



Bild: Felix Wölk - Pilot: Johannes Baumgarten

## 6. Aerodynamik bei Manövern

...

### 6.7 Aufzieh- und Startvorgang

#### Situationsbeschreibung

Es mag erstaunlich sein, dass der Aufziehvorgang und der Start eines Gleitschirms hier im Kapitel der Manöver beschrieben wird. Aber ohne einen geglückten Start gibt es eben auch keinen Flug. Ein guter Start ist eine gute Voraussetzung für den Flug. Notwendig für den Start ist aber ein flugfähiges Luftfahrzeug oder Luftsportgerät. Am Startplatz angekommen, ist unser Sportgerät noch lange nicht direkt flugfähig. Es braucht eine gewisse Vorbereitung und eine sinnvolle Aufziehtechnik, um die Flugbereitschaft herzustellen.

Dabei ist der Gleitschirm das einzige Fluggerät, welches nach dem Auspacken auf dem Rücken liegend (!) aufgezogen wird. Erstaunlicherweise funktioniert das gerade mit modernen Gleitschirmen bei entsprechender Technik hervorragend. Ein Segelflugzeug oder gar ein Passagierflugzeug hätte deutliche mechanische Einschränkungen und der Wohlfühlfaktor von Piloten und Passagieren würde sich wahrscheinlich in Grenzen halten.

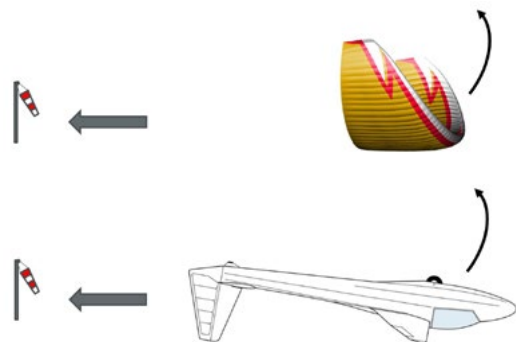


Abb. 6.52: Ausgangsposition beim Aufziehvorgang

Gut, dass der Gleitschirmpilot beim Startvorgang außerhalb des Fluggerätes ist. Der Gleitschirm und der Pilot sind noch kein gemeinsam flugfähiges Gesamtsystem. Zu diesem wird die Kombination aus Mensch und Stoff erst, sobald der Schirm sich vom Boden erhebt. Der Pilot steht also nun nach vorne dem Wind zugewandt, der Schirm liegt dahinter, und ist über die Gurtzeug-Karabiner mit dem Tragegurt und damit den Leinen des Gleitschirms verbunden.

Ein Impuls an den A-Leinen reicht dann in der Regel aus, dass der Schirm zu steigen beginnt. Mit angepasstem Kraft – und Geschwindigkeitsaufwand setzt der Schirm den Steigvorgang fort. Im Idealfall steht er nach ein paar ganz wenigen Sekunden im Zenit wohlgeordnet und ausgerichtet über uns. Die Kombination ist nun flugfertig.

Während der Pilot sich dann gemeinsam gleichmäßig immer schneller werdend den Hang hinunterbewegt, hebt der Schirm bei ausreichender Geschwindigkeit von selber ab.

Soweit der Idealfall. In der Praxis kommt es aber auch zu Situationen, welche mehr diesen Beschreibungen ähneln:

Mit viel Impuls wird in die Leinen reingerannt, der Schirm steigt in sehr dynamischer Form nach oben, im Zenit hat er eine hohe Fahrt – die leider der Pilot trotz Dynamik noch nicht hat. Beim sehr selten erfolgenden und wenn dann nur angedeuteten Versuch eines Kontrollblicks und dem gleichzeitigen Berg-runtergestolper will der Flügel schon überholen. Gelegentlich gelingt der Startvorgang trotzdem, falls es nicht schon zum Frontklapper gekommen ist.

Andere Variante: Der Schirm bleibt hängen – egal wie schnell der Pilot versucht, seinem Schirm davonzurennen. Zusätzlich kommt der Schirm schief, der Schirm will sich nicht befüllen, und steigen schon gar nicht. Dabei werden doch die A-Gurte schon so kräftig wie möglich gedrückt. Falls es dann doch noch irgendwie gelingt, den Lappen über sich zu bekommen, ist die Renngeschwindigkeit schon so hoch, dass ein Abbruch des Startvorgangs kaum möglich ist. Elegant und damit sicher fühlt sich anders an.

### Hintergrund

Um uns dem idealen Aufzieh- und Startvorgang zu nähern, ist es hilfreich zu verstehen, warum der Schirm überhaupt vom Rücken liegend steigt und welche Kräfte und physikalischen Zusammenhänge dabei unterstützend wirken.

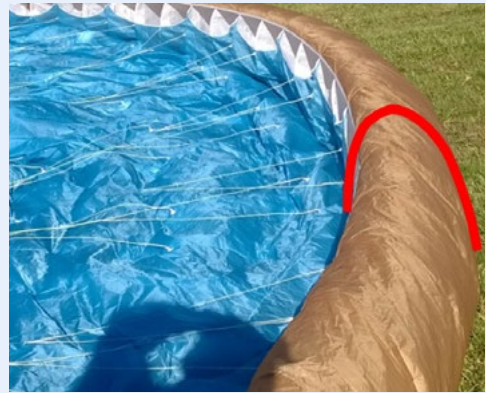
In dieser Betrachtung teilen wir den Startvorgang in einige einzelne Abschnitte:

#### Der Schirm liegt ausgebreitet auf dem Rücken:

Wenn wir uns den ausgelegten Schirm anschauen, erkennen wir bei den modernen Gleitschirmen eine richtig ausgeprägte Vorformung der Eintrittskante. Diese bodennahe leicht aufgerichtete Vorderkante ist für die darüber fließende Luft ein Hindernis.

Die Chance für die Luftströmung nach oben auszuweichen ist aufgrund der darüberliegenden Luftmassen erschwert. Daher gibt es nur die Möglichkeit, sich

hier mit höherer Geschwindigkeit den Weg zu bahnen. Hohe Geschwindigkeit verursacht nun den Unterdruck (Bernoullisches Gesetz), welcher die ausliegende Gleitschirmkappe anhebt. Nun ist das ein kleiner Auftrieb, aber dieser ist auf ca. 12 m Spannweite der ausliegenden Tragfläche wirksam. Im Grunde liegt da ein recht großes Modellflugzeug auf dem Boden, welches noch dazu ausgesprochen leicht ist: Von dem Gesamtgewicht des Schirms (ca. 5 kg) muss ja nur der vordere Teil angehoben werden.

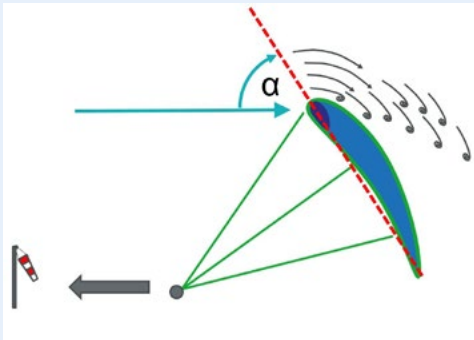


**Abb. 6.53:** Ausgelegter Gleitschirm am Boden, vorderer Nasenbereich als gewölbte Fläche in der Anströmung

Daher reicht auch der deutliche Impuls beim Beginn des Aufziehvorgangs. Durch diesen Impuls wird die große gewölbte Fläche gegen die Windrichtung bewegt, dadurch kann der benötigte „Erstauftrieb“ erzeugt werden und der Schirm steigt. Dabei zieht die Gleitschirm-Nase den restlichen Schirm hinter sich her. Damit vergrößert sich sukzessive die Auftriebsfläche, und damit die Tragfähigkeit des gerade steigenden Schirmes.

### Der Schirm ist im Steigvorgang:

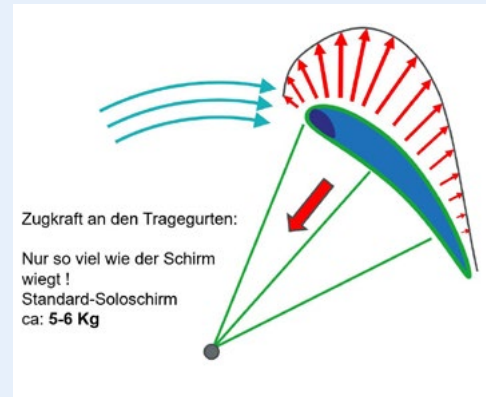
Die erste Hürde ist überwunden, jetzt muss der Steigvorgang aufrechterhalten werden. Kontraproduktiv wäre es nun, mit gleichbleibender oder gar erhöhter Geschwindigkeit dem Schirm davonzulaufen. Wenn das dennoch erfolgt, zerren wir den Schirm mit einem aktuell hohen Anstellwinkel gegenüber dem Horizont in den Strömungsabriss!



**Abb. 6.54:** Unerwünschter Strömungsabriss beim schnellen „Davonlaufen“ (Dicker Pfeil) in der Steigphase

Sinnvoll wäre es, auf den Schirm zu warten. Das wie und wie lange und mit welcher Kraft ergibt sich aus der Betrachtung der Anströmung und der benötigten Auftriebskraft. Der Schirm benötigt nur so viel Auftriebskraft, wie er wiegt. Konkret sind das bei einem normalen Schirm gerade mal ca. 5 kg (oder eher weniger bei einem Leichtschirm). In der Anfangsphase des Steigens, wenn der Schirm nicht mehr mit der Hinterkante den Boden berührt, müssen wir dem Schirm helfen, dieses Minimum an gerade notwendiger Auftriebskraft zu erzeugen. Wenn wir die Beschleunigung des Schirms aus dem

Anfangsimpuls nutzen wollen, müssen wir nur genau diese 5 kg Auftriebskraft an den Tragegurten aufrechterhalten.

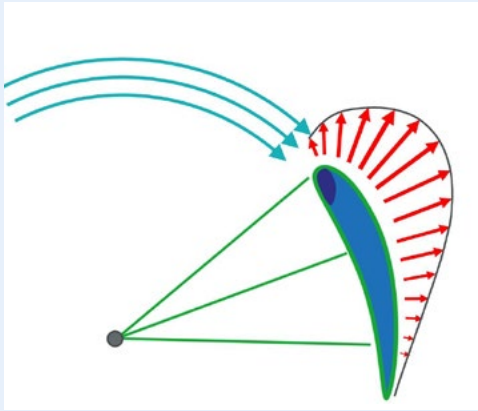


**Abb. 6.55:** Benötigter minimaler Kraftaufwand beim Hochführen des Gleitschirms – „Warte auf den Schirm“

Weniger führt zum Hängenbleiben des Schirms, mehr führt zum Überschießen oder gar zu dem beschriebenen Strömungsabriss.

Je höher der Schirm in den Zenit über uns kommt, desto mehr können wir sogar diese Kraft reduzieren! Die Schwerkraft hilft uns dabei und wird zu unserem Verbündeten. Die Reduktion unserer eigenen Bemühungen entspricht dabei genau der Zunahme der auf den Schirm vertikal wirkenden Erdanziehungskraft.

Mit dem Schirm genau über uns reicht es aus, wenn der Tragegurt gerade etwas Zugkraft auf uns ausübt. Dieses gefühlvolle Herausnehmen unserer Vorwärtsbewegung und damit der Verringerung der Zugkraft lässt den Schirm gleichförmig in einem Kreisbogen nach oben steigen.



**Abb. 6.56:** Kreisbahn mit Kreisförmiger Anströmung des Gleitschirm

Dabei wird die Gefahr des Strömungsabrisses in der Steigphase vermieden. Je näher wir an der minimal notwendigen Geschwindigkeit zum Selbsttragen des Schirmes agieren, umso weniger Abfangimpuls wird im Zenit notwendig. Damit wird dann auch das impulsive Vorschießen des Schirmes verhindert.

Wenn der Schirm so beim Steigvorgang unterstützt wird, dass die Anströmgeschwindigkeit genau diesem minimalen notwendigen Auftriebsanteil für das Schirm-Eigengewicht entspricht, sind alle Voraussetzungen für eine erfolgreiche Schirmkontrolle (beim Vorwärtsstart) und für den ruhigen eigentlichen Startablauf gegeben.

Übrigens – eine Überlegung rückwärts: Wenn wir wissen, welche Minimalgeschwindigkeit unser Schirm benötigt, um sich selbst zu tragen, dann können wir auch abschätzen mit welchem Krafteinsatz wir dem Schirm dabei helfen müssen.

Also, welche Minimalgeschwindigkeit benötigt unser Schirm, wenn er mit sich alleine fliegen möchte?

5 km/h sind eine gute Abschätzung für einen modernen Solo-A-Schirm. (siehe hierzu auch Kapitel 1.8 zum Thema Auftriebsformel) Bei einem sehr leichten Single-Skin Schirm sind es gerade mal 2-3 km/h. Daher starten diese Schirme auch so besonders schnell. 5 km/h bei Null-Wind von vorne entsprechen ca. 1,4 Meter pro Sekunde. Das ist noch nicht mal die Geschwindigkeit eines langsamen Joggers. Mit ein bisschen Gegenwind wird es noch gemütlicher. Diese Zeit und damit verbundene Ruhe zu nutzen, sollte unser Ziel beim Aufziehvorgang sein.

### Physikalische Vertiefung

In der physikalischen Betrachtung haben wir es beim Aufziehvorgang mit sehr unterschiedlichen Kräfteverteilungen und den direkt damit zusammenhängenden Geschwindigkeiten gegenüber der Luftmasse zu tun.

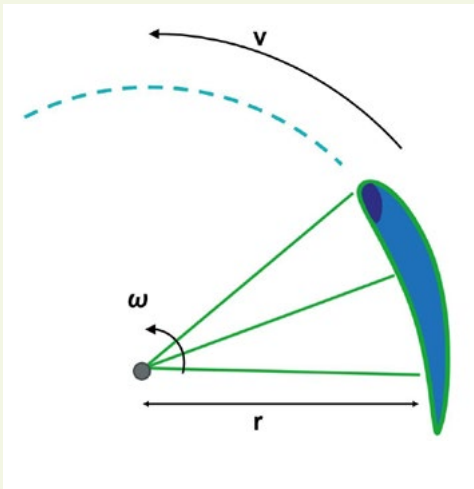
Die „gefesselte“ Kreisbewegung des Schirms in der Aufziehphase ist eine Besonderheit: Hier ist nicht die Vorwärtsgeschwindigkeit gegenüber dem Boden, bzw. der Luftmasse in horizontaler Richtung zu betrachten: Für die erzeugten Auftriebskräfte ist die Geschwindigkeit in der Kreisbahn des sich aufstellenden Schirmes und damit die Winkelgeschwindigkeit entscheidend.



Zusätzlich muss betrachtet werden, dass mit zunehmendem Aufstellen des Schirms, die Schwerkraft anfänglich (kurz nach dem Impuls) einen Teil und am Zenit vollständig den minimalen Zug ersetzt. Der nötige Kraftaufwand dazwischen reduziert sich im gleichen Zuge.

Der erste Startimpuls hingegen benötigt die Sicht aus der Strömungslehre: Damit der Schirm überhaupt eine Tendenz entwickelt, sich aus der Ruhe heraus nach „oben“ zu bewegen, benötigt er im Wesentlichen die Umtrömung über die aufgestellte Eintrittskante.

Ist der Schirm in seinem Profil und damit seiner inneren Struktur/Profiltreue schon ausgebildet, reicht uns hier erstmal die Betrachtung der Umlaufgeschwindigkeit, bzw. der Winkelgeschwindigkeit (siehe hierzu auch Abb. 6.57).



**Abb. 6.57:** Herleitung zur Umlaufgeschwindigkeit

Hier benötigen wir 2 kinematische Zusammenhänge

**Winkelgeschwindigkeit:**

$$\omega = 2 \cdot \pi / T$$

**Bahn- (oder Umlauf-)Geschwindigkeit:**

$$v = 2 \cdot \pi \cdot r / T$$

Wenn wir davon ausgehen, dass wir über den gesamten Viertelkreis des Aufziehvorgangs eine konstante Geschwindigkeit von 5 km/h (~ 1,4 m/s) für den Minimalauftrieb des Gleitschirmes benötigen, sowie der Radius  $r$  des Kreisbogens die maximale Länge einer Leinenebene des Schirmes beträgt (ca. 8 m, siehe Abb. 6.57), ergibt sich für einen gleichmäßigen Aufziehvorgang die benötigte Zeit durch Umstellung der Bahngeschwindigkeitsformel:

$$T = \frac{1}{4} \cdot (2 \cdot \pi \cdot r) / v$$

Mit  $\pi = 3,14$  benötigt der Aufziehvorgang,  $r = 8 \text{ m}$ ,  $v = 1,4 \text{ m/s}$

Daraus ergibt sich [...]

Über den Autor:



*Paul Seren ist Papillon-Fluglehrer, Dipl.Ing. der Luft- und Raumfahrttechnik, begeisterter Flugsportler, Tandempilot und Mitglied im DHV-Lehrteam.*