

Physik des Gleitschirmfliegens



Name: Sven Wessel
Fach: Physik
Datum: 28.02.2005

Vorwort

„ Ich lief langsam gegen den Wind, und plötzlich fühlte ich die hebende Kraft. Im nächsten Augenblick verlor ich den Boden unter den Füßen und glitt durch die Luft sanft bergab...Das Gefühl beim Fliegen ist höchst beglückend und ganz unbeschreiblich!“ (Irvin Wood, einer der ersten Flugschüler Otto Lilienthals nach seinem ersten Gleitflug im Jahr 1896)

Der Gleitschirm kommt mit minimalen technischen Aufwand dem uralten Menschheitstraum von den eigenen Flügeln nahe wie kein anderes Fluggerät. Da mich das Gleitschirmfliegen schon seit längerem fasziniert hat, habe ich damit im Jahr 2003 begonnen. Im Rahmen meiner Ausbildung zur Erlangung des Flugscheins zum Fliegen von Gleitschirmen wurden bereits einige physikalische Grundlagen erläutert, allerdings nur in einem beschränkten Rahmen. Da mich neben dem reinen Fliegen auch die damit zusammenhängenden physikalischen und aerodynamischen Vorgänge interessieren, habe ich das Thema „Physik des Gleitschirmfliegens“ gewählt.



Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Aufbau des Gleitschirms	4
3.	Physikalische und aerodynamische Grundlagen	5
3.1	Unsere Atmosphäre	5
3.2	Bernoulli Prinzip	6
3.3	Vortrieb und Auftrieb	6
3.4	Luftwiderstand	7
3.4.1	Druckwiderstand	7
3.4.2	Reibungswiderstand	8
3.4.3	Induzierter Widerstand	9
3.5	Flügel / Profil	10
4.	Flugmechanik am Gleitschirm	11
4.1	Aerodynamik am Gleitschirm	11
4.2	Kräfte am Gleitschirm	11
4.3	Normalflug	12
4.3.1	Start und Landung	12
4.3.2	Gleitflug	13
4.3.3	Kurvenflug	13
4.4	Extreme Flugzustände	15
4.4.1	Steilspirale	15
4.4.2	Fullstall	15
5.	Literaturverzeichnis	17
6.	Anhang 1: Erklärung	19

1. Einleitung

Beginnend in den 60er Jahren durch den amerikanischen NASA Wissenschaftler Francis Rogallo, der durch seine Arbeiten die Grundlagen zu lenkbaren Fallschirmen und Drachen schuf, hat sich seit Ende der 70er Jahre aus lenkbaren Fallschirmen der Gleitschirm in seiner heutigen Form als Luftsportgerät entwickelt [1]. Stundenlanges Fliegen im Hangaufwind oder Streckenflüge über mehr als 200 km Länge sind Realität.

Inhalt dieser Facharbeit ist eine Vermittlung der physikalischen Vorgänge beim Gleitschirmfliegen. Zunächst wird der prinzipielle Aufbau eines Gleitschirms dargestellt. Kapitel 3 gibt eine Übersicht über die für das Verständnis der physikalischen / aerodynamischen Vorgänge am Gleitschirm notwendigen physikalischen Grundlagen. Die Aerodynamik und die Kräfte am Gleitschirm werden in Kapitel 4 betrachtet. Neben normalen Flugzuständen in Kapitel 4.3 werden ausgesuchte extreme Flugzustände in Kapitel 4.4 beschrieben. Aus Gründen räumlicher Beschränkung ist es leider nicht möglich alle beim Gleitschirmfliegen vorkommenden Flugzustände zu beschreiben.

2. Aufbau des Gleitschirms

Die Komponenten des Gleitschirms sind in Abb. 2 dargestellt. Die Kappe (ca. 22-32 m² Fläche) besteht aus Ober- und Untersegel (hochfestes, luftundurchlässiges Nylongewebe), die durch Zellwände in Profilform miteinander verbunden sind. Durch Öffnungen in der Anströmkante (siehe Abb. 1) strömt Luft in den Flügel ein und bläht ihn auf (Staudruck). Der Pilot in seinem Gurtzeug ist über ca. 700 m Kevlar- und Co-Aramid-Leinen mit dem Schirm



Abb. 1 Eintrittskante [2]

verbunden. Über an der Flügelhinterkante befestigte Bremsleinen kann der Pilot den Schirm durch Verformung der Flügelhinterkanten steuern. Die gesamte Ausrüstung einschließlich Rettungsfallschirm wiegt ca. 15 – 20 kg [3], [4], [5].

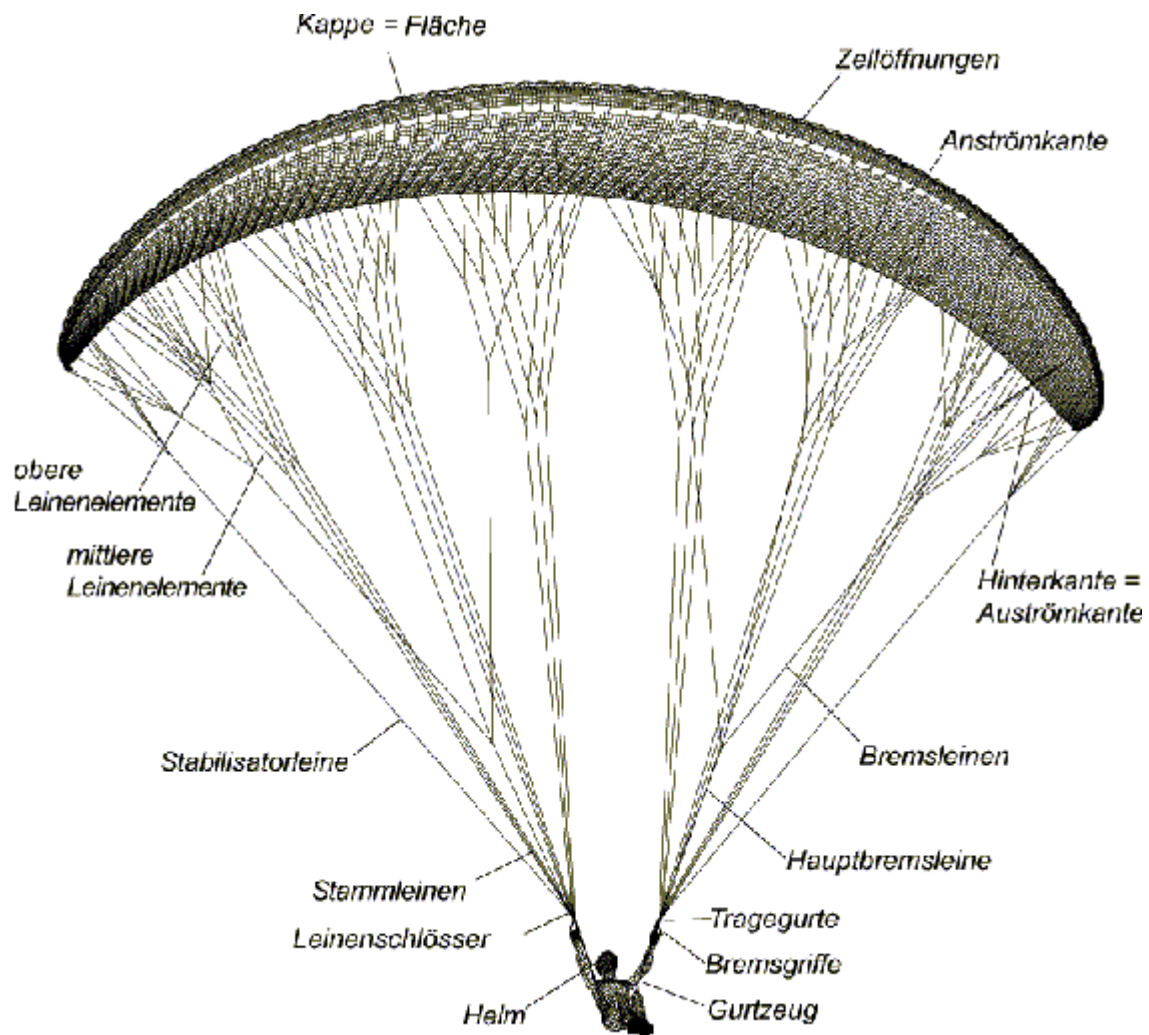


Abb. 2 Aufbau des Gleitschirms [6]

3. Physikalische und aerodynamische Grundlagen

Bevor die einzelnen teils komplexeren physikalischen Vorgänge am Gleitschirm erläutert werden, sind in diesem Kapitel einige dafür notwendige physikalische und aerodynamische Grundlagen erläutert.

3.1 Unsere Atmosphäre

Unsere Luft/Atmosphäre besteht in der Troposphäre aus ca. 78% Stickstoff, 21% Sauerstoff und 1% Edelgasen und Kohlenstoffdioxid sowie bis zu 3% Wasser. Der normale Luftdruck (Luftdruck auf Höhe des Meeresspiegels) beträgt etwa 10^5 Pa bzw. 1 bar [7].

3.2 Bernoulli Prinzip

Nach dem Bernoulli Prinzip ist die Summe aus statischem Druck (Druck im ruhenden Gas) und dem Produkt aus Dichte und Geschwindigkeit des strömenden Gases konstant. In der Umgebung eines angeströmten Körpers entstehen bei Geschwindigkeitsveränderungen Veränderungen der Druckverhältnisse (Beschleunigung führt zu Druckabfall, Verzögerung zu Druckanstieg) [3].

3.3 Vortrieb und Auftrieb

Bei antriebslosen Fluggeräten entsteht durch Umsetzung von potentieller Energie in kinetische Energie Vortrieb und daraus resultierend durch Anströmung des Flügelprofils einer Tragfläche Auftrieb. Da bei jeder Änderung der Strömungsrichtung eine Änderung des Drucks quer zur Strömungsrichtung stattfindet, entsteht an der Oberseite der Tragfläche durch die größere Geschwindigkeit der Luftmoleküle ein Unterdruck (Bernoulli Prinzip) und an der Unterseite durch die geringere Geschwindigkeit der Luftmoleküle ein Überdruck. Über- und Unterdruck erzeugen den Auftrieb. Im Langsamflug werden dabei ein Drittel des Auftriebs durch den Unterdruck und zwei Drittel des Auftriebs durch den Überdruck erzeugt (siehe Abb. 3).

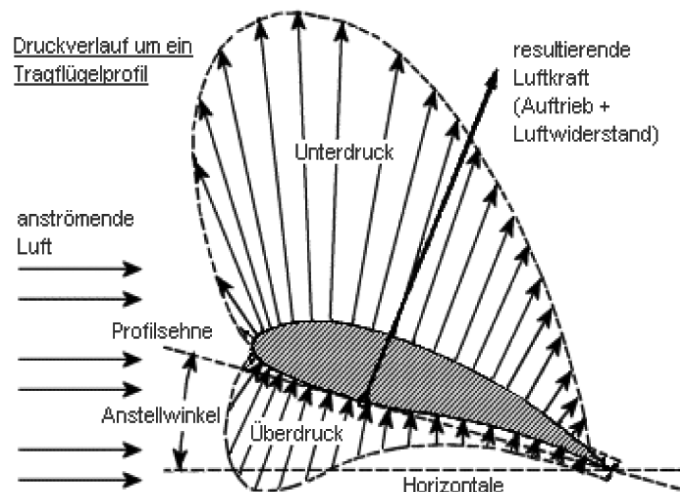


Abb. 3 Druckverlauf um ein Tragflügelprofil [8]

Im Normalfall wächst der Auftrieb mit steigendem Anstellwinkel. Ab einem gewissen kritischen Anstellwinkel folgt die Strömung nicht mehr dem Profil und es kommt zum Strömungsabriss, der Auftrieb wird auf Null reduziert [3], [4].

Der Auftrieb (Auftriebskraft) am Flügel lässt sich mit folgender Formel vereinfacht beschreiben:

$$F_A = c_A \cdot \zeta / 2 \cdot v^2 \cdot A_{TP}$$

- F_A = Auftriebskraft in N
- c_A = Auftriebsbeiwert, ist abhängig von der Form und dem Anstellwinkel eines Flügels und muss experimentell ermittelt werden
- ζ = Luftdichte in kg/m^3
- v = Geschwindigkeit in m/s
- A_{TP} = projizierte Fläche des Flügels in m^2 (Schatten des Flügels bei senkrecht darüber stehender Lichtquelle) [4], [8]

3.4 Luftwiderstand

Bei der Bewegung eines Körpers in Luft entsteht ein Widerstand (Luftwiderstand), der sich zwar durch geeignete Maßnahmen reduzieren, aber nicht komplett vermeiden lässt. Man unterscheidet den Druckwiderstand, den Reibungswiderstand und den induzierten Widerstand.

3.4.1 Druckwiderstand

Der Druckwiderstand entsteht vor allem durch Wirbelbildung an kantigen Gegenständen. Bei deren Anströmung löst sich der Luftstrom meistens an der Stelle des größten Querschnitts bzw. einer Kante des Körpers ab und es bilden sich drehende Luftverwirbelungen (siehe Abb. 4). Durch diese Wirbel entstehen Unterdruckgebiete, die den Körper durch teilweises Aufzehren der Kinetischen Energie abbremsen.



Abb. 4 Wirbelbildung an umströmtem Körper nach [3]

Bewegt sich der Körper bzw. der Luftstrom schneller, rotieren die Wirbel mit steigender Geschwindigkeit, wobei der Luftwiderstand quadratisch zur Drehgeschwindigkeit der Luftwirbel steigt. Der Druckwiderstand ist stark formabhängig, daher wird er auch oft als Formwiderstand bezeichnet. Körper mit Tropfen- bzw. näherungsweise Tropfenform weisen die geringsten Druckwiderstände auf [3], [4].

3.4.2 Reibungswiderstand

Der Reibungswiderstand hingegen wirkt auch auf aerodynamisch perfekt geformte Körper. Er stellt bei modernen Flugzeugen, welche aufgrund ihrer Form einen sehr geringen Druckwiderstand haben, bei hohen Geschwindigkeiten den Hauptwiderstand dar. Reibungswiderstand entsteht dadurch, dass Luftmoleküle an der Oberfläche des Körpers haften bleiben, wodurch sich eine sog. Grenzschicht bildet. In dieser Grenzschicht sinkt die Geschwindigkeit der Luft bis auf 0 ab. Durch die Reibungskräfte der Luftmoleküle bleiben immer mehr Moleküle an der Grenzschicht „hängen“, so dass diese mit zunehmendem Abstand von der Eintrittskante immer dicker wird. Wie in Abb. 5 dargestellt kann diese Grenzschicht 3 Stadien durchlaufen.

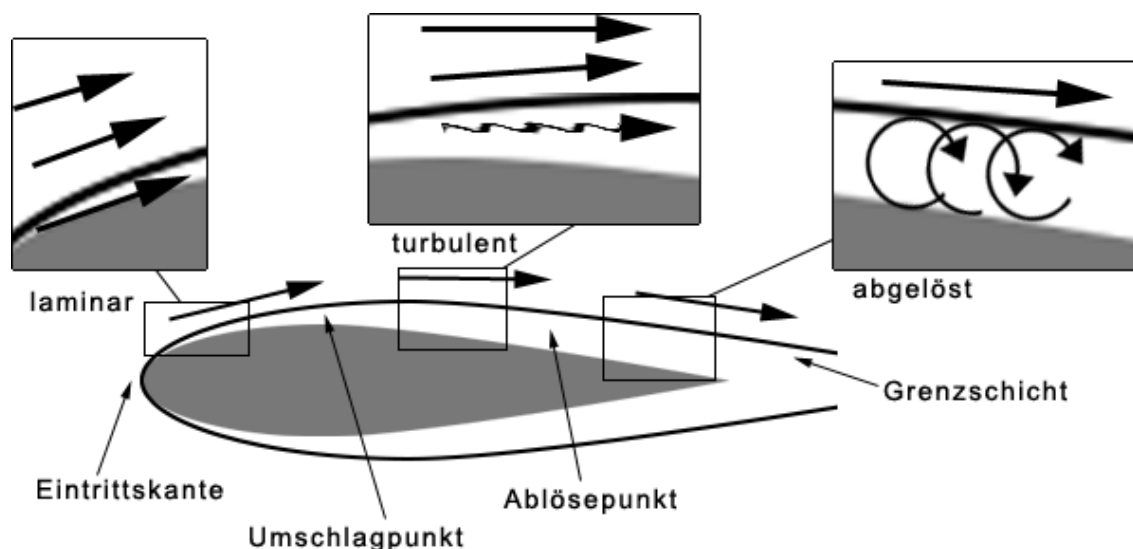


Abb. 5 Grenzschichtbildung an umströmtem Körper nach [3]

Die kurz nach der Eintrittskante vorzufindende laminare Grenzschicht besitzt den geringsten Reibungswiderstand und weist keine Querbewegungen auf. Sie ist nur bei einer sehr glatten Oberfläche möglich und ist deshalb bei einem Gleitschirm aufgrund seiner rauen Oberfläche und seines unebenen Profils

kaum anzutreffen. Bei kleinsten Unebenheiten schlägt die laminare in die turbulente Grenzschicht um, die, aufgrund kleiner Querbewegungen der Luftteilchen, einen deutlich höheren Reibungswiderstand aufweist. Die im hinteren Bereich des Körpers abgelöste Strömung erzeugt durch Wirbelbildung und dadurch entstehenden Druckwiderstand den größten Anteil an dem durch die Grenzschicht entstehenden Luftwiderstand. Mit steigender Geschwindigkeit verlagern sich Umschlag- und Ablösepunkt in Richtung Eintrittskante mit der Folge, dass der Reibungswiderstand wächst [3] [4].

3.4.3 Induzierter Widerstand

Der induzierte Widerstand entsteht durch Luftwirbel, deren Rotationsachsen parallel zur Strömungsrichtung liegen. Diese Wirbel werden durch Ablenkung des Luftstroms am Flügel erzeugt. Der größte induzierte Widerstand entsteht an den Flügelenden. Die durch den Auftrieb (siehe 3.3) des Flügels nach unten abgelenkte Luft trifft auf vorbeiströmende Luft, wodurch zwei nach innen rotierende Walzen (Randwirbel) entstehen. Der induzierte Widerstand nimmt im Gegensatz zu den beiden anderen Widerstandsarten zu, wenn die Geschwindigkeit abnimmt. Das liegt daran, dass die Luftmoleküle unter dem Flügel bei einer geringeren Geschwindigkeit für eine längere Zeit nach unten beschleunigt werden. Gerade bei langsamen Fluggeräten versucht man Randwirbel durch eine größere Streckung des Flügels zu verringern. Beim Gleitschirm – einem sehr langsamen Fluggerät – kann der induzierte Widerstand durch Randwirbel bis zu 45% des Gesamtwiderstands ausmachen. Durch die größere Flügelstreckung wird der Auftrieb auf eine breitere Luftfläche verteilt, wodurch die Luft weniger stark nach unten abgelenkt wird. [3] [4]



Abb. 6 Randwirbel durch induzierten Widerstand [9]

Der Gesamtwiderstand (Widerstandskraft) lässt sich mit folgender Formel vereinfacht beschreiben:

$$F_W = c_w \cdot \zeta / 2 \cdot v^2 \cdot A_T$$

F_W = Widerstandskraft in N

c_w	=	Widerstandsbeiwert, beinhaltet die drei Widerstandsarten unter Normalbedingungen und ist abhängig von der Form eines Gegenstandes, muss experimentell ermittelt werden
ζ	=	Luftdichte in kg/m^3
v	=	Geschwindigkeit in m/s
A_T	=	Tragfläche in m^2 (Produkt aus Spannweite und Tiefe des Flügels)

Im unteren Geschwindigkeitsbereich verliert diese Formel allerdings ihre Gültigkeit, da hier der Gesamtwiderstand durch den stark ansteigenden induzierten Widerstand wieder steigt [4], [8].

3.5 Flügel / Profil

Die Form des Profils / Flügels ist für die Flugeigenschaften entscheidend. Dünne Profile haben einen sehr geringen c_w -Wert (erzeugen einen geringen Luftwiderstand), jedoch verkräften sie nur geringe Anstellwinkel bis es zu einem Strömungsabriss kommt. Die Wölbung der Skelettlinie erhöht den c_A -Wert (erzeugt eine höhere Auftriebskraft) bei positiven Anstellwinkeln gegenüber der Anstellrichtung, bei negativen verringert sie ihn [3].

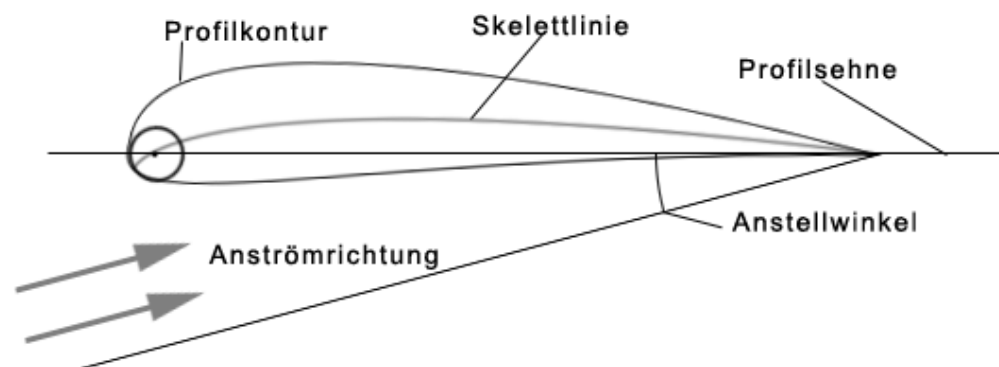


Abb. 7 Profilparameter nach [3]

Eine hohe Flügelstreckung bringt Vorteile beim Luftwiderstand (siehe 3.4). Ein stark gestreckter Flügel bringt den Nachteil mit sich, dass die Luftkräfte aufgrund größerer Hebelarme (größere Spannweite) stärker ausgesetzt ist [1]. Bei Gleitschirmen sind die Schirmvorderkanten an den Enden nach hinten gebogen (elliptische Form), um eine bessere Stabilität zu erreichen. Diese Konstruktion bringt aber den Nachteil mit sich, dass der vorgeschobene Flügelteil bereits Wirbel ähnlich den Randwirbeln induziert, wodurch sich hintere Flügelteile in diesem künstlichen Aufwind befinden [3].

4. Flugmechanik am Gleitschirm

4.1 Aerodynamik am Gleitschirm

Bei dem Gleitschirm (siehe Abb. 2) handelt es sich um einen Nurflügler, da er nur eine Tragfläche aber kein Höhen- und kein Seitenleitwerk besitzt. Die aerodynamischen Vor- und Nachteile, von denen ein Nurflügler konstruktionsbedingt betroffen ist, gelten auch für den Gleitschirm. Nurflügler sind beispielsweise sehr anfällig auf Schwerpunktverschiebungen, was beim Gleitschirm allerdings auch in positivem Sinn zur Steuerung ausgenutzt wird [3]. Ein aerodynamischer Nachteil beim Gleitschirm ist, dass sich durch die raue Oberfläche kaum eine laminare Grenzschicht ausbilden kann. Durch sofortigen Umschlag der laminaren in eine turbulente Grenzschicht wird der Reibungswiderstand beim Gleitschirm sehr groß [3]. Der Gleitschirm muss durch anströmende Luft aufgeblasen werden. Da das Flügelprofil ausreichend Stabilität besitzen muss, um unter der ggf. ungleichen Belastung der Leinen nicht in sich zusammenzufallen, wird ein wesentlich dickeres Profil gewählt als aerodynamisch sinnvoll [3].

4.2 Kräfte am Gleitschirm

Während des Fluges wirken verschiedene Kräfte auf den Gleitschirm. Zuerst einmal wirkt die Gewichtskraft in Höhe der Masse des Piloten und dessen Ausrüstung. Diese Gewichtskraft wirkt im normalen Geradeausflug entsprechend der Gravitation senkrecht zum Erdboden. Der Masseschwerpunkt liegt aufgrund der Gewichtsverteilung zwischen Schirm (ca. 6 - 10 kg) und Pilot mit Ausrüstung (60 bis >120 kg), etwas oberhalb des Piloten. Der Gewichtskraft entgegen wirkt die totale Luftkraft (F_T). Sie errechnet

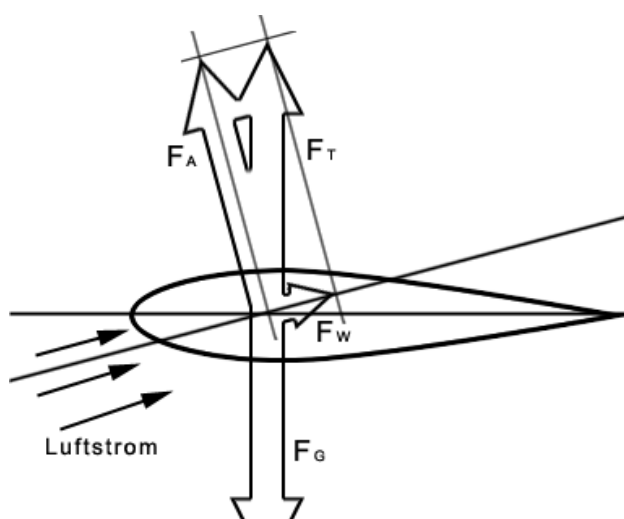


Abb. 8 Kräfte am Schirm nach [4]

sich aus der Summe der Vektoren der Auftriebskraft (F_A) und der Luftwiderstandskraft (F_W). Die Vektoren für Luftwiderstand und Auftrieb stehen senkrecht aufeinander. Auftriebskraft und Luftwiderstand sind von der Geschwindigkeit (v), d.h. der Relativgeschwindigkeit zwischen Luft und Schirm und dem Anstellwinkel (α) abhängig. Je höher der Anstellwinkel ist, desto mehr Geschwindigkeit wird in Auftrieb umgewandelt [4]. Die Auftriebskraft kann massiv unterstützt werden durch vom Boden aufsteigende Luft, ausgelöst durch Thermik oder Hangaufwinde. Der Angriffspunkt für alle Luftkräfte, die auf das Profil wirken, nennt sich Druckpunkt. Dieser befindet sich, einen neutralen Anstellwinkel vorausgesetzt, bei ca. 25% der Profiltiefe.

4.3 Normalflug

4.3.1 Start und Landung

Der Start stellt eine der anspruchsvollsten Handlungen beim Gleitschirmfliegen dar. Der am Boden liegende Schirm wird beim Anlaufen erst ein kurzes Stück hinter dem Piloten hergezogen und füllt so seine Kammern mit Luft (bei stärkerem Wind reicht ein leichtes Hochziehen der Eintrittsöffnungen und der Schirm füllt sich von alleine). Danach hat der Schirm ein tragfähiges Profil aufgebaut und steigt aufgrund seines extrem großen Anstellwinkels (hoher Auftrieb) relativ schnell hinter dem Piloten auf.



Abb. 9 Start eines Gleitschirms [10]

Wenn sich der Schirm über dem Piloten befindet, muss dieser den Schirm durch das Betätigen der Bremsleinen anbremsen d.h. den Anstellwinkel erhöhen, da der Schirm ansonsten aufgrund seiner kinetischen Energie über den Piloten hinwegfliegen würde. Durch das Anbremsen wird der Abhebevorgang zusätzlich unterstützt, da durch den höheren Anstellwinkel mehr kinetische Energie in Auftrieb umgesetzt wird [3].

Beim Landevorgang wird der Schirm ebenfalls abgebremst (Erhöhung des Anstellwinkels um kinetische Energie in Auftrieb umzusetzen), um die horizontale und die vertikale Geschwindigkeit zu reduzieren. Beim Aufsetzen wird dann der Schirm so stark abgebremst, das es zu einem Strömungsabriss kommt und der Schirm (im Optimalfall) hinter dem Piloten zusammenfällt [3].

4.3.2 Gleitflug

Beim gleichförmigen Gleitflug wird die Schwerkraft durch die Summe aller Luftkräfte aufgehoben. Der Gleitschirm wird also weder beschleunigt noch abgebremst, dadurch bewegt er sich aufgrund seiner Trägheit gleichförmig mit seiner Momentangeschwindigkeit vorwärts. Dieses System funktioniert allerdings nur, solange der Gleitschirm nicht abgebremst wird. Da dies aber ständig durch den eigenen Luftwiderstand geschieht, verliert der Gleitschirm an Geschwindigkeit, wodurch der Auftrieb abnimmt. Infolgedessen verliert der Gleitschirm Höhe, wodurch dem System wieder kinetische Energie zugeführt wird, die wiederum in Geschwindigkeit bzw. Auftrieb umgesetzt wird. Aufgrund dieses Vorgangs, bleibt die Geschwindigkeit im Endeffekt (von Wind- und Steuereinflüssen abgesehen) konstant [3].

Wenn man die im gleichförmigen Gleitflug zurückgelegte Strecke durch die auf dem Weg verlorene Höhe teilt, erhält man die Gleitzahl. Die unter windstillen Bedingungen gemessene Gleitzahl eines Gleitschirms wird neben Werten wie der Maximalgeschwindigkeit zur Leistungsangabe von Gleitschirmen benutzt und liegt heute bei modernen Schirmen bei ca. 8.

4.3.3 Kurvenflug

Es gibt zwei Möglichkeiten Kurven zu fliegen, durch asymmetrische Stellung der Bremsen und durch Gewichtsverlagerung. Beim stärkeren Bremsen einer Schirmseite, entsteht an der abgebremsten Seite ein Auftriebszuwachs durch Veränderung des Flügelprofils / Erhöhung des Anstellwinkels. Durch die asymmetrische Auftriebsverteilung zeigt der Vektor der Luftkraft nicht mehr gerade nach oben, sondern kippt leicht in Richtung der Kurve (siehe Abb. 11).



Abb. 10 gebremste Schirmseite [11]

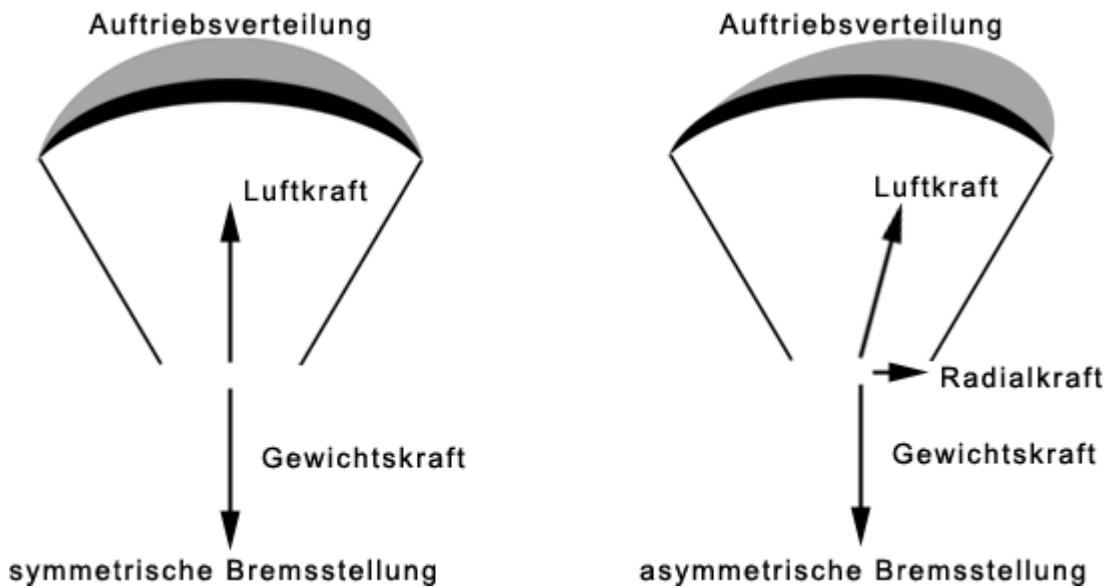


Abb. 11 Schiebekurve nach [3]

Subtrahiert man den Vektor der Gewichtskraft von dem Vektor der Luftkraft so erhält man die Radialkraft, die den Schirm in Richtung der Kurve zieht. Die Kurvenaußenseite der Kappe wandelt weniger kinetische Energie in Auftrieb um, wodurch sich diese schneller bewegt als die Kurveninnenseite. Es entsteht eine Drehbewegung. Das Ergebnis ist eine relativ langsame, schiebende Kurve mit sehr wenig Querneigung, eine sog. Schiebekurve [3].

Eine wesentlich bessere Kurvenlage erreicht man, durch Querneigung der Schirmkappe. Diese Querneigung wird durch Gewichtsverlagerung auf dem Sitzbrett zur Kurveninnenseite erzeugt. Dabei kippt das Sitzbrett und deformiert über die Leinen das Mittelsegment des Schirms. Der Luftkraftvektor dieses Segments zeigt dadurch in Kurvenrichtung und erzeugt ein Rollmoment, sodass die Schirmkappe und ihr kompletter Luftkraftvektor in Kurvenrichtung geneigt und eine Drehbewegung eingeleitet wird (siehe Abb. 12). Werden diese beiden Kurvenflugtechniken miteinander kombiniert, erreicht man die höchsten Kurvengeschwindigkeiten und das geringste Sinken beim Kurvenflug [3], [4].



Abb. 12 Steuerung durch Gewichtsverlagerung nach [3]

4.4 Extreme Flugzustände

4.4.1 Steilspirale

Die Steilspirale ist bei erfahrenen Piloten ein beliebtes Abstiegsmanöver (Flugmanöver um Höhe abzubauen). Die Steilspirale wird eingeleitet, indem eine Kurve durch Gewichtsverlagerung und asymmetrisches Anbremsen immer steiler (enger werdender Radius und wachsender Querneigung) geflogen wird.

Zentrifugalkraft und Geschwindigkeit steigen. Ab einer Querneigung von ca. 60° - 90° kippt die Schirmkappe aufgrund der großen Geschwindigkeit und der Massenträgheit des Piloten um die Querachse nach vorne. Der Kurvenradius der Schirmkappe wird nahezu Null, wobei der Pilot sich mit hoher Geschwindigkeit um die Schirmkappe dreht. Die Auftriebskraft des Schirms wirkt nun nicht mehr der Gewichtskraft sondern der durch die Rotation entstehenden



Abb. 13 Steilspirale [12]

Zentrifugalkraft entgegen (hier können Kräfte von bis zu 2 g entstehen). Der Gewichtskraft ist lediglich der Luftwiderstand des Schirms entgegengestellt. Dementsprechend hoch sind die Sinkgeschwindigkeiten, die der Schirm erreichen kann (bis zu 25m/s). Durch dosiertes Lösen der Bremse an der Kurveninnenseite, kann die Steilspirale wieder ausgeleitet werden [3].

4.4.2 Fullstall

Der Fullstall (totaler Strömungsabriss am Flügel) wird eingeleitet, wenn bei angezogenen Bremsleinen durch zu starkes Bremsen bis unter die minimale Anströmgeschwindigkeit (ca. 18 – 22 km/h) oder durch Turbulenzen ein Strömungsabriss entsteht. Der Schirm kann aufgrund des hohen Anstellwinkels nicht sofort wieder Fahrt aufnehmen und fällt in sich zusammen. In diesem



Abb. 14 Fullstall, Pendeln [13]

Zustand wirkt nur noch der Luftwiderstand am Schirm und der Pilot befindet sich im nahezu freien Fall. Aufgrund des Luftwiderstandes des Schirms und der kinetischen Energie des Piloten, pendelt der Schirm bis zu 90° hinter den Piloten.

Der Schirm wird nun von der Hinterkante angeströmt und beginnt einen steilen Rückwärtsflug mit großer Sinkgeschwindigkeit (6 – 8 m/s). Der Pilot fällt einige Meter nach unten und pendelt unter den Schirm, was dann zu einem Vorscheissen des Schirms über den Piloten hinweg vor ihn führt. Erst wenn der Schirm erneut zurück über den Piloten pendelt, dürfen die Bremsen zur Ausleitung wieder gelöst werden, da der Schirm ansonsten bis unter den Piloten vorpendeln kann, mit der Folge, dass der Pilot in die unter ihm zusammenfallende Kappe stürzt [3].



Abb. 15 Fullstall, Fall des Piloten in die Kappe [14]

5. Literaturverzeichnis

- [1] Jöst C.: Wie alles begann, DHV-info 132, 2004/2005
- [2] N.N.: <http://www.nova-wings.com/deutsch/produkte/tattoo.html?js=1>
- [3] Voigt, O.: Aerodynamik und Flugmechanik des Gleitschirms, 2. Aufl., 2003 Verlag Otto Voigt
- [4] Janssen, P.; Slezak, K.; Tänzler, K.: Gleitschirmfliegen, 12. Aufl., 2002 Verlag Nymphenburger
- [5] Karbstein, F.: Richtig Paragliding, 1996 Verlag BLV
- [6] Papesch, H.: <http://www.nova-wings.com/download/manual/mankrypton.pdf>
- [7] Dietrich, V.; Mederow, G.: Luft, Naturwissenschaften, 2002
- [8] Estermeier, A.: Strömung am Gleitschirm
www.av.fh-koeln.de/professoren/rueckert/scripten/stroemungamgleitschirm.pdf
- [9] N.N.: <http://www.skywalk.info/Content/35/?mnid=239>
- [10] Meyer, H.: Höhenschulung, Obermaiselstein, 2004, Videofilm

- [11] N.N.: <http://www.nova-wings.com/deutsch/produkte/primax.html?js=1>
- [12] N.N.: DHV, Lehrvideo aus [4]
- [13] N.N.: http://www.expandingknowledge.com/Jerome/PG/Tip/Image/BAD_FullStall_Maintained_VL_1998_10_p25.jp
- [14] N.N.: <http://www.macpara.com/padaky/images/full.jpg>

6. Anhang 1: Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Sven Wessel 28.02.2005