in einer schie-

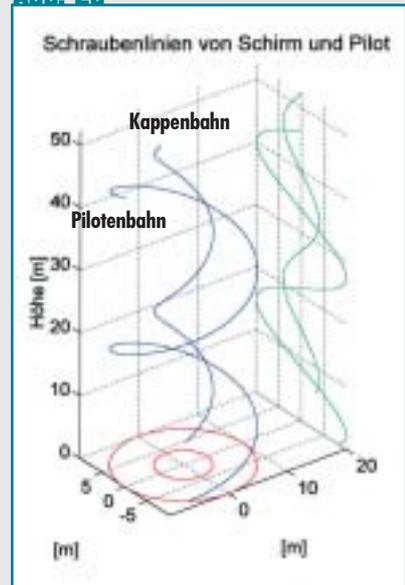
Abb. 2a



Die Strömungsvorgänge in der Steilspirale sind recht kompliziert. In einer stationären Spirale befindet sich der Pilot mit dem Schirm in einer schiefen Ebene, die um eine senkrechte Achse dreht. Diese Ebene ist nach vorne geneigt und zum Drehpunkt geneigt.

fen Ebene (siehe Abbildung 2a). Eine Berechnung dieses Flugzustands der Steilspirale ist zwar möglich, aber sehr aufwendig. Darum kann sie hier nur angedeutet werden. Wie in Abbildung 2b zu sehen ist, schraubt sich der Schirm sehr steil nach unten, während der Pilot eine viel weitere und flachere Schraubenlinie beschreibt. Man kann sich das anhand einer Wendeltreppe bes-

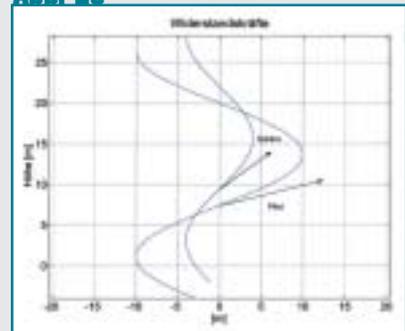
Abb. 2b



Pilot und Schirmkappe bewegen sich auf Schraubenlinien abwärts. Deutlich sichtbar: Der Pilot muß bei jeder Umdrehung einen erheblich längeren Weg zurücklegen als der Schirm.

ser vorstellen. Das innere Geländer ist sehr steil, das äußere flacher. Soll dieser Flugzustand analysiert werden, erkennt man rasch, daß die Luftwiderstände nicht alle zusammengefaßt werden können. Der Luftwiderstand zeigt seiner Definition gemäß immer gegen die Flugrichtung. Weil der Pilot sich auf einer flacheren Bahn bewegt als der Schirm, hat sein Widerstand auch eine andere Richtung (Abbildung

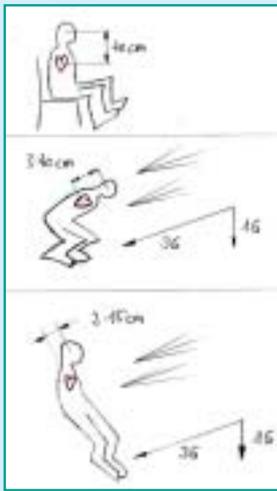
Abb. 2c



Momentaufnahme der Spirale: Der Strömungswiderstand ist immer gegen die Bewegung gerichtet. Weil sich der Pilot auf einer flacheren Bahn als die Schirmkappe abwärts schraubt, schließt sein Widerstand einen kleineren Winkel mit der Horizontalen ein. Bei der Widerstandsberechnung müssen die unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Richtungen von Pilot und Schirm beachtet werden. Gleiches gilt genau genommen für jede einzelne Leine.

Maschine Mensch

Die Steilspirale stellt nicht nur für die Ausrüstung eine große Belastung dar, sondern auch für den Piloten. Betrachtet man ganz nüchtern den menschlichen Organismus als Biomachine, wird klar, warum das so ist. Normalerweise muß das Herz beim erwachsenen Menschen, wenn er sitzt oder steht, das Blut etwa 40 cm zum Gehirn hinaufpumpen. Wirkt wie in einer satten Spirale die dreifache Last (3 G) auf den Körper ein, ist es so, als ob das Herz das Blut 120 cm hinaufpumpen müßte (siehe Abbildung). Darum wird die Steilspirale als anstrengend empfunden, selbst wenn der Pilot dabei von außen betrachtet keinerlei anstrengende Bewegungen ausführt. Hier gibt es allerdings einen kleinen Trick, den jeder fortgeschrittene Pilot selbst ausprobieren kann. Spiralt man aufrecht sitzend über mindestens eine halbe Minute, erlebt man die Beschleunigung viel intensiver. Man spürt, wie die Beine anschwellen und selbst das Atmen mit der Zeit anstrengend wird. Legt man sich dagegen möglichst liegend ins Gurtzeug, verkraftet man markant mehr. Die Pumphöhe, die das Herz zu bewältigen hat, ist dann nämlich viel geringer. Wer das ausprobieren möchte, sollte vorsichtig ans Werk gehen. In der Liegeposition ist das Steuergelühl schlechter und die Twistgefahr größer. Zu den ebengenannten Kreislaufbelastungen kommt noch, daß das möglicherweise unterversorgte Gehirn mit den massiven Reizen der Sinneseindrücke - Sehen der rotierenden Landschaft und Reizen vom hochbelasteten Gleichgewichtsorgan - nicht mehr fertig wird. Kein Wunder also, daß bei derartigen Beschleunigungen Denk- und Urteilsvermögen des Piloten stark getrübt sind. Und natürlich: Der Mensch ist keine Maschine, die jeden Tag gleich funktioniert. Nur wer sich hundertprozentig fit fühlt, sollte härtere Spiralen fliegen. Das sonntägliche Katerfliegen nach einer durchgefeierten Nacht eignet sich sicher nicht für derartige Experimente.

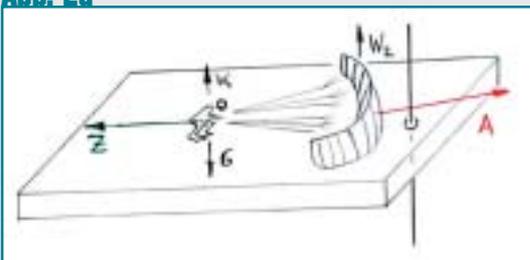


Beim Stehen oder Sitzen muß das Herz normalerweise das Blut etwa 40 cm zum Gehirn hinauf pumpen. Fliegt man eine 3-G-Spirale aufrecht, ist es so, als müßte das Herz 120 cm überwinden. Schafft der Kreislauf dies nicht, kann es zu einer Unterversorgung des Gehirns kommen (Schwindel, Greyout, Blackout). Nimmt der Pilot in der Spirale eine Liegeposition ein, kann die Pumphöhe verringert werden. Die Belastung wird nicht so extrem empfunden.

2c). Der Auftrieb zeigt nach Vereinbarung der Aerodynamiker immer senkrecht zur Anströmungsrichtung. Im Fall der Steilspirale zeigt er schräg aufwärts etwa zur Mitte der Drehachse. Für eine stationäre, das heißt gleichförmige Steilspirale müssen sich alle Kräfte gegenseitig auf-

heben. Als Beispiel soll das Kräftegleichgewicht einer extremen Spirale in vertikaler Richtung näher betrachtet werden (Abbildung 2d). Abwärts zeigt nur das Gewicht. Aufwärts dagegen zeigt ein kleiner Anteil des Auftriebs, ein Anteil des Widerstands der Schirmkappe und ein Anteil des Pilotenwiderstands. Zwischen diesen vier Kräften muß Gleichgewicht herrschen. Man sieht sofort, daß das mit erheblichem Aufwand verbunden ist, obwohl vieles vereinfacht worden ist. So wurde beispielsweise der Leinenwiderstand vernachlässigt. Außerdem ist nicht berücksichtigt, daß der Vergleich mit der Wendeltreppe auch auf die Schirmkappe allein übertragen werden muß: Der Innenflügel hat einen größeren Anstellwinkel als der Außenflügel und erzeugt daher auch mehr Auftrieb. Wir wissen das aus

Abb. 2d



Extreme Steilspirale (Spiralsturz, sehr vereinfacht betrachtet): Der Auftrieb steht etwa mit der Zentrifugalkraft im Gleichgewicht, das Gewicht mit den Widerständen

dem Flugalltag. Bei vielen Gleitschirmen wird in der Steilspirale der Außenflügel weich. Das kann sogar so weit gehen, daß die äußeren Zellen einklappen oder schlagen, weil der Nullauftriebswinkel örtlich unterschritten wird, wenn die Außenseite nicht angebremst wird. Diese asymmetrische Auftriebsverteilung hat weitreichende Folgen. Man muß bedenken, daß beispielsweise bei 3 G Last einzelne Leinen oder Bahnen des Schirms weit mehr aushalten müssen als das Dreifache der normalen Belastung im Trimmflug. Nach Überschlagsrechnungen kann die örtliche Last etwa doppelt so groß wie die mittlere werden. Konkrete Meßergebnisse aus Versuchsflügen sind uns nicht bekannt, aber man darf davon ausgehen, daß die A- und B-Leinen auf der Kurveninnenseite einer Spirale mehrere Zentimeter gedehnt werden.

Steilspirale extrem - Spiralsturz

Bis zu einem Sinkwert von maximal 14 m/s gilt eine Steilspirale noch als „akzeptables Flugmanöver“ - darüber hinaus schon eher als „Extremflugzustand“.

Ein Pilot, der den Steuerleinenzug durch gezielte Gewichtsverlagerung unterstützt, kann Sinkwerte über 20 m/s erzielen und sich so „das Gehirn wegschrauben“, wie manche Piloten das entsprechende Fluggefühl be-

Das Schleudertrauma des Autors

Im vergangenen Frühjahr mußte ich wegen eines vereinbarten Termins einen herrlichen Flug gewaltsam abbrechen. Mehr als 2.000 Höhenmeter galt es so schnell wie möglich in thermisch brodelnder Luft zu vernichten, was ich in drei Etappen erledigte. Ich spiraltete nur mehr wenige hundert Meter über Schruns, als ich ein Rascheln vernahm. Reflexartig hob ich rasch den Kopf, um nachzusehen, was die Kappe für Formen annahm. Ich dachte nicht daran, daß Kopf und Helm das dreifache Gewicht hatten und in den Nacken peitschten. Das schmerzhafteste „Schleudertrauma“, wie ein ehemaliger Zivikollege und Sanitäter diagnostizierte, erinnerte mich noch mehrere Tage lang an meinen Kontrollblick. *Peter Bruggmüller*



schreiben. Für derart extreme Steilschirmspiralen hat Otto Voigt in seinem empfehlenswerten Buch „Aerodynamik und Flugmechanik des Gleitschirms“ (erhältlich im GLEITSCHIRM-Leserservice) den treffenden Ausdruck „Spiralsturz“ vorgeschlagen. Die Kurvenradien werden extrem eng, die Schirmkappe dreht fast auf der Stelle. Aerodynamisch ist das Kräftegleichgewicht in diesem Zustand - wiederum mit einigen Vereinfachungen - leichter zu fassen als eine gewöhnliche Steilschirmspirale. Im Spiralsturz zeigt die Schirmnase fast gerade zum Boden. Wie in Abbildung 2d dargestellt, muß der Auftrieb (fast) waagrecht zur Drehachse zeigen, der Widerstand der Schirmkappe (fast) senkrecht nach oben, der Pilotenwiderstand wie immer gegen die momentane Bewegungsrichtung des Piloten. Grob vereinfacht kann man für diesen Flugzustand zusammenfassen: Die Zentrifugalkraft zieht gegen die Auftriebskraft. Und die senkrechten Anteile aller Luftwiderstände stehen im Gleichgewicht mit der Gewichtskraft. Das erinnert stark an eine Konfiguration, wie sie im Downplane vorliegt. Darum kann man zwei Erkenntnisse der Downplanekonfiguration übernehmen (siehe GLEITSCHIRM 11/12 2003, ab Seite 36).

- Die maximale erzielbare Sinkge-

windigkeit für die Steilschirmspirale läßt sich errechnen: Für einen aktuellen Intermediate mit 10 m/s (36 km/h) Trimmgeschwindigkeit und Gleitzahl 8 erhält man theoretisch ein maximal erreichbares Sinken von 28,3 m/s. Schneller geht es nicht. Dieser Wert darf noch etwa 10 % abgerundet werden, weil die vom Trimmflug übernommene Gleitzahl durch die Auftriebsverteilung, die stark von der idealen, elliptischen Verteilung abweicht, und den größeren Widerstand von Pilot und Leinen aufgrund ihrer höheren Bahngeschwindigkeit zu optimistisch geschätzt ist. In der Praxis ist also bei etwa 25 m/s Schluß. Die Berechnungsformel verriät auch: Wer schneller absteigen will, kann mit einem schnelleren, leistungsstärkeren Schirm oder höherer Flächenbelastung nachhelfen.

- Die zweite Erkenntnis besteht darin, daß die maximale Belastung über die Gleitzahl abgeschätzt werden kann mit $n < G_z$. Das heißt beispielsweise, daß bei einem Schirm mit Gleitzahl 8 die Belastung 8 G nie überschritten wird. (In diesem Fall wären zwei Bedingungen exakt erfüllt: $\text{Auftrieb} = \text{Fliehkraft}$, $\text{Widerstand} = \text{Gewicht}$). Die tatsächlich erzielten und gemessenen G-Werte liegen weit darunter, weil der Auftrieb selbst in einer extremen Spirale nie ganz waagrecht sein kann und

immer noch einen Anteil hat, der nach oben zeigt und demnach die Fallbewegung bremst, und auch hier die erhöhten Widerstände von Pilot und Leinen eine wesentliche Rolle spielen. Aber die Tendenz, daß mit der Leistung des Schirms auch die Belastung in der Steilschirmspirale zunimmt, ist eine unverrückbare Tatsache.

Wer schon das Vergnügen hatte, einen Fallschirmsprung zu erleben, weiß, daß in Steilschirmspiralen mit dem Fallschirm enorme Sinkwerte erreicht werden, die Belastung aber erheblich niedriger ist als bei einer Gleitschirmspirale. Dies entspricht genau den hier gewonnenen Erkenntnissen. Fallschirme haben eine viel größere Flächenbelastung und daher auch höhere Grundgeschwindigkeit, aber sie gleiten nicht einmal halb so gut.

Spirale mit angelegten Ohren

Das Spiralen mit angelegten Ohren ist sehr effektiv, was die Sinkwerte betrifft. Manche recht vertrauenswürdige Piloten berichten Meßwerte von - 30 m/s, und das bei einigermaßen erträglicher Belastung für den Piloten. Warum das so ist, liegt auf der Hand. Erstens wird die Flächenbelastung erhöht, im Extremfall etwa verdoppelt. Das bringt generell eine höhere Geschwindigkeit. Und zweitens wird durch die verminderte Streckung die Leistung gedrosselt. Eine schlechtere Gleitzahl bedeutet ja eine geringere maximal mögliche G-Belastung. Problematisch ist bei diesem Manöver in erster Linie, daß die gefühlte Belastung für den Piloten ähnlich hoch ist wie in einer

Mathematisches zum Kurvenflug

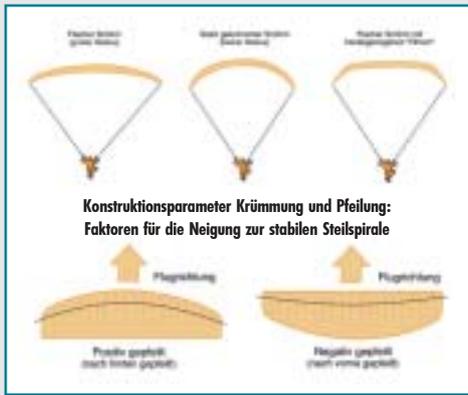
Die maximal erreichbare Sinkgeschwindigkeit und die maximale G-Belastung in der Spirale sind über zwei recht einfache Formeln zu berechnen: Weitere Formeln und Berechnungsbeispiele zur Steilschirmspirale haben wir als weiterführende Infos

$$v_2 = v_1 \cdot \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

$$v_2 = 10 \cdot \sqrt{\frac{70}{100}} = 8,366 \text{ m/s}$$

exklusiv für GLEITSCHIRM-Leser auf unserer Website bereitgestellt. Das PDF-Dokument ist ausschließlich über die direkte Eingabe dieses Links in Ihrem Browser verfügbar:

www.gs-mag.com/leser/spirale



gewöhnlichen Steilspirale, aber die Belastung der Leinen und der offenen Kappe sehr viel größer ist. Denn bei angelegten Ohren müssen weniger Leinen die gesamte Belastung aufnehmen. Daher sollten sich nur Piloten an dieses Manöver wagen, die mit einem akrotauglichen Gerät unterwegs sind.

Stabile Steilspirale

Bei den meisten Schirmen reicht es aus, die Steuerleine zu lösen, um eine gewöhnliche Steilspirale (Sinken unter 15 m/s) zu beenden. Manche Schirme weisen die gefährliche Tendenz auf, in der Spirale zu bleiben oder sich noch steiler hineinzufressen. In erster Linie beeinflusst die Kombination aus Flügelprofil, Flächenkrümmung und Pfeilung dieses Verhalten. Unseren Beobachtungen zufolge neigen insbesondere stark positiv gepfeilte Schirme, deren Fläche zudem über die ganze Spannweite gleichmäßig stark gekrümmt ist, am ehesten zur stabilen Spirale. Schirme mit stark heruntergezogenen Ohren, wie es bei zahlreichen Schulschirmen zu beobachten ist, gehören dagegen nicht in die Gruppe

der Kappen mit „gleichmäßig stark gekrümmter“ Fläche.

Zudem hat das Flügelprofil einen sehr wesentlichen Einfluß auf das Verhalten in der Spirale. Der Druckpunkt eines Flügelprofils hängt im allgemeinen vom Anstellwinkel und von der Klappen- beziehungsweise Bremsstellung ab. Je stärker ein Profil gekrümmt oder angebremst ist, desto größer ist die Wanderbewegung des Druckpunktes bei verschiedenen Anstellwinkeln. Will man Berechnungen zur Steilspirale durchführen, muß man unbedingt die Verwindung des Flügels aufgrund der asymmetrischen Auftriebsverteilung und die Stellung der Bremsleinen berücksichtigen. Da praktisch jede Zelle mit anderer Geschwindigkeit, anderem Profil und anderem Anstellwinkel fliegt, ist eine genaue Analyse entsprechend aufwendig. Simple allgemeingültige Aussagen sind nicht möglich. Die meisten Konstrukteure wissen sehr wohl, ab wann eine gefährliche Neigung zur stabilen Steilspirale auftritt, geben solche Konstruktionsgeheimnisse aber nicht unbedingt an die Öffentlichkeit weiter.

Offenbar hat das Pilotenverhalten, neben dem Einsatz der Steuerleinen, also auch bewußte und unbewußte Gewichtsverlagerungen, einen ebenso großen Einfluß wie die technischen Parameter des Schirms selbst. Im Jahr 1999, bei einem Sicherheitstraining am Luganer See, schlug eine Pilotin mit einem sehr gutmütigen Schirm nach einer stabilen Spirale hart ins Wasser. Nur die äußersten zwei Zellen hatten sich zuvor bei einem simulierten Klapper verhängt. Dieser Zwischenfall hätte vermutlich allein mit Gewichtsverlagerung vermieden werden können. Eine Steilspirale sollte immer aktiv ausgeleitet werden - sowohl mittels der Bremsleinen als auch durch Gewichtsverlagerung.

In aller Kürze

Wurde die Steilspirale anfangs eher nur zum Spaß geflogen, gilt sie heute als die mit Abstand wirksamste Abstiegsmethode. Es ist nicht besonders schwer, Sinkwerte bis 20 m/s zu erzielen. Die Belastungen für Pilot und Gleitschirm werden dabei



sehr hoch. Es muß im eigenen Interesse selbstverständlich sein, die Flugtauglichkeit der Ausrüstung regelmäßig zu prüfen. Beim Spiralen erreichbare Sinkgeschwindigkeiten und Belastungen wachsen mit der Leistung des Schirms. In Liegeposition lassen sich die enormen physischen Belastungen leichter ertragen. Gewichtsverlagern beeinflusst das Kurven- und Spiralenfliegen enorm. Daher sollte sich jeder Pilot durch ständige Selbstbeobachtung bewußt machen, wann und wie er sein Gewicht im Kurvenflug einsetzt. Anfängern sei empfohlen, sich an extremes Spiralen nur unter Anleitung von Fluglehrern heranzutasten. ☞

Konstruktionsmerkmale von Gleitschirmen

In diesem Beitrag wurde der Einfluß einiger grundsätzlicher Konstruktionsmerkmale von Gleitschirmkappen auf ihr Kurvenverhalten angesprochen. Eine Zusammenfassung aller Konstruktionsmerkmale von Gleitschirmen ist in den GLEITSCHIRM-Ausgaben 4/2001 und 5/2001 nachzulesen. Die Beiträge sind auch auf www.gleitschirm-magazin.com im Bereich Tests und Geräte unter dem Titel „Warum ist mein Gleitschirm krumm?“ zum kostenlosen Download im PDF-Format erhältlich.



Foto: Thomas Ulrich