

Segelflugtheorie

30 Flugleistungen und Flugplanung

Autor: Claude Peny

Ausgabe 1.00

Claude Peny

- 22.08.88: Erster Segelflug im Birrfeld als Flugschüler
- 13.05.89: Erwerb Ausweises für Segelflieger in Montricher
- 16.07.89: 50 km Streckenflug und Silber-C (auf den ersten Anlauf hin!)
- 26.04.92: 300 km Streckenflug
- 31.08.92: Praktische Prüfung für Segelfluglehrer
- Mai 1993: Segelfluglehrerkurs in Montricher
- 20.05.93: Erster Schulungsflug als Segelfluglehrerasspirant, Flugschüler: Didier Kuttel
- 06.06.93: Erweiterung Motorsegler
- 20.05.94: definitiver Segelfluglehrerausweis
- 1994-1998: Weiterbildungskurse beim SFACT in Saint-Auban (F)
- 1994-2002: Organisation der Segelfluglager in Romorantin (F)
- Ende 2003: 1120 Flugstunden



Didier Kuttel

Geboren am 3. Januar 1971

Elektroniker mit HTL-Abschluss in Elektrotechnik. Heute: Software Ingenieur

- 27.03.1993: Erster Segelflug als Schüler (bereits im Besitz der Motorfluglizenz)
- 09.06.1993: Segelflugausweis
- 18.07.1993: Erweiterung Motorsegler
- 20.07.1994: 50 km für "Silber C" (nach mehreren erfolglosen Versuchen)
- 07.05.1995: 300 km Streckenflug
- 28.08.1997: praktische Prüfung für Segelfluglehrer
- Herbst 1998: Fluglehrerkurs in St-Auban (drei wöchiger Testkurs des BAZL)
- 17.10.1998: erste Schulflüge als Segelfluglehrer
- 23.10.1998: Erweiterung Wolkenflug
- 22.07.2000: definitiver Fluglehrerausweis
- 20.06.2003: 5000 m Überhöhung
- 21.06.2000: 500 km Streckenflug
- Ende 2003: 1500 Flugstunden



verheiratet, 2 Kinder

Was ich im Segelflug bevorzuge: Leistungs- und Langstreckenflüge
 Übrige Sportarten: Tauchen (im warmen Wasser) :-))

INHALTSVERZEICHNIS

Claude Peny.....	2
Didier Kuttel.....	2
INHALTSVERZEICHNIS	3
30.0.0 An dieser Arbeit waren beteiligt	7
30.1.1 Weshalb Beladung und Schwerpunkt berechnet werden müssen.....	9
Einführung	9
Weshalb Beladung und Schwerpunkt berechnet werden müssen	9
30.1.2 Die verschiedenen Arten der Zuladung	11
Begriffe (Masse, Gewicht)	11
Verschiedene Arten der Zuladung.....	11
30.1.3 Begriffe im Zusammenhang mit der Zuladung.....	13
Leermasse (des ausgerüsteten Flugzeugs)	13
Leermasse der nichttragenden Teile	13
Zuladung.....	13
Wasser Ballast.....	13
Gesamtmasse der nicht tragenden Teile.....	13
Maximalmasse der nicht tragenden Teile	13
Startmasse.....	13
Maximal zulässige Abflugmasse.....	14
Maximal zulässige Landemasse.....	14
30.1.4 Der Schwerpunkt	15
Der Schwerpunkt	15
Eigenschaften des Schwerpunkts.....	15
30.1.5 Gleichgewicht des Segelflugzeugs	16
Begriffe des Gleichgewichts	16
Gleichgewicht eines Segelflugzeugs im Flug	16
30.1.6 Analyse der Gleichgewichtsbedingungen: Der Druckpunkt	17
Definition des Druckpunkts.....	17
30.1.7 Analyse der Gleichgewichtsbedingungen: Position des Schwerpunkts.....	18
Der Schwerpunkt liegt vor dem Druckpunkt	18
Der Schwerpunkt liegt hinter dem Druckpunkt	18
30.1.8 Schwerpunktbereich	20
30.1.9 Berechnung des Schwerpunkts: Momenten Methode	21
30.1.10 Beispiel für das Berechnen der Zuladung	23
Berechnung der verschiedenen Gewichte (Massen).....	23
30.1.11 Rechenbeispiel für die Berechnung des Schwerpunkts	24
30.1.12 Kompensation der Schwerpunktlage.....	25
30.1.13 Zuladung von Wasserballast: Vereinfachte Berechnung mit Hilfe einer Tabelle.....	26
30.1.14 Zuladung von Wasserballast: vereinfachte grafische Methode.....	27
30.2.1 Begriffe und Definitionen im Zusammenhang mit der Geschwindigkeit.....	29
30.2.2.1 Start: Startarten / Startrollstrecken	31
Flugzeugschlepp.....	31
Windenschlepp	31
Eigenstart (mit Motor)	31
30.2.3 Einflüsse auf die Startrollstrecke.....	32
Der Wind.....	32
Der Luftdruck	32
Die Temperatur.....	32
Die Klappenstellung.....	32
Die Längsneigung der Piste.....	32
Die Oberflächenbeschaffenheit der Piste	32

Das Startgewicht	33
Regen und nasse Flügel.....	33
30.2.4 Berechnung der Startrollstrecke	34
30.2.5 Steigflug: Startarten	35
Flugzeugschlepp	35
Windenschlepp	35
Eigenstart	35
30.2.6 Einflüsse auf den Steigwert	36
Die Geschwindigkeit	36
Die Höhe.....	36
Das Gewicht	36
Die Temperatur.....	36
Der Wind.....	36
30.2.7 Flugtaktik während des Steigflugs	37
Beispiel	37
30.2.8 Einflüsse auf die Reisegeschwindigkeit.....	38
Die Masse.....	38
Die Höhe und oder die Temperatur	38
Der Wind.....	38
30.2.9 Gleitzahlen bei verschiedenen Geschwindigkeiten.....	39
30.2.10 Einflüsse auf den Anflug	40
Der Wind.....	40
Regen	40
Vereisung	40
Die Stellung der Wölbklappen	40
30.2.11 Landung: Anfluggeschwindigkeit.....	41
Bei Windstille	41
Bei Gegenwind	41
Bei Rückenwind.....	41
30.2.12 Einfluss auf die Landestrecke	43
Die Anfluggeschwindigkeit.....	43
Der Luftdruck.....	43
Der Wind.....	43
Die Pistenoberfläche und deren Zustand	43
Das Gewicht	43
30.2.13 Geschwindigkeit und Wölbklappenstellung.....	44
30.3.1 Flugvorbereitung.....	45
Informationen und Vorschriften	45
Allgemeine Vorbereitung des Kartenmaterials	45
30.3.2 Höhe über Grund: Höhe um einen Flugplatz zu erreichen	46
Wieviel Höhe brauchen wir, um auf einen Flugplatz zurückzukehren ?	46
Höhenreserve	47
30.3.3 Einteilung der Höhe über Grund: Beispiel.....	48
30.3.4 Der Streckenflug	49
30.3.5 Einflüsse auf die Gleitzahl	50
Einfluss der vertikalen Bewegungen der umgebenden Luftmassen (Auf- und Abwind).....	50
Einfluss der horizontalen Bewegungen der umgebenden Luftmassen (Gegen- / Rückenwind).....	50
30.3.6 Mit der besten Gleitzahl fliegen.....	52
Bei Auf- und Abwinden	52
Bei Windeinfluss (Gegenwind).....	52
Verhältnis Gleitzahl / Reichweite	53
Mit welcher Gleitzahl arbeiten wir in der Praxis.....	53
30.3.7 Verschiedene Gleitzahlen / „Trichterfliegen“.....	54
In der Umgebung eines Landeplatzes (d.h. im unteren Höhenband).....	54
In der weiteren Umgebung eines Landeplatzes (d.h. im mittleren Höhenband).....	54

Im oberen Höhenband	54
30.3.8 Die drei Höhenbänder	55
30.3.9 Die drei Höhenbänder: Definition	56
Das obere Höhenband.....	56
Das mittlere Höhenband	56
Das untere Höhenband.....	56
30.3.10 Von einer Landemöglichkeit zur nächsten	57
Ein wichtiger Grundsatz: Versuchen vorauszusehen, was kommt !	57
30.3.10 Flugtaktik: Schlussfolgerungen	58
Mit den drei Höhenbändern arbeiten	58
Sicher fliegen	58
Bemerkungen	58



30.0.0 An dieser Arbeit waren beteiligt

Die erste Version dieses Manuskripts wurde von D. Kuttel (GVVVM) geschrieben um den Anforderungen zu entsprechen, die im Fach „Flugleistungen und Flugplanung“ für das Bestehen der theoretischen Prüfung für Segelflieger gestellt werden. Wir danken ihm an dieser Stelle recht herzlich für diese Unterlage !

Die zweite Version – überarbeitet durch Jérôme Affolter (GVVN) - basiert weitgehend auf dem Originaldokument mit Ausnahme der ersten Kapitel des Gebiets „Flugvorbereitung“.

Die hier vorliegende Version wurde aus diesen beiden Unterlagen erarbeitet und auf die Bedürfnisse dieses Lehrmittels angepasst.



30.1.1 Weshalb Beladung und Schwerpunkt berechnet werden müssen

Einführung

Während langer Zeit glaubten die Segelflieger,

- dass Schwerpunktprobleme nur für extrem schwere oder leichte Piloten bestehen,
- dass für die „normalen“ Piloten die Konstrukteure bereits genügend vorgesorgt hätten und
- dass sich das Segelflugzeug für „normale“ Gewichte automatisch korrekt verhalte.

Jene Personen, die (weil zu schwer od. zu leicht) Probleme haben, müssten also entweder „abmagern“ oder Blei zuladen.

So wurden Fragen, die mit dem Überschreiten der Zuladung und/oder dem Erreichen der Limiten des Schwerpunkts zusammenhängen, entweder vernachlässigt oder waren gar unbekannt.

Mit dem Erscheinen von Segelflugzeugen, die z.B. mit Wasserballast beladen werden können, erscheint aber die Frage nach dem Gewicht und dem Schwerpunkt in einem anderen Licht. Und dies ist der Grund, uns nicht mehr mit groben Annäherungen zu begnügen.

Es sind also vor allem Gründe der **Sicherheit**, die es nötig machen, dass der Pilot die Grenzen der Zuladung und des Schwerpunkts kennen muss.

Ziel dieses Kapitels ist das Kennenlernen einiger Definitionen, welche die Eigenschaften des Segelflugzeugs charakterisieren. Ebenso das Verständnis, welche (einfachen) Methoden anzuwenden sind, um diese Grenzen zu berechnen.

Weshalb Beladung und Schwerpunkt berechnet werden müssen

Diese Berechnungen erlauben uns festzulegen, ob unsere Maschine (mit dem Piloten) innerhalb der vom Konstrukteur vorgegebenen Grenzen betrieben wird. Diese Grenzen sind vorgegeben, um ein sicheres Flugverhalten der Maschine zu garantieren (z.B. kein unvorhersehbares Abkippen, genügende Steuerwirkung etc.). Ein solches Verhalten ist nur innerhalb dieser vorgegebenen Grenzen sichergestellt. Deshalb ist es unumgänglich, diese strikt einzuhalten, um nicht plötzlich durch ein unerwartetes Verhalten des Flugzeugs überrascht zu werden.

In der Praxis muss eine Berechnung für jeden Flug – mindestens aber für jede unterschiedliche Beladung – gemacht werden. Dazu liefern uns die Hersteller Tabellen und Grafiken, die diese Aufgabe erleichtern. Sie haben auch einfache, sofort kontrollierbare Grenzen vorgegeben, die vor jedem Flug problemlos überprüft werden können (z.B. Mindestzuladung 70 kg, maximale Zuladung 105 kg).



Die Berechnungen erfolgen in zwei Stufen:

- Beladung: Beachtung der strukturellen Grenzen
- Schwerpunkt: Er ist für die Stabilität oder eben Instabilität des Flugzeugs verantwortlich

Das Ergebnis dieser Berechnungen hat zum Ziel, die folgenden beiden Punkte zu gewährleisten:

1. Das Einhalten der Grenzen im Hinblick auf die **Sicherheit** und

2. Das Verbessern des Flugkomforts und der Flugleistungen

- Flächenbelastung
- Wirksamkeit der Steuerung
- Leistungsfähigkeit in der Thermik (Steigen)

30.1.2 Die verschiedenen Arten der Zuladung

Begriffe (Masse, Gewicht)

Masse : Menge der Materie

Gewicht : Kraft, die auf diese Masse (durch die Erdanziehungskraft) einwirkt

Gewicht = Masse \times Beschleunigung

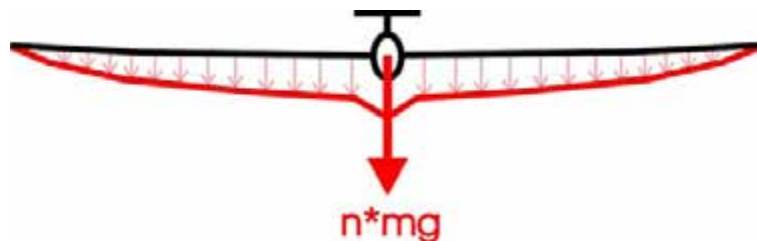
$P = m \times g$ ($g = 9.81$ auf der Erde)

Diese Beziehung muss man nicht auswendig lernen. Man sollte jedoch den Unterschied zwischen der Masse (die sich in kg misst) und dem Gewicht (das in Newton ausgedrückt wird) kennen.

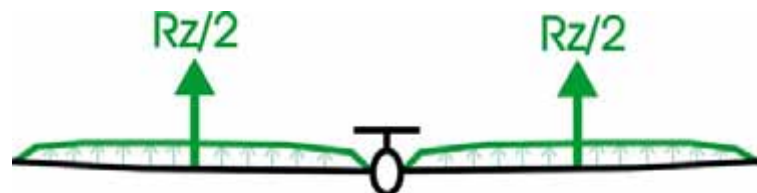
Verschiedene Arten der Zuladung

- Einfluss auf die Flügelfläche (durch das Segelflugzeug selbst)

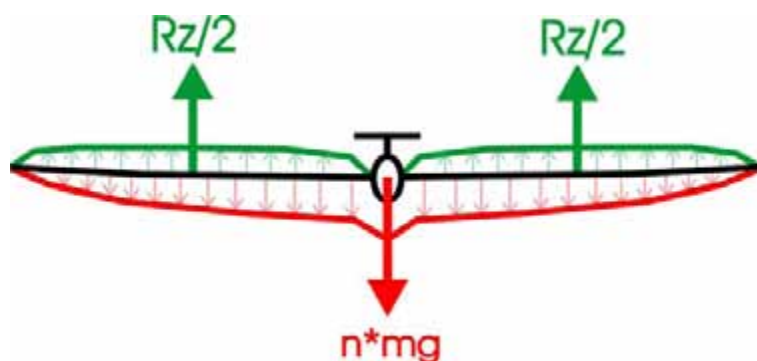
- Aufteilung des auftretenden Gewichts:



- Aufteilung des Auftriebs:



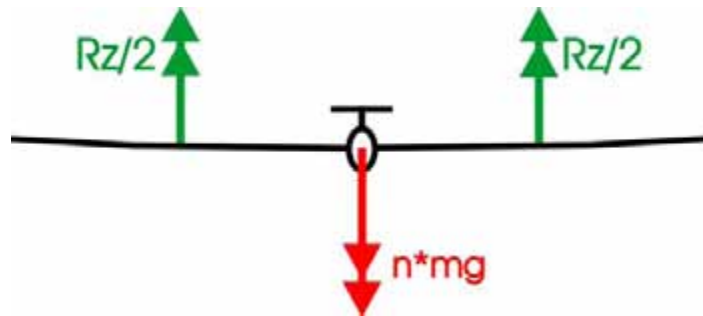
- Die Kräfte, die durch Gewicht und Auftrieb wirken:



Das Einwirken dieser Kräfte verursacht eine Biegung des Tragwerks und eine Scherwirkung an der Stelle der Flügelanschlüsse beim Rumpf. Deshalb gibt es eine Grenze, oberhalb derer die Zuverlässigkeit der Struktur nicht mehr garantiert werden kann.

- Beladung des Flugzeugrumpfs:

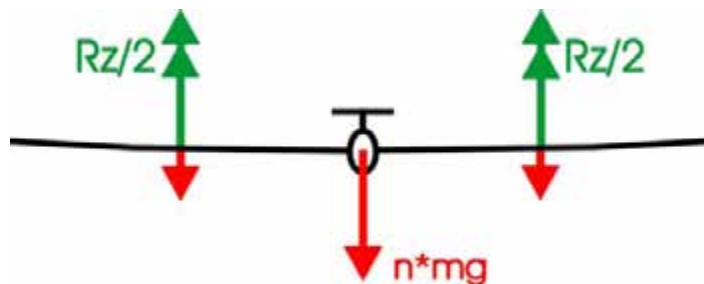
Jede Erhöhung des Gewichts bedingt eine Erhöhung des nötigen Auftriebs. Dadurch steigt auch die Kraft der oben beschriebenen Scherwirkung.



Mit diesen Werten legt der Konstrukteur die maximale Masse der nicht tragenden Teile fest. (Nicht tragende Teile = Rumpf + Leitwerk).

- Zusätzliche Erhöhung der Masse des Flügels (z.B. durch Wasserballast) :

Man versucht den Ballast so anzubringen, dass der Schwerpunkt dieser zusätzlichen Masse möglichst dort liegt, wo die Auftriebskräfte am Flügel angreifen.



Die oben beschriebene zusätzliche Zuladung (im Flügel selbst) führt nicht zu einer Erhöhung der Scherwirkung. Man könnte deshalb versucht sein, diese Zuladung unendlich hoch anzusetzen, wenn nicht die folgenden Faktoren eine einschränkende Rolle spielen würden:

- Die Überlegungen gelten nur für den Flug. Bei der Landung entsteht eine neue Scherwirkung.
- Durch das zusätzliche Gewicht verlängert sich die Rollstrecke (beim Start und bei der Landung)

Die Flächenbelastung kann nicht unendlich gesteigert werden, denn schliesslich muss dazu immer auch der nötige Auftrieb erzeugt werden können.

Unter Berücksichtigung all dieser Faktoren legt der Konstrukteur die maximale Masse fest.

30.1.3 Begriffe im Zusammenhang mit der Zuladung

Nachfolgend betrachten wir die Begriffe dieser verschiedenen Massen, wie sie durch den Konstrukteur vorgegeben und im Flughandbuch verwendet werden.

Leermasse (des ausgerüsteten Flugzeugs)

Hier handelt es sich um die Summe der folgenden Massen:

- Komplette Zelle
- Eingebaute Standard-Instrumente
- Allfällig **fest** eingebauter Ballast (um den Schwerpunkt des leeren Flugzeugs zu gewährleisten)
- Zusätzliche **fest** eingebaute Ausrüstung (Radio, Notsender, Sauerstoffanlage, Batterien etc.)

Leermasse der nichttragenden Teile

Wie die Leermasse, aber ohne das Gewicht der tragenden Teile (Flügel):

- Rumpf und Leitwerk
- Standard-Instrumente
- Allfällig **fest** eingebauter Ballast (um den Schwerpunkt des leeren Flugzeugs zu gewährleisten)
- Zusätzliche, **fest** eingebaute Ausrüstung (Radio, Notsender, Sauerstoffanlage, Batterien etc.)

Zuladung

Summe der Massen, die zur Masse der nicht tragenden Teile zugeladen werden können:

- Der (oder die) Pilot(en) inkl. Fallschirm
- Eventuelle Ausgleichsgewichte (Trimmgewichte), die ausgewechselt werden können
- Persönliche Ausrüstung (Dokumente, Karten, Verpflegung etc.)
- Allfälliger Wasserballast im Heck des Rumpfes

Wasser Ballast

Die Masse des Wassers, das in den Flügeln mitgeführt wird.

Gesamtmasse der nicht tragenden Teile

Diese entspricht der Leermasse der nicht tragenden Teile + Zuladung

Maximalmasse der nicht tragenden Teile

Höchst zulässige Masse der nicht tragenden Teile + Zuladung

Startmasse

Dies ist die Masse des Segelflugzeugs, wie es am Start steht. Also: Die Leermasse + die gesamte Zuladung (inkl. Wasserballast).

**Maximal zulässige Abflugmasse**

Dies ist die maximal zulässige Masse, mit der das Segelflugzeug den Start durchführen darf (inkl. voll- od. teilweise gefüllten Wasserballasttanks).

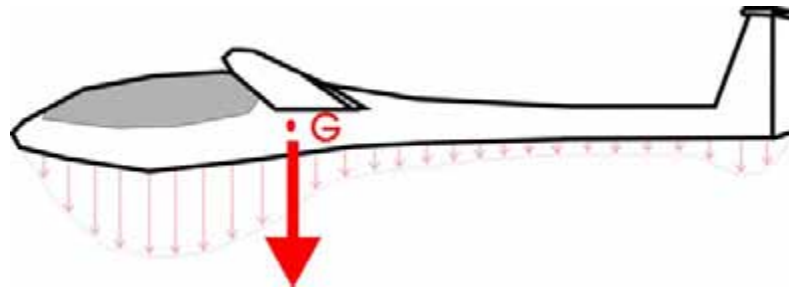
Maximal zulässige Landemasse

Dies ist die maximal zulässige Masse, mit der das Segelflugzeug landen darf. Sie kann durchaus kleiner sein, als die max. zulässige Abflugmasse. Dies ist der Grund, weshalb der Wasserballast vor der Landung abgelassen wird.

30.1.4 Der Schwerpunkt

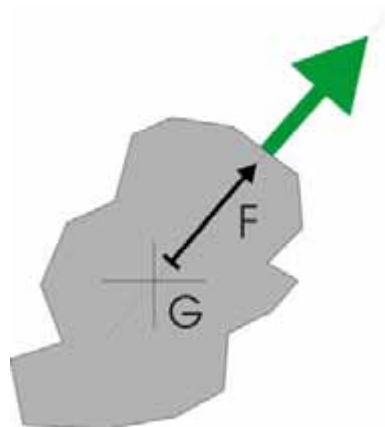
Der Schwerpunkt

Jeder Teil eines Körpers unterliegt den Gesetzmässigkeiten der Schwerkraft. Man kann einen Punkt definieren, an dem die Summe aller dieser Kräfte angreift. Diese Summe kann als Resultierende bezeichnet werden. Der Punkt an welchem sie sich auswirkt, wird als Schwerpunkt G bezeichnet. Schauen wir uns dies auf dem nachfolgenden Bild an:

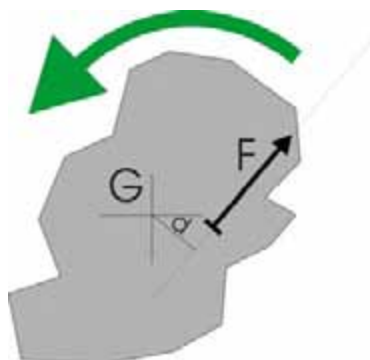


Eigenschaften des Schwerpunkts

Wenn eine Kraft auf den Schwerpunkt G eines Körpers ausgeübt wird, wird sich dieser Körper bewegen.



- Wenn die Kraft nicht auf den Schwerpunkt G ausgeübt wird, dann verursacht sie eine Rotationsbewegung des Körpers:



30.1.5 Gleichgewicht des Segelflugzeugs

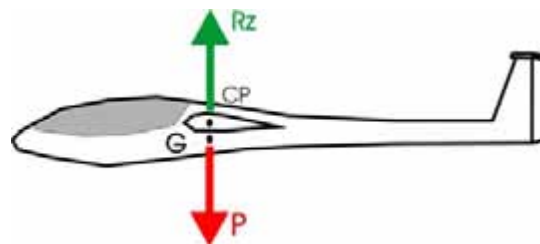
Begriffe des Gleichgewichts

Es gibt drei Arten des Gleichgewichts:

- **Stabil:** Wenn ein aus seinem Gleichgewicht gebrachter Körper automatisch wieder in sein Gleichgewicht zurückkommt und dort verharrt. Beispiel: Ein an einem Faden aufgehängtes Gewicht das mit einem Anstoss zum Pendeln gebracht wird, wird automatisch wieder in die Vertikale zurückkommen und dort verbleiben.
- **Indifferent:** Der Körper bleibt im Gleichgewicht und zwar unabhängig von seiner Lage. Hier denken wir z.B. an ein Rad. Man kann es in jeder Position aufstellen. Wenn es ausgewuchtet ist, wird es ein der jeweiligen Position verharren.
- **Labil*:** Sobald der Körper aus seiner Gleichgewichtsposition gebracht wird, findet er nicht mehr von selbst in die gleiche Position zurück. Im Gegenteil, er wird sich davon entfernen. (z.B. ein Bleistift, das wir aufgestellt haben wird umfallen, sobald wir es bewegen).

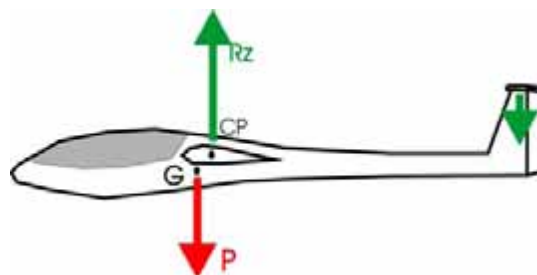
Gleichgewicht eines Segelflugzeugs im Flug

Damit ein Segelflugzeug fliegt, genügt es, seinem Gewicht eine Kraft gegenüberzustellen, die diesem Gewicht entspricht:



Wenn das Segelflugzeug fliegt, wird sich der Druckpunkt (CP) leicht verschieben, wenn der Anstellwinkel sich ändert oder eine Änderung auf der Oberfläche stattfindet (z.B. Bremsklappen ausfahren, Wölbklappenstellung ändern etc.).

Wird die Beladung eines Segelflugzeugs verändert, verschiebt sich auch der Schwerpunkt. Deshalb ist es praktisch unmöglich, die Resultierende des Gewichts und die Resultierende des Auftriebs exakt am gleichen Punkt angreifen zu lassen. Deshalb benötigen wir das Stabulo und das Höhensteuer um das Gleichgewicht wieder herzustellen.



Im Folgenden studieren wir die Gleichgewichtsbedingungen: Stabil, indifferent und labil.

* In gewissen Texten wird für das Wort «labil» der Begriff «instabil» verwendet. Beide Begriffe bedeuten das Gleiche.

30.1.6 Analyse der Gleichgewichtsbedingungen: Der Druckpunkt

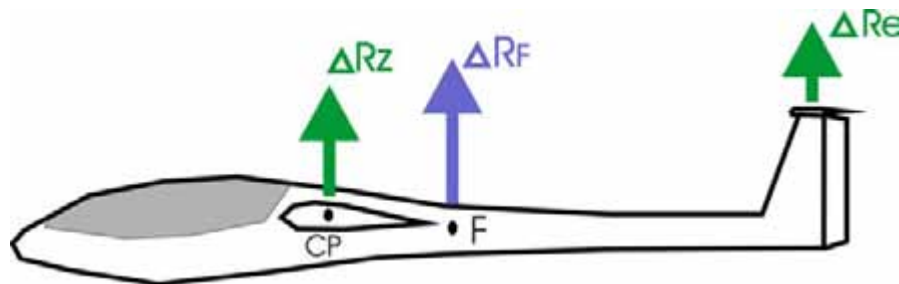
Definition des Druckpunkts

Der Druckpunkt F ist der Punkt um den sich das Segelflugzeug in bezug auf die Querachse in einem indifferenten Gleichgewicht befindet. Dies bedeutet, dass wenn wir ein Segelflugzeug an diesem Punkt „aufhängen“ würden, es sich in bezug auf die Querachse in einem indifferenten Zustand befinden würde.

Wenn – aus welchem Grund auch immer (Turbulenzen, Steuereingriff durch den Piloten etc.) – die Fluglage um die Querachse verändert wird, dann ergibt sich daraus eine Änderung des Anstellwinkels. Und dies bewirkt eine Änderung der aerodynamischen Kräfte.

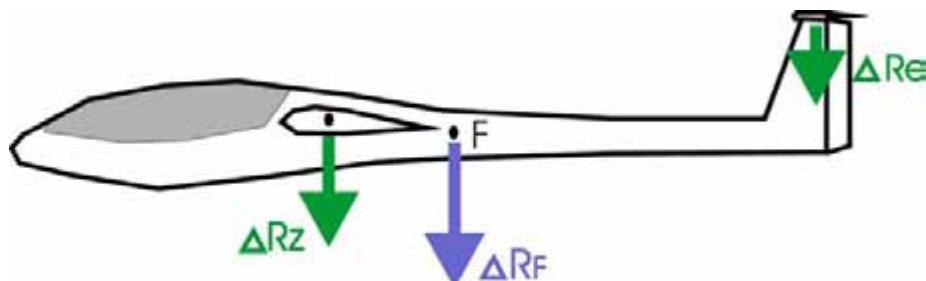
Eine Erhöhung des Anstellwinkels ergibt:

- eine Erhöhung der Resultierenden ΔR_z des Flügels
- und je nachdem, eine Erhöhung des Auftriebs der Höhenflosse (ΔR_e) oder eine Verminderung seiner Abtrieb erzeugenden Kraft (was gleiche Wirkung ergibt).



Eine Verkleinerung des Anstellwinkels ergibt:

- eine Verminderung der Resultierenden ΔR_z des Flügels
- und je nachdem, eine Verminderung des Auftriebs der Höhenflosse oder eine Erhöhung seiner Abtrieb erzeugenden Kraft (ΔR_e)

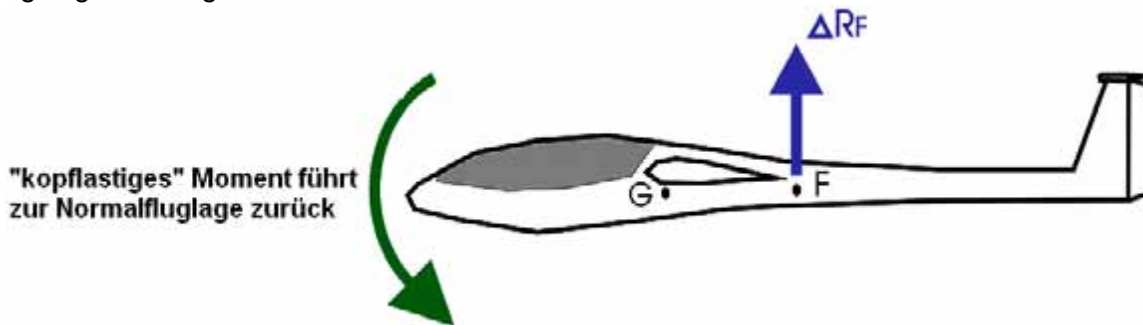


Die Resultierende aus diesen beiden Kräften (ΔR_z und ΔR_e) wirkt also auf den Punkt ein, an dem sich der Druckpunkt F befindet. Wir bezeichnen diese Resultierende mit ΔR_F .

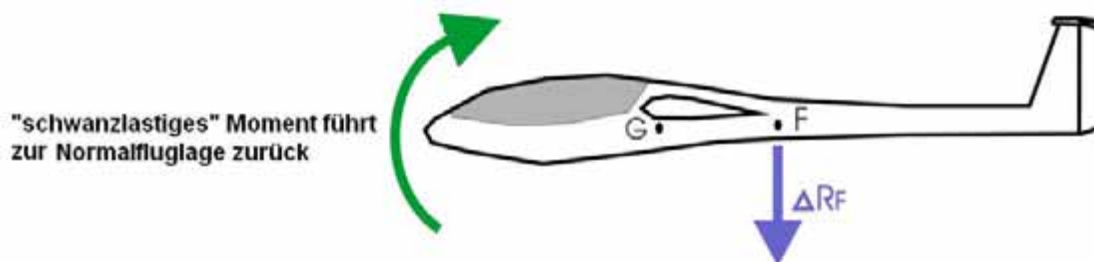
30.1.7 Analyse der Gleichgewichtsbedingungen: Position des Schwerpunkts

Der Schwerpunkt liegt vor dem Druckpunkt

Wird die Nase des Segelflugszeugs nach oben bewegt, ergibt sich eine Erhöhung des Anstellwinkels. Die Kraft ΔR_F wird also erhöht. In bezug auf den Schwerpunkt ergibt sich dadurch ein Effekt, der die Nase wieder nach unten „drückt“, womit das Segelflugszeug wieder in seine ursprüngliche Ausgangslage zurückgeführt wird:



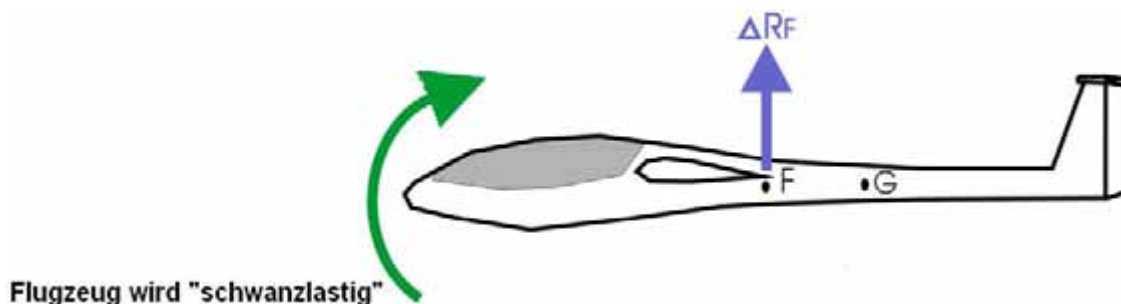
Wenn die Nase des Segelflugszeugs nach unten geht wird die Verringerung des Anstellwinkels dafür sorgen, dass die Resultierende ΔR_F ihre Kraft ebenfalls nach unten erzeugt. In bezug auf den Schwerpunkt ergibt sich dadurch ein Effekt, der die Nase wieder nach oben „drückt“, womit das Segelflugszeug wieder in seine Ausgangslage zurückgeführt wird:



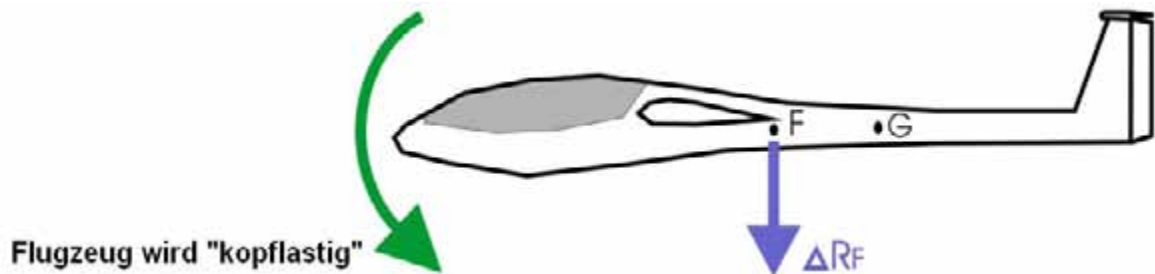
Liegt also der Schwerpunkt G **vor** dem Druckpunkt F, dann ist das Segelflugszeug **stabil**.

Der Schwerpunkt liegt hinter dem Druckpunkt

Wenn die Nase des Segelflugszeugs nach oben geht, wird auch die Kraft ΔR_F nach oben erhöht. Und diese Kraft bewirkt, dass die Drehbewegung (Nase geht nach oben) zusätzlich unterstützt wird. Das Segelflugszeug wird also nicht mehr in seine ursprüngliche Position zurückfinden; im Gegenteil die Drehbewegung (nach oben) wird verstärkt.



Wenn die Nase des Segelflugzeugs nach unten geht, wird auch die Kraft ΔR_F nach unten erhöht. Und diese Kraft bewirkt, dass die Drehbewegung (Nase geht nach unten) zusätzlich unterstützt wird. Das Segelflugzeug wird also nicht mehr in seine ursprüngliche Position zurückfinden; im Gegenteil die Drehbewegung (nach unten) wird verstärkt.



Wir sehen auch in diesem Fall, dass das Segelflugzeug **instabil** ist wenn der Schwerpunkt **hinter** dem Druckpunkt liegt.

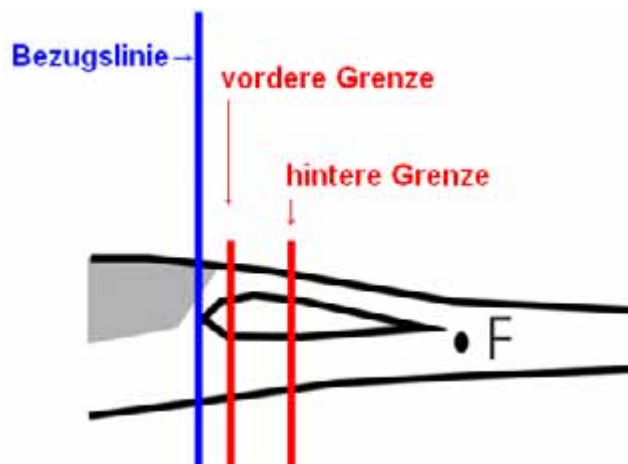
Der Pilot muss die Beladung seines Flugzeugs so festlegen (und kontrollieren!), dass sich der Schwerpunkt innerhalb der zulässigen Grenzen des Schwerpunktbereichs befinden.

30.1.8 Schwerpunktbereich

Wie wir aus den vorangegangenen Abbildungen (30.1.7) gesehen haben, muss der Schwerpunkt so gewählt werden, dass das Segelflugzeug stabil ist. Der **Schwerpunkt** muss sich also **immer vor dem Druckpunkt** befinden.

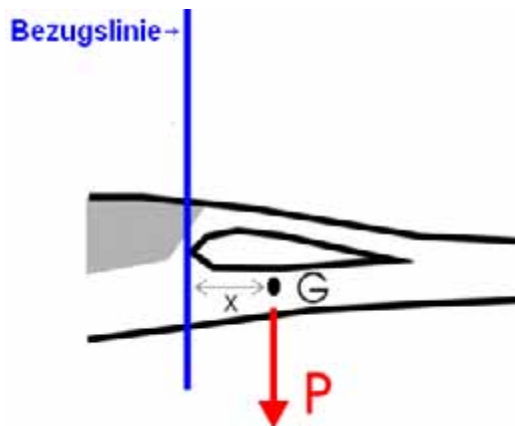
Aber wieviel? Jetzt geht es darum den Grad dieser Stabilität zu definieren. Wenn sich der Schwerpunkt sehr weit vor dem Druckpunkt befindet, dann ist das Flugzeug sehr stabil. Man könnte dies als erfreulich ansehen, aber dem ist nicht so. Die Steuerfähigkeit unseres Segelflugzeugs würde vermindert. Und umgekehrt: Wenn wir den Schwerpunkt nur ganz knapp vor dem Druckpunkt plazieren, dann ist das Segelflugzeug nur noch wenig stabil, wogegen die Steuerfähigkeit hervorragend wäre. Deshalb kann man sagen, dass die Lage des Schwerpunkts immer ein Kompromiss zwischen **Stabilität und Steuerfähigkeit** darstellt.

Deshalb legt der Konstrukteur nicht einen Punkt, sondern einen **Bereich** fest, innerhalb welchem der Schwerpunkt liegen darf. Die vordere Grenze dieses Bereichs ist so definiert, dass eine genügende Steuerfähigkeit gewährleistet ist. Die hintere Grenze garantiert, dass die Stabilität immer noch im sicheren Bereich liegt. In der Praxis wird der zulässige Schwerpunktbereich nie mit Bezug auf den Druckpunkt angegeben, da dieser Punkt am Flugzeug nur schwer bezeichnet werden kann. Der Bereich wird deshalb auf eine einfach zu definierende Stelle bezogen und zwar meist auf die Flügelnahe an einer bestimmten Stelle des Flügels. Man nennt diese Stelle Bezugspunkt (für die Schwerpunktberechnung).



30.1.9 Berechnung des Schwerpunkts: Momenten Methode

Nach dem Wägen* des Segelflugszeugs ist dessen Masse bekannt und die Position des Schwerpunkts kann festgelegt werden.



Dabei geht man davon aus, dass das Gewicht (P) des Flugzeugs eine Kraft ausübt, die dem Produkt (M) entspricht. M errechnet sich aus der Multiplikation des Hebelarms (X) mit dem Gewicht des Segelflugszeugs. Der Hebelarm X ist die Distanz zwischen der Bezugslinie und dem Schwerpunkt.

$$M = P \times X$$

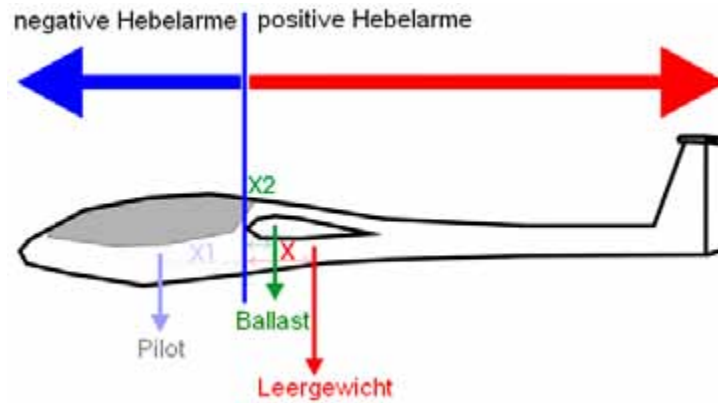
Wenn man nun das Flugzeug belädt -zum Beispiel mit dem Piloten, der mit der Distanz X_1 von der Bezugslinie entfernt im Cockpit sitzt - kann man sagen, dass er ein Moment in der Grösse von M_1 ausübt:

$$M_1 = \text{Pilotengewicht} \times X_1$$

So erzeugt jeder Gegenstand, der im Segelflugszeug plaziert wird eine Erhöhung des Gesamtgewichts und übt ein zusätzliches Moment aus.

Die Addition aller zugeladenen Teile - inklusive Pilot(en) - ergibt das Gesamtgewicht. Die Summen aller Momente ergeben das daraus resultierende Moment. Dabei gilt die Regel (nicht zuletzt um Rechenfehler zu vermeiden), dass alle Hebelarme (und somit die Momente) **negativ** in die Rechnung eingesetzt werden, wenn sie **vor der Bezugslinie** liegen und **positiv** wenn sie **hinter der Bezugslinie** liegen. Es geht also darum, die rechnerische Summe aller Momente zu ermitteln. (... und hier kann man Fehler machen, wenn man die Vorzeichen nicht berücksichtigt!).

* Segelflugszeuge werden in der Regel bei ihrer periodischen Überprüfung gewogen. Auf jeden Fall aber nach Umbauten, Reparaturen etc. Die aktuellen Daten finden wir im Flugsbuch des jeweiligen Flugzeugs.



Gewichte (Massen)	Gewicht (Masse)	Hebelarm	Momente
Leergewicht des Flugzeugs	P	+ x	+ M
Pilot/in und seine Ausrüstung	P1	- x1	- M1
Ballast in den Flügeln	P2	+ x2	+ M2
Gesamtgewicht	P + P1 + P2	resultierender Hebelarm	M + (-M1) + M2

Die Division der Summe aller Momente durch die Summe der Gewichte ergibt den resultierenden Hebelarm:

$$\text{resultierender Hebelarm} = \frac{\text{Summe aller Momente}}{\text{Summe aller Massen}}$$

Der resultierende Hebelarm gibt die Position des Schwerpunkts unseres Segelflugszeugs bezogen auf die Bezugslinie an.

30.1.10 Beispiel für das Berechnen der Zuladung

Um die gesamte Berechnung durchzuführen, ermittelt man zuerst die Gesamtzuladung und wenn das Resultat innerhalb der zugelassenen Werte liegt, in einem zweiten Schritt den Schwerpunkt des Flugzeugs.

Berechnung der verschiedenen Gewichte (Massen)

Flugzeugdaten der Standard-Libelle HB-1056

Resultat der Wägung:

Leermasse des ausgerüsteten Flugzeugs	213 kg
Masse der nichttragenden Teile	108 kg

Durch den Hersteller vorgegebene Grenzen:

maximale Masse:	350 kg
maximale Masse der nichttragenden Teile	: 210 kg

Wir können nun die maximal zulässige Zuladung errechnen und auch die Menge des Wasserballasts, den wir in die Flächentanks einfüllen können.

$$\begin{aligned} \text{Maximale Zuladung} &= \text{maximale Masse der nichttragenden Teile} \\ &\quad \text{minus effektive Masse der nichttragenden Teile} \\ &= 210 - 108 = \mathbf{102 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Wir können also maximal 102 kg zuladen (sofern sich dabei der Schwerpunkt immer noch in den vorgesehenen Grenzen hält, was wir unten ermitteln werden).

Wieviel Wasser können wir zuladen? Wir gehen davon aus, dass der Pilot inkl. Fallschirm und Ausrüstung 90 kg auf die Waage bringt:

$$\begin{aligned} \text{Maximaler Wasserballast} &= \text{maximale Masse minus Leermasse} - \text{Zuladung} \\ &= 350 - 213 - 90 = \mathbf{47 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Wir könnten also 47 Liter Wasser in den Flügeltanks mitführen (sofern sich dabei der Schwerpunkt immer noch in den vorgesehenen Grenzen hält). Wir werden also 40 Liter „laden“, denn mehr geht in dieser Libelle nicht in die Tanks rein.

Beladeplan:	Zuladung:	90 kg
	Wasserballast	40 kg

Wir haben jetzt herausgefunden, dass wir uns bezüglich **Zuladung** innerhalb der zulässigen Grenzen bewegen. Jetzt geht es darum zu überprüfen, ob die vom Hersteller vorgegebenen Limiten für die Lage des Schwerpunkts eingehalten werden.

30.1.11 Rechenbeispiel für die Berechnung des Schwerpunkts

Ausgehend von den in Abschnitt 30.1.10 ermittelten Werte kontrollieren wir nun ob sich der Schwerpunkt immer noch innerhalb der vom Hersteller vorgegebenen Grenzen befindet.

Zulässige Grenzen des Schwerpunkts: $X_{SF} = 244$ bis 348 mm (von der Flügelnase aus gemessen)

Gewichte (Massen)	Gewicht (Masse) [kg]	Hebelarm [m]	Moment [kg x m]
Leergewicht des Segelflugszeugs	213	+ 0.575	+ 122.475
Pilot und seine Ausrüstung	90	- 0.360	- 32.4
Wasserballast in den Flügeln	40	+ 0.434	+ 17.36
Gesamtgewicht	343	resultierender Hebelarm	+107.435

Resultierender Hebelarm = $107.435 : 343 = \underline{\underline{0.313 \text{ m}}}$

Wir stellen fest, dass sich der Schwerpunkt bestens innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen (244 bis 348 mm) befindet. Unser Ladeplan ist also brauchbar.

Die oben beschriebene Methode ergibt ein genaues Ergebnis. Allerdings bedingt es einiges an Rechenaufwand. Schauen wir, was sich der Hersteller hat einfallen lassen, um uns die Arbeit zu erleichtern:

Als Erstes gibt er uns immer die maximale und minimale Zuladung an, damit wir die Grenzen der Beladung und des Schwerpunkts einhalten können. Befindet man sich ausserhalb dieser Limiten, muss gerechnet und das Gewicht kompensiert werden. Die Berechnungen sind ebenfalls unumgänglich, wenn man Wasserballast mitnehmen will.

30.1.12 Kompensation der Schwerpunktlage

Sollten unsere Berechnungen ergeben, dass sich der Schwerpunkt hinter der zulässigen Grenze befindet, können wir ihn verschieben. Dazu bauen wir zusätzliches Gewicht an der dafür vorgesehenen Stelle ein (Trimmgewichte).

Um zu berechnen, wieviel Trimmgewicht eingebaut werden muss, verwenden wir die oben beschriebene Methode der Momentberechnung oder wir beziehen uns auf die Tabellen, die vom Hersteller zu diesem Zweck vorgesehen sind.

In diesen Tabellen ist in der Regel angegeben, für welches Pilotengewicht (inkl. Ausrüstung, wie Fallschirm etc.) wieviel Trimmgewicht wo einzubauen ist.

Der Hersteller des Segelflugzeugs « Pégase » z.B. stellt die folgende Tabelle zur Verfügung:

Anzahl Trimmgewichte	Minimalgewicht des Piloten inkl. seiner Ausrüstung [kg]
0	70
1	67
2	65
3	63
4	61
5	59
6	57
7	55

Masse eines Trimmgewichts: 1 kg \pm 20 g

Wie wir sehen, ist dieses Verfahren bedeutend einfacher anzuwenden, als die Methode der Momentenberechnung durchzuführen.

30.1.13 Zuladung von Wasserballast: Vereinfachte Berechnung mit Hilfe einer Tabelle

Die untenstehende Tabelle stammt aus dem AFM (Flughandbuch) des Discus. Sie erlaubt uns die maximale Masse des in den Flügeln mitgeführten Wasserballasts festzulegen. Als Grundlage muss die Leermasse sowie die Zuladung im Führersitz. Betrachten wir diese Tabelle etwas näher anhand eines Beispiels mit einer Limitierung:

Leermasse: 250 kg
Zuladung im Führersitz: 100 kg

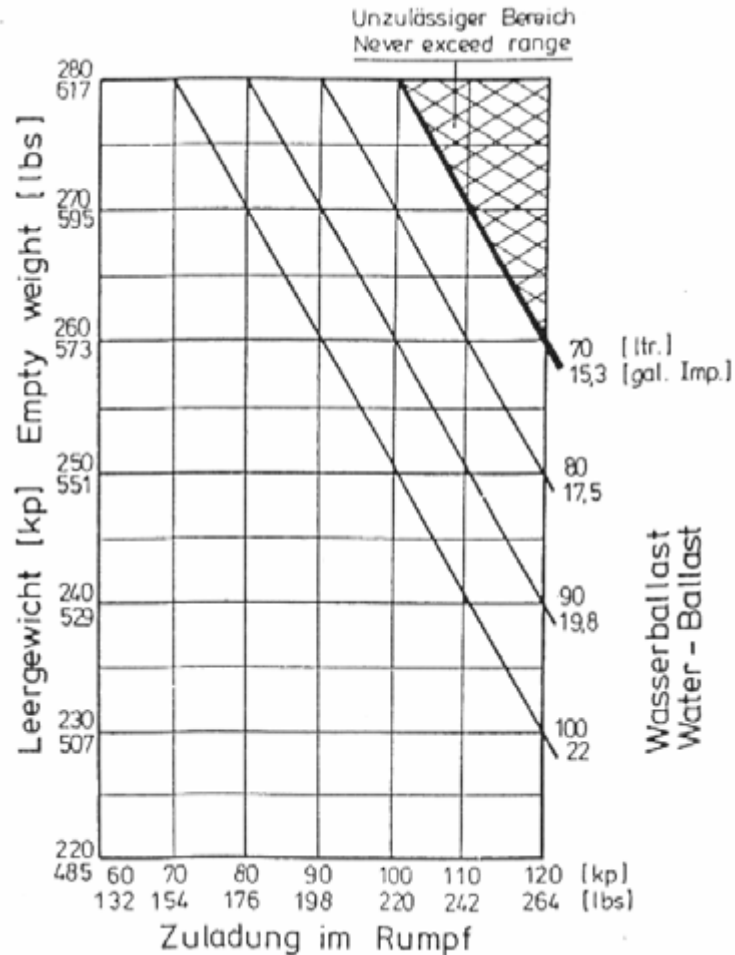
Leermasse (kg)	Zuladung im Führersitz (kg)				
	70	80	90	100	110
220	184	184	184	184	184
225	184	184	184	184	184
230	184	184	184	184	184
235	184	184	184	184	180
240	184	184	184	184	175
245	184	184	184	180	170
250	184	184	184	175	165
Wasserballast (kg) in beiden Flügeltanks					

Wir können also nur max. **175 kg** Wasserballast mitführen !

Glaube nicht, dass man alle Segelflugzeuge so schwer beladen kann ! Der Discus ist ein ziemlich spezieller Fall, bei dem sehr hohe Zuladungen (und damit Flächenbelastungen) möglich sind.

30.1.14 Zuladung von Wasserballast: vereinfachte grafische Methode

Gewisse Hersteller geben uns zur Zuladungsberechnung Grafiken in die Hand. Nehmen wir im Folgenden jene der Firma Grob-Flugzeugbau für das Segelflugzeug „Standard Astir III“:



Beispiel 1: Leermasse: 270kg
Zuladung: 110 kg

Schauen wir zuerst ob es möglich ist, mit diesem Beladepfan zu fliegen und – wenn ja – wieviel Wasser wir maximal mitnehmen dürfen.

Wir stellen fest, dass wir uns an der Limite, aber immer noch innerhalb der zulässigen Grenzen befinden. Zudem dürfen wir max. 70 Liter Wasser in den Flügeltanks mitführen.

Beispiel 2: Leermasse: 260kg
Zuladung: 95 kg

Wir befinden uns innerhalb der zulässigen Grenzen und dürfen max. 95 Liter Wasser „tanken“.

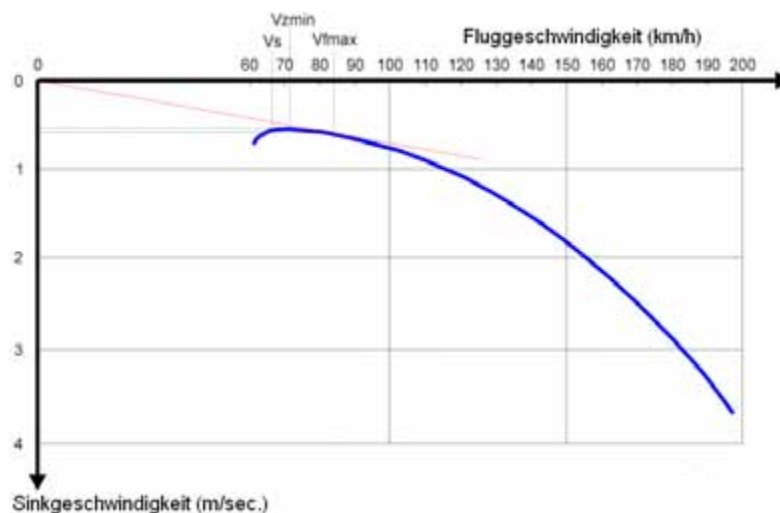


30.2.1 Begriffe und Definitionen im Zusammenhang mit der Geschwindigkeit

Betrachten jetzt wir die verschiedenen Geschwindigkeiten, wie sie vom Hersteller vorgegeben und im Flughandbuch enthalten sind. Diese Definitionen muss man kennen, denn es geht darum, einen vom Konstrukteur festgelegten Wert während dem Flug einzuhalten (d.h. nicht zu unter- oder überschreiten).

V_A	Design Manoeuvring Speed	max. Manövergeschwindigkeit. Bis zu dieser Geschwindigkeit sind volle Steuerausschläge erlaubt.
V_{FE}	Flap Extended Speed	max. Geschwindigkeit mit in einer bestimmten Position ausgefahrenen Auftriebshilfen (Wölbklappen).
V_{LE}	Landing Gear Extended	max. Geschwindigkeit mit ausgefahrenem Fahrwerk
V_{LO}	Landing Gear Operating Speed	max. Geschwindigkeit, bis zu der das Fahrwerk ein- oder ausgefahren werden darf.
V_{PO}	Motor Extending Speed	max. Geschwindigkeit bis zu der der Motor ein- oder ausgefahren werden darf (bei Segelflugzeugen mit Klaptriebwerk)
V_{NE}	Never Exceed Speed	max. zulässige Geschwindigkeit
V_S	Stalling Speed	Abreissgeschwindigkeit od. Minimalgeschwindigkeit, bei der das Flugzeug noch steuerfähig ist
V_W	Winch Speed	max. zulässige Geschwindigkeit beim Windschlepp
V_T	Towing speed	max. zulässige Geschwindigkeit im Flugzeugschlepp
V_X	Speed for Best Angle-of-Climb	Geschwindigkeit für den besten <u>Steigwinkel</u> (bei motorisierten Segelflugzeugen)
V_Y	Speed for Best Rate-of-Climb	Geschwindigkeit für die beste <u>Steigleistung</u> (m/Sec.) (bei motorisierten Segelflugzeugen)
(V_{zmin})		Geschwindigkeit für das geringste Sinken
(V_{fmax})		Geschwindigkeit für die beste Gleitzahl

Schauen wir uns die Position einiger dieser Geschwindigkeiten auf der Polare eines Segelflugzeugs an, damit wir deren praktische Bedeutung besser verstehen können:



Bei diesen Betrachtungen ist ein Punkt besonders hervorzuheben: Alle Geschwindigkeiten beziehen sich auf die am Fahrtmesser angezeigte Geschwindigkeit.

Dies bedeutet, dass die **wahre** Fluggeschwindigkeit **mit zunehmender Höhe grösser** ist, als die angezeigte Geschwindigkeit. Besondere Bedeutung hat dies für die V_{NE} . Deshalb reduziert der Hersteller die Grenzen der V_{NE} in Abhängigkeit der Höhe. (Entsprechende Angaben finden wir – wie fast immer – im Flughandbuch des jeweiligen Segelflugzeugs). Es geht hier vor allem um das Vermeiden unvorhergesehener dynamischer Effekte, wie sie durch erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten hervorgerufen werden können. Deshalb müssen diese Einschränkungen strikte eingehalten werden.

Veränderung der max. zulässigen Geschwindigkeit V_{NE} in Abhängigkeit der Höhe:

Höhe	0-2000m	3000m	4000m	5000m	6000m
V_{NE} angezeigt	270 km/h	256 km/h	243 km/h	230 km/h	218 km/h

Hier ein Überblick zu den verschiedenen Geschwindigkeiten einer DG-500M:

V_{NE} (Klappen 0° bis -10°):	270 km/h
V_{FE} (Klappen $+5^\circ$ bis $+10^\circ$):	197 km/h
V_{FE} (Klappen $+15^\circ$):	150 km/h
V_{NE} (Motor ausgefahren):	197 km/h
V_A :	197 km/h
V_T :	197 km/h
V_W :	140 km/h
V_{LO} :	197 km/h
V_{PO} :	110 km/h

30.2.2.1 Start: Startarten / Startrollstrecken

Flugzeugschlepp

Die Startrollstrecke ist im Flughandbuch des Schleppflugzeugs festgehalten. Sie hängt vor allem von der Leistungsfähigkeit (Motorisierung) des Schleppflugzeugs ab und von externen Einflüssen, auf die wir später zurückkommen. Diese Startstrecke muss vor allem der Schlepppilot kennen. Wenn es dich aber interessiert, wirf doch einen Blick in das Flughandbuch des Schleppflugzeugs.

Windenschlepp

Die Startrollstrecke hängt im Wesentlichen von der angewandten Starttechnik und der vom Windenführer gesetzten Leistung an der Winde ab. Sie beträgt zwischen 25 bis 50 m.

Eigenstart (mit Motor)

Die Startrollstrecke ist abhängig von der Motorleistung, vom Typ des eigenstartfähigen Segelflugzeugs und von externen Einflüssen. Sie ist im Flughandbuch deines Segelflugzeugs festgehalten und du bist dafür verantwortlich bevor du einen Start mit einem eigenstartfähigen Segelflugzeug unternimmst, diese Startstrecke zu berechnen, .

30.2.3 Einflüsse auf die Startrollstrecke

Der Wind

Gegenwind: Die Startrollstrecke wird kürzer, denn bereits im Stand haben wir eine gewisse Geschwindigkeit bezüglich der uns umgebenden Luftmasse.

Rückenwind: Die Startrollstrecke wird länger. ACHTUNG, sie wird rasch beträchtlich länger. Deshalb ist Vorsicht geboten und im Zweifelsfall muss IMMER die Pistenrichtung gewechselt werden, statt mit Rückenwind zu starten.

Der Luftdruck

Nimmt der Luftdruck ab, vermindert sich auch die Dichte. Um den nötigen Auftrieb zu erzeugen braucht es also eine höhere Rollgeschwindigkeit des Segelflugs vor dem Abheben. Zwar ist die angezeigte Geschwindigkeit beim Abheben immer die Gleiche. Aber bis es soweit ist, benötigen wir eine längere Startrollstrecke. Selbstverständlich spielt sich das selbe im umgekehrten Sinn ab, wenn sich der Luftdruck erhöht.

Die Temperatur

Wenn sich die Temperatur erhöht nimmt die Luftdichte ab. Und so benötigen wir wieder eine grössere Rollgeschwindigkeit (und damit eine längere Startstrecke) bis wir abheben können. Bei tieferer Temperatur ist die Luftdichte grösser, was sinngemäss eine kürzere Startstrecke zur Folge hat.

Die Klappenstellung

Der Hersteller gibt verschiedene Klappenstellungen vor, die beim Start gesetzt werden dürfen. Während dem ersten Teil des Starts müssen wir den Widerstand gering halten, um die Beschleunigung zu optimieren. In der zweiten Phase benötigen wir eine Klappenstellung, die den Auftrieb erhöht, ohne damit den Widerstand zu stark zu erhöhen. Dies erlaubt dem Flugzeug abzuheben. Ein Segelflugzeug, das mit Klappen ausgerüstet ist, kann auf einer kürzeren Distanz starten als ein Segelflugzeug ohne Klappen. Das Profil kann für jede Phase optimiert werden und die minimale Abhebgeschwindigkeit ist tiefer.

Die Längsneigung der Piste

Es ist naheliegend, dass bei abschüssiger Piste die Startstrecke kürzer und bei ansteigender Piste länger wird. Der Einfluss einer ansteigenden Piste ist beträchtlich; also Vorsicht !

Die Oberflächenbeschaffenheit der Piste

Oft sind die Startrollstrecken oder die Strecke, die zum Überfliegen eines 15 m hohen Hindernisses im Flughandbuch angegeben sind, auf Hartbelagpisten (Beton oder Asphalt) ermittelt worden. Die Startrollstrecke erhöht sich aber je nach Beschaffenheit der Oberfläche und ist z.B. auf einer Graspiste 10 bis 15 % länger als auf einer Hartbelagpiste. Auf einer Graspiste kann das Gras hoch oder nass, der Boden kann feucht und deshalb weich sein. All diese Faktoren verlängern die Startrollstrecke erheblich und können einen Start sogar verunmöglichen. Hohes Gras stellt auch eine Gefahr für einen ungewollten „Ringelpiez“ dar, wenn ein Flügel auf einer Seite am Gras „einhängt“ und das ganze Flugzeug in eine Rotationsbewegung bringt.

Das Startgewicht

Es ist offenkundig, dass sich die Startrollstrecke mit zunehmendem Gewicht des Segelflugzeugs erhöht. Deshalb finden wir normalerweise in den Flughandbüchern die Startstrecken in Abhängigkeit des Gesamtgewichts. Wenn unser Gewicht zwischen zwei Angaben liegt, kann die erforderliche Strecke durch Interpolieren ermittelt werden.

Regen und nasse Flügel

Stelle sicher, dass du immer mit trockenen FLÜGELN startest. Dies ist äusserst wichtig, denn das Flügelprofil eines Segelflugzeugs ist dünn und deshalb anfällig auf alle störenden Einflüsse. Es kann sein, dass du zwar mit Hilfe des Bodeneffektes starten kannst, danach aber keine oder nur eine geringe Steigleistung erzielst. Dies gilt vor allem für selbststartende Segelflugzeuge. Deshalb: Starte ganz einfach nicht, solange es regnet. Warte bis der Regen aufhört, trockne die FLÜGEL und freue dich auf einen Start ohne Überraschungen.

30.2.4 Berechnung der Startrollstrecke

Dies sind die Werte für die Startrollstrecken für das selbststartende Segelflugzeug DG 500 M:

H m	T °C	m = 825 kg		m = 750 kg	
		SR(m)	S(m)	SR(m)	S(m)
0	0°	261	404	229	359
	15°	290	450	255	399
	30°	321	498	282	442
500	0°	293	454	258	403
	15°	327	505	287	448
	30°	361	559	318	496
1000	0°	331	512	291	454
	15°	368	569	324	505
	30°	408	630	359	559
1500	0°	374	579	329	514
	15°	416	644	366	572
	30°	461	713	405	633

Dabei bedeuten:

- H** Höhe,
- T** Temperatur,
- SR** Startrollstrecke
- S** Distanz für das Überfliegen eines 15 m hohen Hindernisses

Die vom Hersteller angegebenen Werte beziehen sich auf eine ebene Hartbelagpiste bei Windstille. Das Segelflugzeug, der Motor und der Propeller befinden sich in einem sauberen und einwandfreien Zustand.

Ausgangswerte:

Höhe des Platzes: 500 m Startgewicht: 750 kg
 Temperatur: 20 °C

In der obenstehenden Tabelle finden wir:

Rollstrecke: 300 m
 Distanz für das Überfliegen eines 15 m hohen Hindernisses: **472 m**

Nun nehmen wir an, dass es sich um eine Graspiste handelt und der Boden leicht feucht ist. Es ist immer noch windstill:

Gras : + 15 %
 feuchter Boden: ca.. 10 % (schwierig abzuschätzen)
 Total: + 25 %

Was bedeutet:

Rollstrecke: 375 m
 Distanz für das Überfliegen eines 15 m hohen Hindernisses: **547 m**

Wir sehen, dass sich die verschiedenen Einflüsse addieren und so unsere Startstrecke beträchtlich verlängern können.

30.2.5 Steigflug: Startarten

Flugzeugschlepp

Es ist klar, dass bei einem Flugzeugschlepp der Schleppilot die verschiedenen Parameter des Steigflugs vorgibt (Geschwindigkeit, Steigwert etc.). In Kenntnis der verschiedenen Einflüsse auf den Schleppverlauf, empfiehlt es sich jedoch aufmerksam zu bleiben und allfällige Fehler des Schlepppiloten vermeiden zu helfen.

Windenschlepp

Beim Windenstart hat die Pistenbeschaffung fast keine Auswirkung auf die Startrollstrecke. In bezug auf den Steigflug und die erreichbare Höhe ist jedoch der Wind von grosser Bedeutung. Und auch einem allfälligen Seitenwind muss durch „Aufkreuzen“ Rechnung getragen werden.

Eigenstart

Dies ist die Startart, bei der du dir über den Einfluss aller Parameter selbst Gedanken machen musst. Denn du bist für alles selbst verantwortlich! Dabei gelten die bereits für den Flugzeugschlepp gemachten Anmerkungen.

30.2.6 Einflüsse auf den Steigwert

Die Geschwindigkeit

Der Wert für den besten Steigwert und jenen für den besten Steigwinkel finden wir im Handbuch des Herstellers. Halte dich daran, denn jede Abweichung vom jeweiligen Wert entfernt uns vom Ziel (bestes Steigen od. bester Steigwinkel) das wir erreichen wollen.

Bester Steigwinkel (Geschwindigkeit vom Hersteller vorgegeben)

- Wenn wir langsamer als vorgegeben fliegen, erhöht sich durch den grösseren Anstellwinkel der Widerstand beträchtlich. Der Steigwert nimmt ab und damit auch der Steigwinkel.
- Wenn wir schneller als vorgegeben fliegen erhöht sich die zurückgelegte Strecke überproportional im Verhältnis zum Steigwert. Dies bedeutet, dass der Steigwinkel kleiner wird.

Bestes Steigen (Geschwindigkeit vom Hersteller vorgegeben):

- Wenn wir langsamer als vorgegeben fliegen, wird das effektive Steigen schlechter sein als das beste (mögliche) Steigen
- Wenn wir schneller fliegen als vorgegeben, wird das effektive Steigen ebenfalls schlechter sein als das beste (mögliche), weil ein grösserer Teil der Energie für den Vorwärtsflug benötigt wird.

Die Höhe

Der Steigwert vermindert sich mit zunehmender Höhe. Der Grund liegt darin, dass der Motor aufgrund der abnehmenden Luftdichte immer weniger an Leistung abgibt. Dazu kommt, dass die wahre Geschwindigkeit (über Grund) höher wird, was einen negativen Einfluss auf den Steigwinkel hat.

Das Gewicht

Je schwerer das Flugzeug ist, umso mehr Energie ist nötig um es nach oben zu heben. Dies bedeutet, dass bei gleichem Energieeinsatz das Steigen umso schwächer wird, je höher das Gesamtgewicht ist.

Die Temperatur

Genau wie mit der Höhe die Luftdichte abnimmt, tut sie dies auch mit zunehmender Temperatur. Der Effekt ist dabei der gleiche.

Der Wind

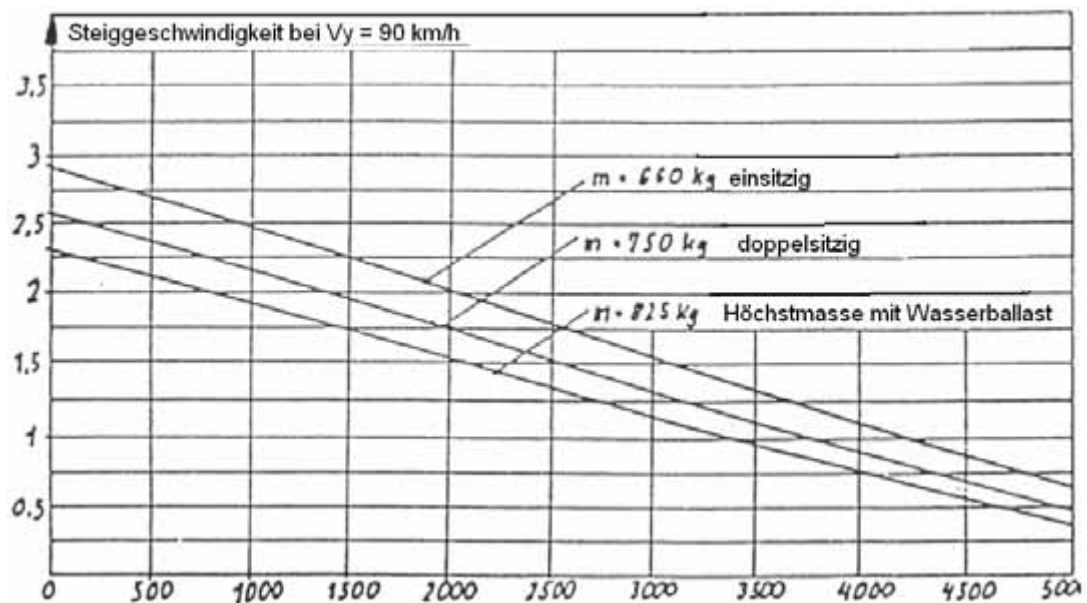
Gegenwind vergrössert den Steigwinkel (für alle Geschwindigkeiten), das sich die Geschwindigkeit über Grund um den Wert des Gegenwinds verringert. Bei Rückenwind verhält es sich umgekehrt: Der Steigwinkel wird kleiner, nachdem bereits die Startstrecke länger war als bei Windstille.

30.2.7 Flugtaktik während des Steigflugs

In der ersten Flugphase – unmittelbar nach dem Abheben – wollen wir möglichst rasch möglichst Höhe gewinnen, um von allfälligen Hindernissen freizukommen. Deshalb fliegen wir in dieser Phase mit der Geschwindigkeit für den besten Steigwinkel. Nachdem wir hoch genug sind, fliegen wir mit der Geschwindigkeit für das beste Steigen, um die gewünschte Höhe raschmöglichst zu erreichen. Handelt es sich um einen längerdauernden Steigflug, gibt der Hersteller eine etwas erhöhte Geschwindigkeit an, um eine bessere Kühlung des Motors zu gewährleisten. In allen anderen Fällen, musst du deine Geschwindigkeit dem zu erreichenden Ziel anpassen.

Beispiel

Hier nochmals das Flughandbuch der DG 500 M:



Die beste Steiggeschwindigkeit ist mit 90 km/h angegeben.

Masse des Segelflugzeugs:	750 kg
Höhe:	600 m
Temperatur (auf Meereshöhe):	15 °C

Dies ergibt einen Steigwert von: **2.3 m/Sec.**

Ferner entnehmen wir dem Handbuch, dass sich pro 15°C Temperaturerhöhung eine Verschlechterung der Steigrate von 0.12 m/Sec. ergibt.

Der Steigwert eines Standard-Schleppflugzeugs (Robin mit 180 PS) entspricht etwa 3 m/Sec., wenn er ein einsitziges Segelflugzeug schleppt. Mit Turbinen ausgestattete Schleppflugzeuge können Steigwerte bis 12 m/Sec. erreichen. Die Werte, die wir am häufigsten antreffen, bewegen sich zwischen 3 und 5 m/Sec.

30.2.8 Einflüsse auf die Reisegeschwindigkeit

Die Masse

Die Masse benötigen wir um die Flächenbelastung festzulegen und die beste Gleitzahl finden zu können. Die Masse beeinflusst zwar die Gleitzahl nicht, aber je grösser die Masse ist, umso grösser wird die Geschwindigkeit, bei der die beste Gleitzahl liegt. Wenn man also die Geschwindigkeit für das beste Gleiten erhöhen will, dann muss man die Masse erhöhen. Dies ist dann interessant, wenn wir bei guten Bedingungen die Vorfluggeschwindigkeit zwischen den Aufwinden erhöhen wollen ohne dabei die Gleitzahl zu stark zu verschlechtern. (... und dies ist der Grund, weshalb die auf den ersten Blick „verrückt“ anmutende Idee Wasserballast zuzuladen, halt schon ihre Berechtigung hat !!!).

Die Höhe und oder die Temperatur

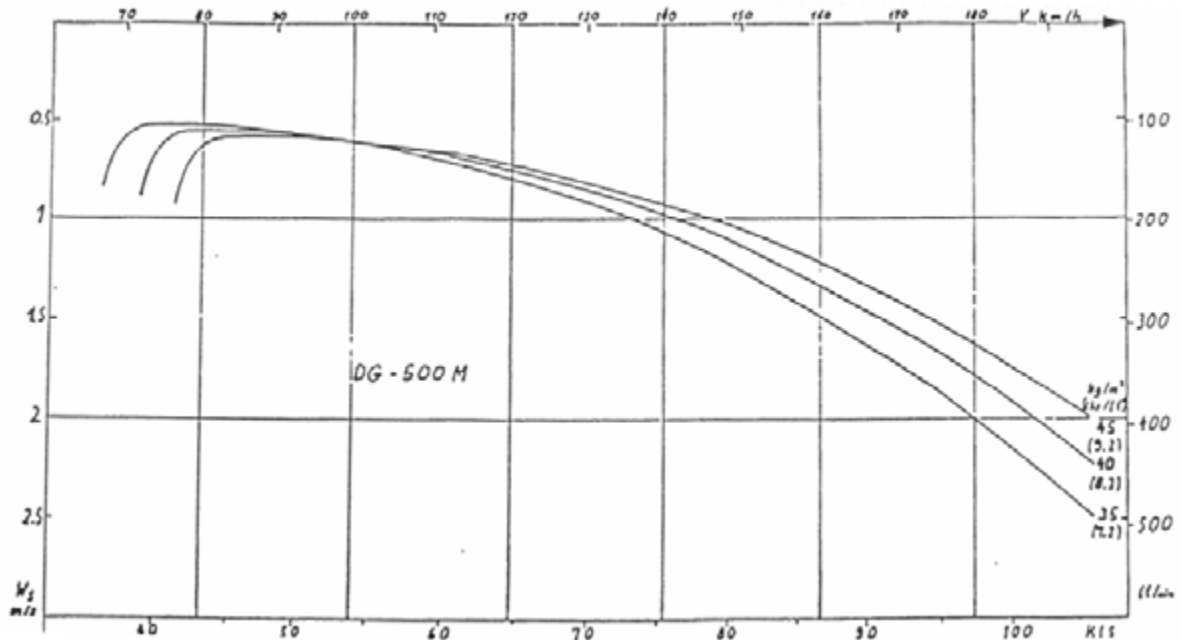
Die Einflüsse der beiden Parameter (Höhe und Temperatur) können für den Reiseflug normalerweise vernachlässigt werden.

Der Wind

Der Wind hat einen nicht zu unterschätzenden Einfluss (vor allem wenn er von vorne bläst!). Gegenwind vermindert unsere Geschwindigkeit über Grund und damit unsere Gleitzahl. Im Gegensatz dazu erhöht Rückenwind natürlich unsere Gleitzahl. Wir werden an späterer Stelle sehen, wie wir uns verhalten müssen, um den Windeinfluss auszunutzen und/oder seine negativen Eigenschaften zu verringern.

30.2.9 Gleitzahlen bei verschiedenen Geschwindigkeiten

Ermitteln wir anhand der untenstehenden Grafik die Gleitzahlen bei einer Flächenbelastung von 40 kg/m^2 :



angezeigte Geschwindigkeit (km/h)	Sinkgeschwindigkeit (m/Sec.)	Gleitzahl
73	0.66	31
82	0.54	42
100	0.62	45
107	0.64	46
141	1.00	39
188	2.00	26

Auf Grund dieser Ergebnisse können wir festhalten, dass die Geschwindigkeit bei der wir am wenigsten sinken (0.54) bei 82 km/h liegt. Ebenso erhalten wir die beste Gleitzahl (46), wenn wir mit 107 km/h fliegen. Zudem stellen wir fest, dass sich die Gleitzahl verkleinert, wenn die Geschwindigkeiten unter oder über jener für das beste Gleiten liegen. Es ist also wichtig, immer mit jener Geschwindigkeit zu fliegen, die für unsere jeweilige Situation die beste ist. Bitte beachte bei der Berechnung der Gleitzahlen, dass die Vorwärtsgeschwindigkeit in km/h und die Sinkgeschwindigkeit in m/Sec. angegeben sind, sonst erhältst du etwas überraschende Resultate!



30.2.10 Einflüsse auf den Anflug

Der Wind

Im Gebiet «Flugverfahren» haben wir gesehen (oder werden wir sehen), wie man sich bei einem Anflug mit Wind verhält. In Bezug auf die Leistungen des Flugzeugs sei hier lediglich darauf hingewiesen, dass die Gleitzahl durch Gegenwind verkleinert wird (der Anflugwinkel wird steiler) und dass die Anfluggeschwindigkeit erhöht werden muss, um eine Sicherheitsmarge zu gewährleisten. Vergiss zudem nicht, den Queranflug etwas zum Flugplatz hin zu verschieben, wenn du beim Landeanflug Gegenwind hast.

Regen

Die Abreissgeschwindigkeit (Geschwindigkeit, bei der die Strömung am Flügel „abreißt“ und kein Auftrieb mehr erzeugt) liegt bei einem nassen Flügel höher und die Sinkgeschwindigkeit nimmt zu. Um eine genügend hohe Sicherheitsmarge zu gewährleisten, muss deshalb die Anfluggeschwindigkeit erhöht werden. Bei gewissen Flugzeugtypen erhöht sich die Sinkgeschwindigkeit bei Regen dramatisch und es ist Vorsicht geboten: der Anflugwinkel kann dadurch sehr steil werden.

Vereisung

Gleiche Wirkung wie Regen: Die Eigenschaften des Profils verschlechtern sich. Zudem erhöht eine Eisschicht das Gewicht des Segelflugzeugs beträchtlich.

Die Stellung der Wölbklappen

Das Verwenden der Wölbklappen wird im Bereich «Flugverfahren» behandelt. Aber sprechen wir hier kurz über deren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit während des Anflugs. Normalerweise werden wir im Gegenanflug (downwind) die Klappen auf die erste positive Stellung bringen. Dadurch wird die Abreissgeschwindigkeit herabgesetzt, ohne dass die Steuereigenschaften beeinträchtigt werden.

Im Queranflug (base) – wenn die Höhe ausreichend ist – werden wir in der Regel die Wölbklappen in Stellung zwei bringen (also einige Grad mehr in Richtung positiv, als wir dies im Gegenanflug getan haben). Dies stabilisiert das Flugzeug und die Abreissgeschwindigkeit wird noch etwas weiter herabgesetzt. Allerdings wird dabei die Steuerfähigkeit ein klein wenig reduziert. Die Landestellung setzen wir erst, wenn wir sicher sind, die Piste zu erreichen und der Landeanflug (final) stabilisiert ist. Diese Klappenstellung dient ausschliesslich der Landung und erlaubt normalerweise einen recht steilen Anflug. Da der Widerstand in dieser Konfiguration recht gross ist, ist es einfach den Anflugwinkel zu korrigieren, ohne dass sich die Geschwindigkeit stark verändert. Allerdings: Bei Gegenwind muss man aufpassen! Der Effekt der Klappen auf Landestellung und jener des Gegenwinds addieren sich. Dadurch wird der Anflugwinkel sehr steil und man riskiert vor der Piste aufzusetzen. Da zudem die Steuerwirkung bei dieser Klappenposition noch stärker eingeschränkt ist, ist diese Konfiguration bei sehr turbulenten Verhältnissen nicht sinnvoll.

30.2.11 Landung: Anfluggeschwindigkeit

Bei Windstille

Für jedes Segelflugzeug gibt es eine optimale **Anfluggeschwindigkeit**. Sie ist für jeden Flugzeugtyp, für jede Konfiguration und jedes Gewicht festgelegt. Sie entspricht **1.3 mal der Abreissgeschwindigkeit**. Diese Geschwindigkeit muss während des ganzen Anflugs konstant gehalten werden.

Ist die Anfluggeschwindigkeit zu tief, riskierst du eine harte oder eine zu kurze Landung. Wenn sie zu hoch ist, kommst du „zu lang“ und machst beim Aufsetzen vielleicht noch einen „Hüpfer“. 10 km/h zu schnell kann deine Landestrecke um 100 Meter verlängern. Deshalb ist es wichtig, mit der korrekten Anfluggeschwindigkeit anzufliegen.

Um herauszufinden, welches die richtige Anfluggeschwindigkeit ist, musst du im Flughandbuch die Abreissgeschwindigkeit für die aktuelle Konfiguration suchen und diese mit dem Faktor 1.3 multiplizieren. Das Resultat entspricht der korrekten Anfluggeschwindigkeit (bei Windstille). In der Regel findest du die vom Hersteller angegebene Anfluggeschwindigkeit im Flughandbuch. Pass aber auf, für welche Konfiguration und für welches Gewicht der gefundene Wert gilt !

Bei Gegenwind

Bei Gegenwind wird dein Anflugwinkel steiler als bei Windstille. Die Geschwindigkeit im Endanflug muss erhöht werden. In Bodennähe (ca. die letzten 20 Meter Höhe) nimmt die Windstärke ab, je mehr man sich dem Boden nähert. Diese Abnahme der Windstärke ist auf die Reibung der bewegten Luft auf der Erdoberfläche zurückzuführen.

Beim Einflug in diese Schicht verkleinert sich die angezeigte Geschwindigkeit relativ rasch. Eine ursprünglich zu tiefe Anfluggeschwindigkeit kann deshalb zum Strömungsabriss führen. Um dieses Problem zu vermeiden, musst du die Anfluggeschwindigkeit für ruhige Luft um **die Hälfte der geschätzten Gegenwindstärke** erhöhen. Bei stark böigem Wind zählst du zudem die **gesamte Geschwindigkeit der Böen** hinzu. Die optimale Anfluggeschwindigkeit errechnet sich also wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{Optimale Anfluggeschwindigkeit} = & \text{Anfluggeschwindigkeit bei Windstille} \\ & + \frac{1}{2} \text{ Geschwindigkeit des Gegenwinds} \\ & + \text{gesamte Geschwindigkeit erwarteter Böen.} \end{aligned}$$

Beispiel:

Anfluggeschwindigkeit bei Windstille:	90 km/h
angegebener Wind:	30, in Böen 50 km/h
Der Wind ist demnach:	30 km/h
und die Böe setzen wir mit:	20 km/h ein.

$$\text{Optimale Anfluggeschwindigkeit} = 90 + (30 : 2) + 20 = \mathbf{125 \text{ km/h}}$$

Wie du selbst sehen kannst ist also die errechnete Anfluggeschwindigkeit um 35 km/h höher als jene bei Windstille.Und das ist nicht „Nichts“ !!!

Bei Rückenwind

Bei Rückenwind fliegen wir mit der normalen Anfluggeschwindigkeit an. Diese dürfen wir auf keinen Fall heruntersetzen. Aber noch mehr als bei Windstille muss auch hier auf das korrekte Einhalten



geachtet werden. Denn eine zu hohe Endanfluggeschwindigkeit wird die Landedistanz erheblich verlängern.

30.2.12 Einfluss auf die Landestrecke

Die Ausrollstrecken bei Landungen werden in der Regel vom Hersteller nicht angegeben. Mit einem Segelflugzeug der Standardklasse ist es bei Windstille ohne weiteres möglich, auf einer Distanz von 200 m aufzusetzen und auszurollen. Hingegen muss man sich bewusst sein, dass das geringste Hindernis, das sich im Endanflug befindet, die Landestrecke wesentlich erhöhen kann. Im nachfolgenden Abschnitt zeigen wir eine Reihe von Faktoren, die die Landestrecke ebenfalls beträchtlich verlängern können.

Die Anfluggeschwindigkeit

Eine zu hohe Anfluggeschwindigkeit führt dazu, dass du vor der Landung zuerst eine lange Strecke benötigst, um die überschüssige Geschwindigkeit abzubauen. Hier ein Beispiel: Nehmen wir an, dass du mit ca. 10 km/h zu schnell anfliegst und deshalb drei Sekunden länger in der Luft bleibst, bis die überschüssige Geschwindigkeit abgebaut ist. Bei 90 km/h bewegst du dich mit ca. 25 Metern pro Sekunde vorwärts. Die drei Sekunden Verzögerung werden deine Landestrecke also um volle 75 Meter verlängern! Zudem erzeugen gewisse Segelflugzeuge einen ausgeprägten Bodeneffekt. Und dieser kann bei zu schnellem Anflug dazu führen, dass die Landestrecke noch zusätzlich verlängert wird. Vor allem bei schweren (z.B. doppelsitzigen) Segelflugzeugen muss dabei eine nicht zu unterschätzende Energie durch Abbremsen „vernichtet“ werden. Und das kann im Flug (ca. 1 Meter über der Piste) unangenehm lange dauern!

Der Luftdruck

Wie wir schon gesehen haben, ist die wahre Geschwindigkeit über Grund bei geringer Luftdichte grösser. Damit wird natürlich auch die Landestrecke erhöht.

Der Wind

Gegenwind ist ideal. Denn unsere Geschwindigkeit über Grund wird vermindert was die Landestrecke verkürzt. Zudem ist der aerodynamische Widerstand durch den Gegenwind auch beim Rollen höher, womit das Segelflugzeug rascher abgebremst wird.

Von Rückenwindlandungen wird strikte abgeraten*. Rückenwind verlängert die Landestrecke beträchtlich. Er erhöht deine Geschwindigkeit gegenüber dem Boden und kompliziert damit die Landung. Beim Aufsetzen ist deine Rollgeschwindigkeit höher und die Wirkung des aerodynamischen Widerstands geringer. Die (negativen) Effekte kumulieren sich !

Die Pistenoberfläche und deren Zustand

Auf einer Hartbelagpiste „rollt es sich gut“, die Landestrecke wird also länger. Hingegen ist hier aber die Wirkung der Radbremse besser (als z.B. auf nassem Rasen). Auf einer Graspiste wird das Segelflugzeug relativ rasch abgebremst. Vor allem wenn das Gras hoch und die Piste weich ist. Allerdings ist hier die Bremswirkung der Radbremsen geringer. Vorsicht bei zu hohem Grasbewuchs. Ein „Ringelpiez“, verursacht durch das „Anhängen“ eines Flügelendes im Gras kann die Maschine stark beschädigen.

Das Gewicht

Je schwerer ein Segelflugzeug ist, desto grösser wird die Distanz, die zum Bremsen nötig ist.

* Es gibt Ausnahmen. So wird bei stark ansteigendem Gelände unabhängig der Windrichtung grundsätzlich „gegen den Hang“ gelandet. Solche Landungen werden im Teil „Betriebsverfahren“ behandelt.

30.2.13 Geschwindigkeit und Wölbklappenstellung

Die Wölbklappen erlauben uns das Profil den jeweiligen Gegebenheiten anzupassen. Für den Langsamflug wollen wir den grösstmöglichen Auftrieb (geringes Sinken und herabgesetzte Abreissgeschwindigkeit) und für den Schnellflug so wenig Widerstand wie möglich haben.

Daraus können wir schliessen, dass wir beim Thermikfliegen die Wölbklappen in eine positive Stellung bringen um die Abreissgeschwindigkeit herabzusetzen. Diese (tiefere) Geschwindigkeit erlaubt es, Kurven mit engerem Radius zu fliegen und die Sinkgeschwindigkeit wird reduziert. Zudem wird die Maschine bei positiv gestellten Wölbklappen eher etwas stabiler zu fliegen sein. Für den schnellen Vorflug (zwischen den Aufwinden) werden wir die Wölbklappen in ihre neutrale Stellung bringen und für den sehr schnellen Vorflug gar in eine negative.

Im Flughandbuch finden wir die vom Hersteller ermittelten optimalen Geschwindigkeiten für jede Klappenstellung. Wir finden hier aber auch Hinweise zu den dabei erlaubten (unterschiedlichen) Maximalgeschwindigkeiten. Hier die Tabelle, für die DG 500 M:

G/S (kg/m ²)	35	40	45
WK + 10°	bis 75	bis 80	bis 85
+ 5°	75–95	80–100	85–105
0°	95–130	100–140	105–145
- 5°	130–160	140–170	145–180
- 10°	ab 160	ab 170	ab 180

Es ist falsch, die Klappenstellung laufend zu verändern. Denn durch das Verstellen des Profils entsteht durch das kurzfristige Loslösen der Strömung ein kleiner Verlust. Deshalb ändert man die Position nur dann, wenn die neue Position es erlaubt, so lange ihre (bessere) Wirkung zu entfalten, dass dieser Verlust auch wieder kompensiert wird. Zudem soll der Profilwechsel sanft erfolgen um den Verlust, der durch das Bewegen der Klappen entsteht, klein zu halten.

WICHTIG: Das Einstellen der Wölbklappen auf die Landstellung erfolgt im Endteil (evtl. im Queranflug) aber **nie während der Landekurve** !

Solange die Klappen ausgeschlagen (also nicht in Neutralstellung) sind, ist das Profil verändert und das Abreissverhalten kann im Verhältnis zur Neutralstellung stark variieren. Wenn man auf ein Klappenflugzeug umschult, dann ist es unbedingt nötig, sich genügend Zeit zu nehmen, um das Abreissverhalten in jeder denkbaren Klappenstellung zu erfliegen. Natürlich dürfen dabei die für die verschiedenen Klappenstellen vorgeschriebenen (unterschiedlichen) Maximalgeschwindigkeiten V_{FE} nicht überschritten werden.

30.3.1 Flugvorbereitung

Damit wir die für die verschiedenen Lufträume geltenden Vorschriften einhalten können, benötigen wir eine aktuelle Luftfahrtkarte, die wir auch zu lesen verstehen. Zusätzlich müssen wir die offiziellen kurz- und mittelfristigen Publikationen konsultieren die zu diesem Zweck herausgegeben werden (NOTAM, AIC, KOSIF). Du findest diese im C-Büro deines Flugplatzes.

Informationen und Vorschriften

Informationen, die über einen längeren Zeitraum Gültigkeit haben, sind im **AIP** (Aeronautical Information Publication) enthalten. Hier finden wir unter Anderem in Kapitel RAC 6.1. wesentliche, den Segelflug betreffende Vorschriften. Neben dem AIP gibt es noch weitere Publikationen, die wir konsultieren – und wenn sie unser Flugvorhaben betreffen - kennen müssen:

- **NOTAM (Notice to Airmen)**
Diese Meldungen enthalten Hinweise, die oft nur kurzfristig Gültigkeit haben. Sie geben Auskunft über das Errichten, den Zustand oder über Änderungen von Anlagen, die für den Luftverkehr von Bedeutung sind. (z.B. Flugplatz am Tag X gesperrt wegen Air-Show, Baukran errichtet in der Verlängerung der Piste Y, Flugbetrieb auf Platz Z eingeschränkt wegen den Schweizerischen Segelflugmeisterschaften etc.)
- **AIC (Aeronautical Information Circular)**
Dieses Zirkular enthält technische Informationen von allgemeiner Bedeutung und Hinweise in bezug auf administrative Verfahren.
- **KOSIF Warning** (wird täglich erstellt)
Das KOSIF gibt Auskunft über Schiessübungen der Armee, sowie über Gefahrenzonen für einen Tag.
- **NOTAM VFR**
Das NOTAM VFR ist eine wöchentliche Zusammenfassung von Informationen, die den Luftverkehr unter Sichtflugbedingungen (VFR) betreffen und im (normalen) NOTAM publiziert wurden/werden. Es wird jeweils am Montag erstellt und enthält alle zu diesem Zeitpunkt bekannten NOTAMS, die die laufende Woche betreffen.

Allgemeine Vorbereitung des Kartenmaterials

Das Cockpit unseres Segelflugzeugs ist sehr eng und wir können darin in den seltensten Fällen unsere Karten wie zu Hause auf dem Tisch vollständig ausbreiten. Zudem wäre es ziemlich schwierig die Karte während des Fluges mit Zeichnungen und schriftlichen Berechnungen zu ergänzen. Deshalb muss die Karte am Boden vorbereitet werden. Ein wesentlicher Punkt besteht darin, dass wir mit einem Zirkel Distanzkreise von 10 od. 20 km um die für uns in Frage kommenden Flugplätze legen. Während des Fluges können wir diese Distanzen in die Höhe umrechnen, die wir zum Erreichen des jeweiligen Flugplatzes benötigen. Wir gehen auf diesen Punkt später noch ein.

Ein Verzeichnis, das die Volten und Frequenzen der Flugplätze enthält, wird uns ebenfalls sehr hilfreich sein wenn wir unterwegs auf einem dieser Plätze landen müssen.

30.3.2 Höhe über Grund: Höhe um einen Flugplatz zu erreichen

In einem ersten Schritt werden wir nun einige grundlegende Berechnungen kennenlernen und im nachfolgenden Kapitel behandeln wir Methoden, wie wir mit der jeweils vorhandenen Höhe über Grund „umgehen“, um jederzeit im „sicheren Bereich“ zu fliegen.

Wieviel Höhe brauchen wir, um auf einen Flugplatz zurückzukehren ?

Wir haben an verschiedenen Stellen den Begriff „Gleitzahl“ verwendet. Und diese Gleitzahl benutzen wir nun, um einige einfache Berechnungen anzustellen. Erinnern wir uns zunächst daran, dass es sich bei der Gleitzahl um das Verhältnis zwischen der Strecke und der zum Zurücklegen dieser Strecke nötigen Höhe handelt.

$$\text{Gleitzahl} = \frac{\text{Distanz in horizontaler Richtung}}{\text{Höhe die nötig ist, um diese Distanz zurückzulegen}}$$

Hier nun einige Rechenbeispiele:

- Distanz: Nehmen wir an, dass wir eine gewisse Höhe zur Verfügung haben und dass wir wissen wollen, welche Distanz wir mit dieser Höhe zurücklegen können. Wir arbeiten also mit der Formel

$$\text{Distanz} = \text{Gleitzahl} \times \text{Höhe}$$

In der untenstehenden Tabelle sind die Beispiele angegeben, die sich auf die Gleitzahlen 20 und 30 und auf verschiedene Höhen beziehen:

Gleitzahl	verfügbare Höhe	zurücklegbare Distanz
20	500 m	10 km
20	1000 m	20 km
20	1500 m	30 km
30	500 m	15 km
30	1000 m	30 km
30	1500 m	45 km

Diese Berechnungen scheinen sehr einfach. Aber versuch's doch mal mit etwas komplizierteren Werten und denke dabei daran, dass man während des Fliegens noch anderes zu tun hat und deshalb im Cockpit mindestens 50 % „dümmer“ ist!!!

- Zeit: Wir können natürlich auch die Flugzeit berechnen die wir benötigen, um an einen bestimmten Punkt zu gelangen. Im Segelflug interessiert uns diese Berechnung im Allgemeinen weniger. Was wir wollen ist, soweit und so schnell wie möglich zu fliegen und wieder an unseren Ausgangspunkt zurückzukehren. Trotzdem ist auch diese Berechnung recht einfach:

$$\text{Zeit} = \text{Distanz} / \text{Geschwindigkeit}$$

Auch hierfür einige Beispiele:

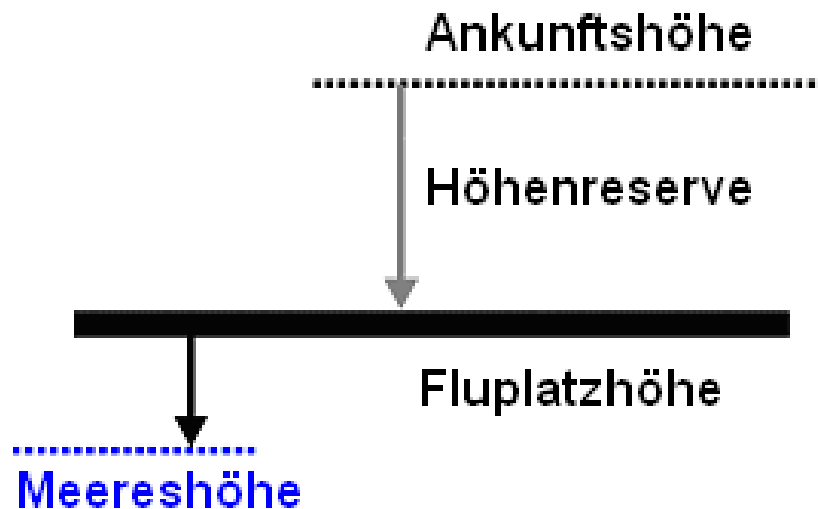
Distanz	Geschwindigkeit	Zeit
10 km	90 km/h	06 min 40 s
10 km	120 km/h	05 min 00 s
40 km	180 km/h	13 min 20 s

Auf die gleiche Art kann man die Geschwindigkeit berechnen, die nötig ist um eine gewisse Distanz in einer gegebenen Zeit zu durchfliegen.

Höhenreserve

Nachdem wir die Höhe ermittelt haben, die wir zum Erreichen des gewünschten Flugplatzes benötigen, fügen wir immer eine Höhenreserve zu unserem Ergebnis. Diese zusätzliche Höhe erlaubt uns eine anständige Volte zu fliegen. Die meisten Piloten rechnen hier mit 300 Meter. Sie kann aber variieren und ist abhängig von der Erfahrung des Piloten, den örtlichen Gegebenheiten und den meteorologischen Bedingungen. Wir berechnen nun also die „Ankunftshöhe“ die sich aus der Höhe des Flugplatzes über Meer und der hier beschriebenen Höhenreserve zusammensetzt.

Ankunftshöhe = Höhe des Flugplatzes + Höhenreserve:





30.3.3 Einteilung der Höhe über Grund: Beispiel

Soeben haben wir gesehen, wie wir die **Ankunftshöhe** ermitteln. Ebenso die Höhe, die wir benötigen um eine gewisse Distanz zurückzulegen. Hier nun ein praktisches Beispiel:

Ausgangswerte:

Flugplatzhöhe:	670 m
Distanz zum Flugplatz:	35 km
Gleitzahl:	20

Wir erhalten:

$$\begin{aligned} \text{Ankunftshöhe:} &= \text{Flugplatzhöhe} + \text{Höhenreserve} \\ &= 670 + 300 = 970 \text{ m (also «gut» 1000 m)} \end{aligned}$$

Nötige Höhe um die 35 km zurückzulegen:

$$\begin{aligned} &= \text{Horizontaldistanz} : \text{Gleitzahl} \\ &= 35 : 20 = 1.75 \text{ km} = 1750 \text{ m} \end{aligned}$$

Nötige Höhe um (ohne weiteren Aufwind) zum Flugplatz zu gelangen:

$$\begin{aligned} &= \text{Ankunftshöhe} + \text{Nötige Höhe (für die 35 km)} \\ &= 1000 + 1750 = \mathbf{2750 \text{ m}} \end{aligned}$$

30.3.4 Der Streckenflug

Im Streckenflug geht es zwar darum die grösstmögliche Distanz raschmöglichst zurückzulegen. Es geht aber auch darum bei diesem Unternehmen Freude zu haben. Und dies alles gelingt nur dann, wenn wir **SICHER** fliegen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen wir uns einige Regeln merken (und in der Praxis auch befolgen!), die für die Sicherheit von entscheidender Bedeutung sind.

Streckenflug heisst:

..... Im Aufwind zu **steigen** und dann die so gewonnene Höhe nutzen um im **Gleitflug** den nächsten Aufwind zu erreichen.....

.... und zwar so, dass wir während diesem Abgleiten jederzeit eine minimale Höhe einhalten, die das Erreichen eines **Landeplatzes** sicher ermöglicht und

..... dies alles auf einer Strecke, die wir aufgrund der **meteorologischen Bedingungen** gewählt haben. Selbstverständlich halten wir dabei jederzeit die bestehenden **Vorschriften** (Luftraum, FAI-Code sportif etc.) ein.

30.3.5 Einflüsse auf die Gleitzahl

Die **beste Gleitzahl** eines Segelflugzeugs gilt nur für eine bestimmte Geschwindigkeit, einer bestimmten Flächenbelastung und in **ruhiger Luft**. Sobald sich die umgebende Luftmasse (in der wir fliegen) bewegt (vertikal und/oder horizontal) ändert die Gleitzahl ganz beträchtlich.

Um den Einfluss dieser Einwirkungen zu verstehen, können wir die Geschwindigkeitspolare unseres Flugzeugs nehmen und sie um die entsprechenden Achsen verschieben. Wenn man die Werte in eine Liste überträgt, kommt man zu den folgenden Resultaten:

Einfluss der vertikalen Bewegungen der umgebenden Luftmassen (Auf- und Abwind)

In der nachfolgenden Tabelle zeigen wir die maximal erreichbare Gleitzahl in verschiedenen bewegten Luftmassen (Steigen, Sinken). Ebenso die Geschwindigkeit, die geflogen werden muss, um diese bestmögliche Gleitzahl unter der jeweiligen Bedingung zu erreichen.

Vertikalbewegung der Luftmasse (m/Sec.)	Vertikalbewegung des Flugzeugs (m/Sec.)	bestmögliche Gleitzahl	zu fliegende Geschwindigkeit (km/h) (Sollfahrt)
0.0	-0.6	41.5	94
- 1.0	-1.8	17.5	115
- 2.0	-3.30	11.5	137
+ 0.3	-0.3	76	85
+ 0.6	0	∞	83

Wir stellen fest, dass in einem Abwind von 1 m/Sec. unsere beste Gleitzahl von **41.5** auf **17.5** reduziert wird! Daraus können wir ableiten, dass – wenn wir auf dem ganzen Weg diesen Abwind vorfinden - wir unseren Landeplatz nicht erreichen werden, wenn wir bei der Berechnung der Ankunftshöhe mit einer Gleitzahl von 20 gerechnet haben. Glücklicherweise kommt es selten vor, dass wir uns ausschliesslich in einer absinkenden Luftmasse bewegen.

Einfluss der horizontalen Bewegungen der umgebenden Luftmassen (Gegen- / Rückenwind)

Die nachfolgende Tabelle zeigt uns die bestmöglichen Gleitzahlen in Abhängigkeit der horizontalen Bewegung der uns umgebenden Luftmasse (Wind). Wir können daraus auch die Geschwindigkeit herauslesen, die für das Erreichen dieser bestmöglichen Gleitzahl geflogen werden muss. Und nicht zuletzt: unsere Geschwindigkeit über Grund:

Wind (km/h)	bestmögliche Gleitzahl	zu fliegende Geschwindigkeit (km/h) (Sollfahrt)	Geschwindigkeit über Grund (km/h)
0	41.5	94	94
- 20	32	95	75
- 40	24	103	63
- 60	19	115	55
+ 40	58	88	128

Das Vorzeichen (-) steht für Gegen-, das Vorzeichen (+) für Rückenwind. Wir stellen fest, dass der Windeinfluss nicht vernachlässigt werden darf. Auch hier reduziert sich die beste Gleitzahl bei Gegenwind ganz beträchtlich. Windstärken von 60 km/h sind zwar selten; solche von 20 km/h kommen aber schon vor. Und hier stellen wir fest, dass wir bei Gegenwind bereits rund 10 Punkte von der besten Gleitzahl „abgeben“ müssen !

Denken wir dabei auch an die Auswirkungen von Gewittern: Hier kumulieren wir unter Umständen alles: Abwind, Gegenwind und – damit's nicht langweilig wird – regennasse Flügel!

Wir zählen alle diese Punkte nicht auf, um dir Angst zu machen. Im Gegenteil: Wir möchten, dass du die Auswirkungen dieser Einflüsse kennst und deshalb einen **Flugstil** anwendest, der es dir erlaubt, jederzeit sicher zu fliegen und böse Überraschungen im voraus zu vermeiden.

30.3.6 Mit der besten Gleitzahl fliegen

Bei Auf- und Abwinden

Du hast sicher schon von der **Sollfahrttheorie** des Amerikaner Paul Mc Cready gehört. Er hat in den 50-er Jahren aufgezeigt, dass wir in Auf- und Abwinden unterschiedlich schnell fliegen müssen, damit wir die bestmögliche Gleitzahl erreichen können. Zudem hat er für die praktische Anwendung seinerzeit den sogenannten „Mc Cready-Ring“ entwickelt. Es handelt sich dabei um einen Ring, der auf das (kompensierte) Variometer montiert wird. Er ist drehbar und an seinem Rand können wir die für die aktuelle Vario-Anzeige jeweils „beste“ Geschwindigkeit ablesen (und nachfliegen). Im heutigen Elektronik-Zeitalter finden wir diesen Ring nicht mehr überall. Er wird ersetzt durch eine Funktion in unserem Bord-Computer, der aber die genau gleichen Überlegungen zu Grunde liegen. Die Sollfahrt wird dann eben nicht am Ring, sondern am Display unseres Informationssystems abgelesen (und meist auch akustisch hörbar gemacht).

Elektronisch oder mechanisch: Beim „Mc Cready-Fliegen“ müssen die folgenden Punkte beachtet werden:

- Nicht sofort jedem Anzeigewechsel folgen. Lass dem Instrument Zeit, sich zu stabilisieren
- Folge der Anzeige mit einer «weichen» Steuerführung. Jeder bruske Steuerausschlag hat einen „Bremseffekt“ zur Folge.
- bei nassen Flügeln kann den Angaben unter Umständen nicht nachgeflogen werden. Aufgrund der effektiv schlechteren Gleitzahl verführt uns das Instrument (das ja mit der „normalen“ Polare rechnet) zu schnellem Fliegen. Denn das durch die nassen Flügel verursachte stärkere Sinken wird vom Instrument als „Abwind“ interpretiert. Wenn wir das vergessen, dann kann es sein, dass die ganze Übung entweder mit dem Erreichen der V_{NE} oder am Boden endet.

Bei Windeinfluss (Gegenwind)

Auch für diese Betrachtung halten wir uns an das Mc Cready-Modell. Um bei Windeinfluss die bestmögliche Gleitzahl zu erreichen, stellen wir unseren Ring auf einen etwas höheren Wert. Die Differenz entspricht (bei Gegenwind) einem errechneten Zusatzsinken. Bei Rückenwind fliegen wir mit der Einstellung Null: ein Anpassen der Einstellung hat bei Rückenwind einen vernachlässigbar kleinen Einfluss.

Hier einige Beispiele, in denen der Gegenwindeinfluss auf „Steigwerte“ umgerechnet wurde*. Es handelt sich dabei um empirisch ermittelte Werte:

Windkomponente (Ring wird um diesen Werte „nach oben“ gedreht)	Flugzeug hat eine beste Gleitzahl von 35 oder weniger als 35 (Astir, Ask,...)	Flugzeug hat eine beste Gleitzahl zwischen 35 und 45 (Discus, Pégase, ...)	Flugzeug hat eine beste Gleitzahl von mehr als 45 (DG500, ...)
0.5	30 km/h	40 km/h	50 km/h
1.0	50 km/h	60 km/h	70 km/h
2.0	70 km/h	80 km/h	90 km/h

* Bei modernen Bord-Computern wird einfach die Windkomponente eingegeben. Diese wird dann vom System beim Ermitteln der Sollfahrt automatisch in die Berechnungen einbezogen. Ein Anpassen des Steigwerts ist bei solchen Anlagen also nicht nötig.

Verhältnis Gleitzahl / Reichweite

Das Verhältnis der Gleitzahl in bezug auf Ihre Höhe über Grund ergibt eine gewisse **Reichweite**. Diese Reichweite erlaubt es dir:

- zur nächsten Aufwindzone vorzufliegen (Cumulus, Hang etc.) um deinem Ziel (Wendeort oder Flugplatz) näher zu kommen
- sicherzustellen, dass du jederzeit ein Landefeld erreichen kannst.

Mit welcher Gleitzahl arbeiten wir in der Praxis

In Bezug auf die **Sicherheit** arbeiten wir mit einer Gleitzahl die sicherstellt, dass wir **jederzeit** in der Reichweite eines Landeplatzes fliegen. („Sicherheits-Gleitzahl“)

Mit der **effektiven** Gleitzahl arbeiten wir nur dann, wenn **sichergestellt** ist, dass wir auch mit unserer oben beschriebenen „Sicherheits-Gleitzahl“ **einen Landeplatz erreichen** können.

30.3.7 Verschiedene Gleitzahlen / „Trichterfliegen“

In der Umgebung eines Landeplatzes (d.h. im unteren Höhenband)

- bleiben in **Sichtweite** des Landeplatzes und ...
- rechnen mit einer Gleitzahl von **10**.

In der weiteren Umgebung eines Landeplatzes (d.h. im mittleren Höhenband)

- hier kann die Gleitzahl nur schwer durch Sichtkontakt abgeschätzt werden
- wir rechnen mit einer Gleitzahl von **20**.

Im oberen Höhenband

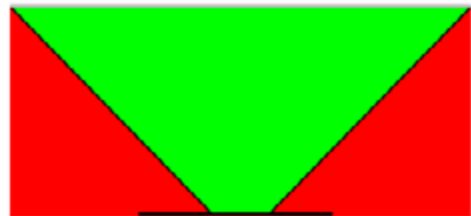
- hier kann die Gleitzahl nur noch errechnet werden (für das menschliche Auge sind die Winkel zu klein)
- wir rechnen mit einer Gleitzahl, die nahe der besten Gleitzahl liegt. Dabei berücksichtigen wir die aktuellen Verhältnisse (Auf- und Abwinde, Wind und Relief)

Auf einem Streckenflug werden wir diese drei Typen von Gleitzahlberechnungen abwechselnd in Abhängigkeit des Höhenbands in dem wir fliegen anwenden.

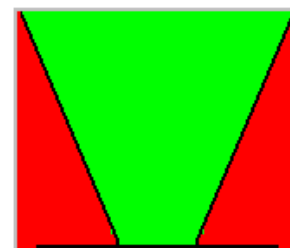
Wenn wir uns das Verhältnis „Höhe“ / „Distanz“ optisch vorstellen, dann erhalten wir eine Form, die wie ein „**Trichter**“ aussieht:

Beispiele:

Form des „Trichters“, wenn wir mit einer Gleitzahl von **20** rechnen (z.B. im „mittleren“ Höhenband)

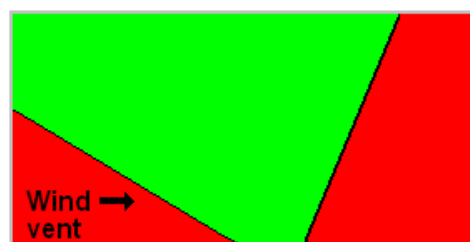


Gleicher „Trichter“ bei einer Gleitzahl von **10** (z.B. in Umgebung des Landeplatzes)



etc.

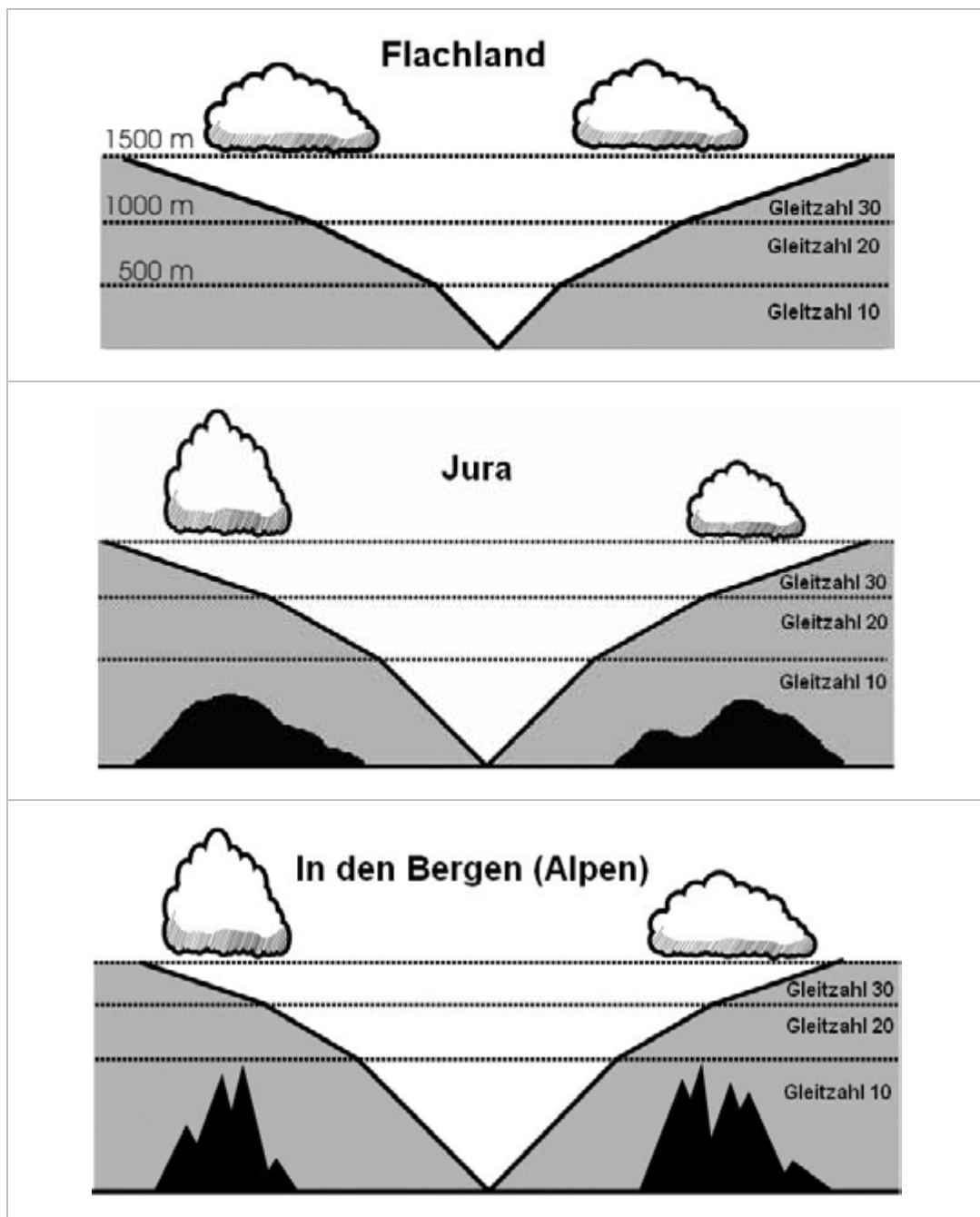
Aber **ACHTUNG**: Der **Wind** hat natürlich einen entscheidenden Einfluss auf die Form unseres „Trichters“! Und das müssen wir uns so vorstellen:



30.3.8 Die drei Höhenbänder

Wir gliedern den vertikalen Luftraum, in welchem wir Aufwinde vorfinden, in drei Bänder. Dabei ist die Höhe eines jeden Bandes abhängig:

- vom Relief
- von den Landemöglichkeiten
- von der Wolkenuntergrenze
- von den meteorologischen Bedingungen und
- von den Fähigkeiten des Piloten



30.3.9 Die drei Höhenbänder: Definition

Das obere Höhenband

- **Im Flachland:** Oberstes Drittel der nutzbaren Konvektionshöhe*
- **In den Bergen und im Jura:** relativ hoch über den Kreten
- **Flugtaktik:**
 - wir rechnen mit einer Gleitzahl, die nahe der besten Gleitzahl liegt, aber immer mit einer genügenden Sicherheitsmarge
 - Wir versuchen rasch vorwärts zu kommen (wir fliegen schnell) und nutzen nur die starken Aufwinde
 - Vorsicht: Bei zu grossem Optimismus befinden wir uns rasch ein Stockwerk tiefer. Vor allem dann, wenn wir nicht bemerken, dass sich die meteorologischen Bedingungen verschlechtern.

Das mittlere Höhenband

- **Im Flachland:** Das mittlere Drittel der nutzbaren Konvektionshöhe
- **In den Bergen:** Knapp über der Krete (aber so, dass wir die Kretenseite auf der wir fliegen wollen, noch wählen können)
- **Im Jura:** Einige hundert Meter über den Kreten (die Hänge sind hier zum Teil flach und wir wollen auch hier die Möglichkeit offen halten, die Kretenseite zu wechseln).
- **Flugtaktik:**
 - Wir fliegen nach den Regeln für das mittlere Höhenband und erhöhen unsere Sicherheitsmarge
 - Wir fliegen möglichst wirtschaftlich (Mc Cready Ring wird auf Null gestellt) und fliegen vorsichtig weiter. Ab jetzt rechnen wir mit einer Gleitzahl von 20. Wenn wir Wasserballast dabei haben, entleeren wir die Tanks ein wenig. In jedem Fall suchen wir Aufwinde, die uns in das obere Höhenband zurückbringen.

Das untere Höhenband

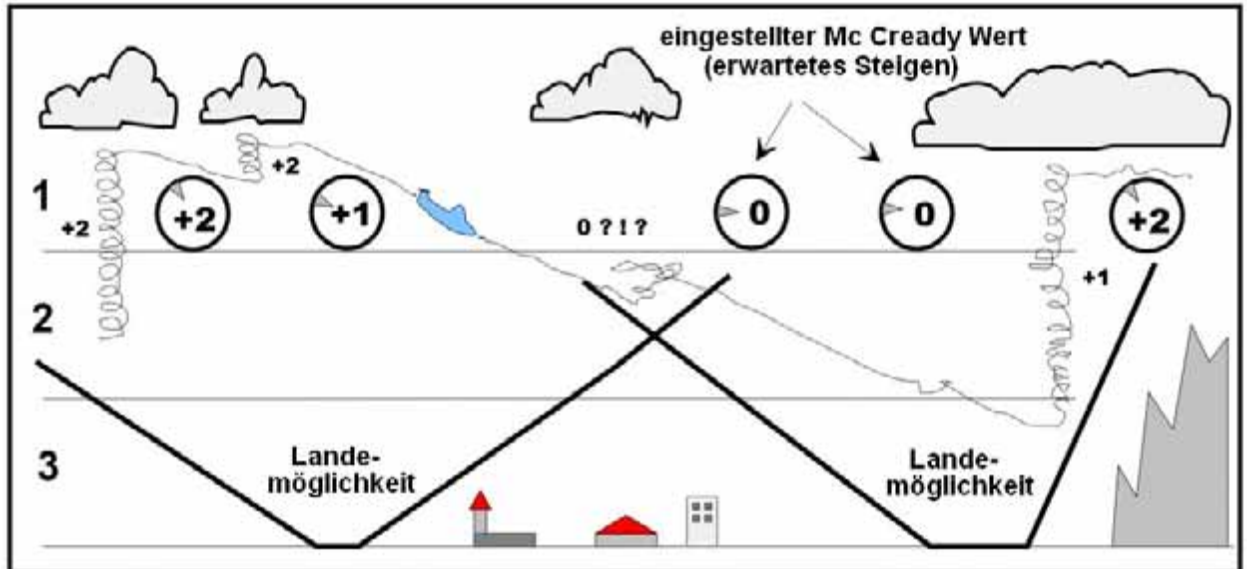
- **Im Flachland:** unteres Drittel der nutzbaren Konvektionshöhe
- **In den Bergen und im Jura:** unterhalb der Kreten
- **Flugtaktik:**
 - Wir stellen zwingend sicher, dass wir das nächste Landefeld erreichen können. Und zwar mit genügend Sicherheitsreserven
 - Wir nehmen jedes Steigen an. Es geht jetzt nicht mehr darum vorwärts zu kommen, sondern darum oben zu bleiben und höher zu steigen. Allfälliger Wasserballast wird vollständig geleert. Wir bleiben in der Nähe des Landeplatzes und warten (hoffen) auf eine Besserung der Wetterbedingungen

Je nach Wetterbedingungen und/oder Relief kann es sein, dass nicht alle dieser drei Höhenbänder vorkommen. Wenn sich zum Beispiel die Wolkenbasis in den Bergen unter der Kretenhöhe befindet, dann kommt nur der Flug im unteren Höhenband in Frage.

* Unter Konvektionshöhe versteht man die gesamte vertikale Ausdehnung der Konvektion. Darin ist also auch die vertikale Ausdehnung einer allfälligen Wolke enthalten. Wenn wir hier von „nutzbarer Konvektionshöhe“ sprechen, dann meinen wir die Höhe bis zur Wolkenbasis (so es Wolken hat!).

30.3.10 Von einer Landemöglichkeit zur nächsten

Um sicher zu fliegen, genügt es, wenn wir in der gewünschten Richtung von einer Landemöglichkeit zur nächsten fliegen. Schauen wir uns an, wie dies aussieht:



Ein wichtiger Grundsatz: Versuchen vorauszusehen, was kommt !

Die Initiative über den Flug zu behalten bedeutet vorherzusehen, was kommt.

Beobachtung - Analyse - Entscheidung

Wir versuchen uns jederzeit im Klaren zu sein über:

- mindestens 2 Optionen um wieder hochzukommen:
 - Cumulus 1 und Cumulus 2
 - Cumulus und Hang
 - Hang und Rotor
- eine Möglichkeit um im schlimmsten Fall ein Landefeld zu erreichen (unter Beachtung der Regeln der drei Höhenbänder).

30.3.10 Flugtaktik: Schlussfolgerungen

Mit den drei Höhenbändern arbeiten

- je tiefer man ist, um so zurückhaltender muss man fliegen. Deshalb verringern wir auch unsere (Sicherheits-)Gleitzahl mit abnehmender Flughöhe über Grund
- je länger wir geradeaus fliegen, um so mehr wird sich die Bilanz der Auf- und Abwinde ausgleichen und gegen Null tendieren

Sicher fliegen

- eine Landemöglichkeit muss **zu jedem Zeitpunkt** mit der verfügbaren Höhe sicher angefliegen werden können.
- Man verlässt den Bereich einer Landemöglichkeit nicht, bevor sichergestellt ist, dass der Bereich der nächsten Landemöglichkeiten sicher erreicht werden kann.
- Dieselben Regeln sind auch für den Endanflug einzuhalten

Bemerkungen

- Das Beherrschen und Sicherstellen, immer über genügend Reserven zu verfügen, hängt auch mit der individuellen Erfahrung des Piloten zusammen. Im Zweifelsfall wählen wir immer die „sichere Seite“!
- Fliege nie einem Piloten nach indem du dir sagst « ... wenn der dort hin fliegt, dann kann ich das auch ... ! » Vielleicht hat der Pilot, dem du folgst eine bessere Erfahrung und/oder eine bessere Maschine. Oder – auch das kommt gelegentlich vor – er hat überhaupt nichts überlegt und führt dich in eine kritische Situation. **Du** bist der Pilot: **Deshalb entscheidest du !**
- Trotzdem: Wenn du dich in einer kritischen Situation befindest, schaue rechtzeitig, ob dir jemand helfen kann. Warte nicht bis du auf 300 m/Grund über einem unlandbaren Gebiet „hängst“. Vielleicht hört dich jemand, der mehr Erfahrung hat und dir einen guten Tipp geben kann. Allerdings triffst du auch hier den letzten Entscheid immer selbst! (Am besten ist es natürlich so zu fliegen, dass man nicht in eine solche Situation gerät).