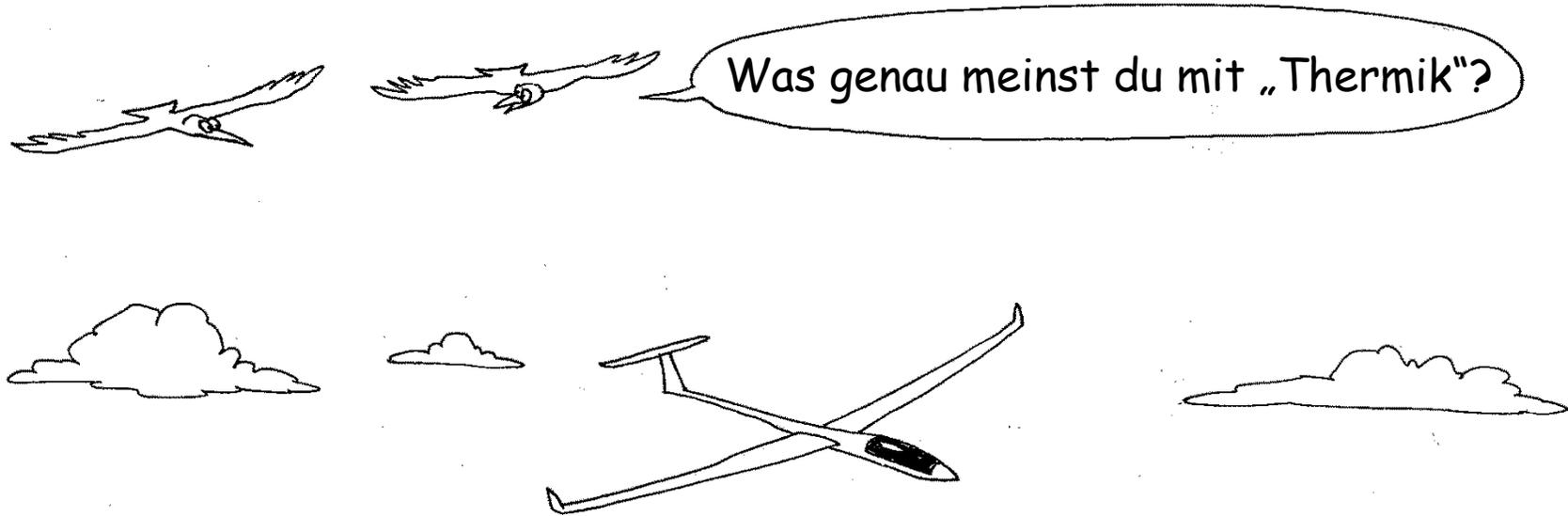


<http://savoir-sans-frontieres.com>



Jean-Pierre Petit, 2008

Flugmechanik

Übersetzung: Hendrik Ditt
Anregungen, Fehler,
Verbesserungen an:
Hendrik.Ditt@web.de



Wissen ohne Grenzen

Gemeinnützige Vereinigung, die 2005 gegründet wurde und von zwei französischen Wissenschaftlern geleitet wird. Ziel: Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse mit Hilfe des Bandes, das durch kostenlos herunterladbare PDFs gezogen wird. Im Jahr 2020: 565 Übersetzungen in 40 Sprachen wurden so erreicht. Mit mehr als 500.000 Downloads.



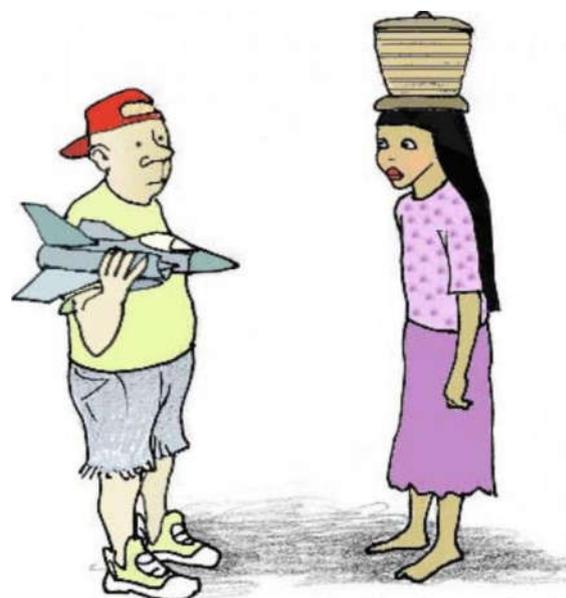
Jean-Pierre Petit

Gilles d'Agostini

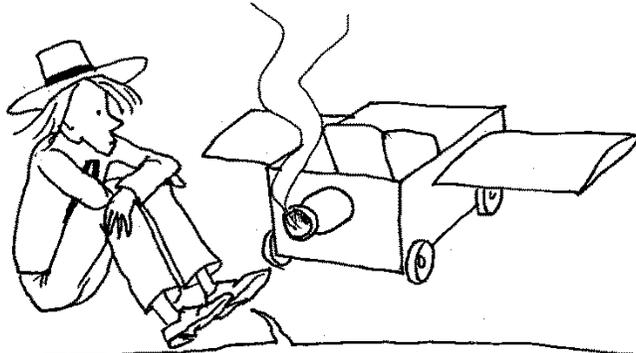
Die Vereinigung ist vollkommen freiwillig. Das Geld wird vollständig den Übersetzern gespendet.

Um eine Spende zu tätigen, verwenden Sie die PayPal-Schaltfläche auf der Startseite:

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>



GLEITEN

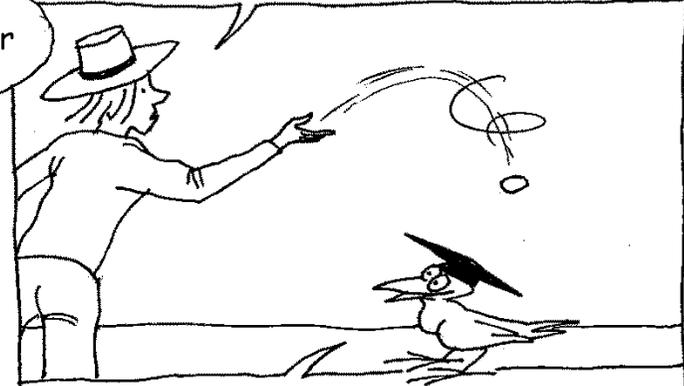


Der Raketenantrieb ist immer noch schwer, umweltschädlich und all das. Wie kann ich in der Luft bleiben, bis ich eine andere Maschinenkonstruktion habe?

Warum versuchst du es nicht mit der Schwerkraft?

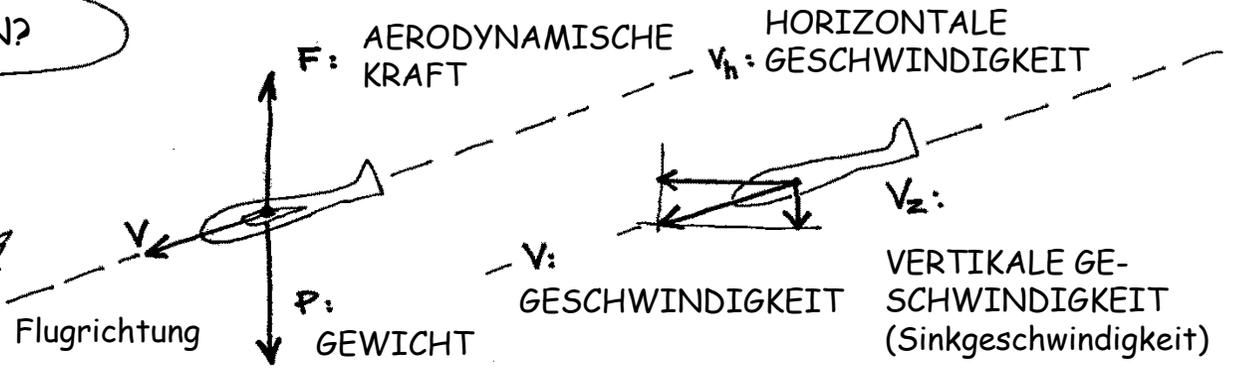


Schwerkraft? Aber das ist keine MASCHINE. Wenn ich einen Kiesel werfe, fällt er herunter, nichts anderes. Du willst das doch nicht fliegen nennen.



Du musst nicht wie ein Stein fallen. Durch GLEITEN kannst du dir Zeit lassen mit dem Herunterkommen.

Was meinst du mit GLEITEN?

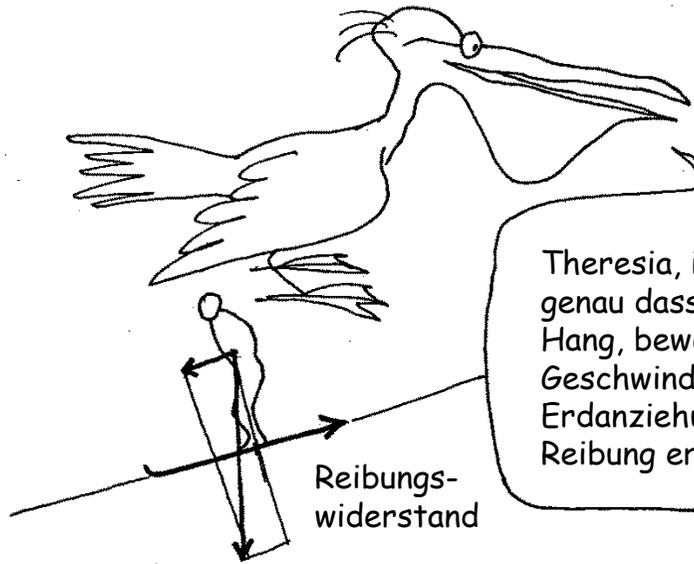
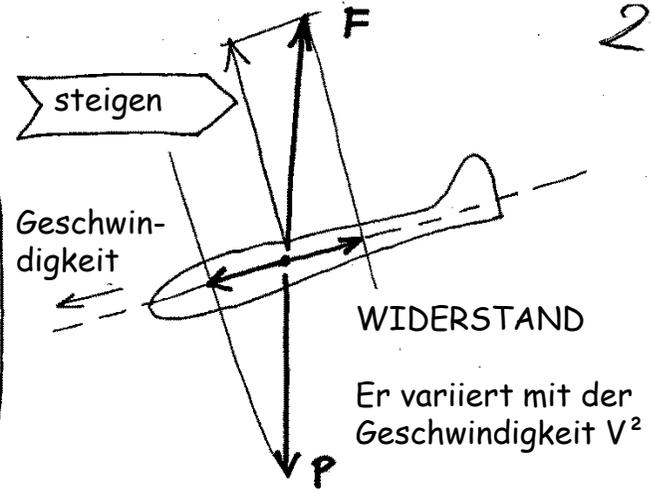


Wenn du dich mit der Geschwindigkeit V bewegst, kannst du durch FLÜGEL eine AERODYNAMISCHE KRAFT F erzeugen, die proportional zum Quadrat dieser Geschwindigkeit ist, V^2

Wenn ich deine Zeichnung richtig lese, dann ist das Gewicht P das exakte Gegenteil der Kraft F. Aber warum ist das so?



Denk mal nach: Die Zeichnung zeigt einen STATISCHEN FLUG mit konstanter Geschwindigkeit V mit dazu korrespondierendem Anstellwinkel α . Die Bewegung deines SEGELFLUGZEUGES* wird durch eine Widerstandskraft begleitet, die die treibende Komponente des Gewichts ausgleicht



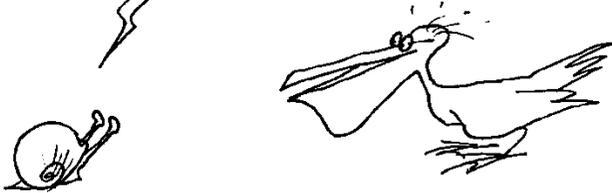
Also unter dem Strich bewegt dich dein eigenes Gewicht nach vorne. Das ist wirklich ein Wunder...



Theresia, ich weiß, du warst noch nie auf Skiern festgeschnallt, aber das ist genau dasselbe. Der Vektor des Gewichts der Skier, projiziert auf den Hang, bewegt sie vorwärts. Wenn man gleichmäßig mit konstanter Geschwindigkeit herunterfährt, gleicht sich die bewegende Kraft der Erdanziehung aus mit der REIBUNG der Skier auf dem Schnee; diese Reibung erhöht sich mit der Geschwindigkeit V .

(*) Auch „Gleiter“ genannt, auch wenn dieser Term meist für Hanggleiter oder Paragleiter verwendet wird. (Siehe auch Seite 5 und 26.)

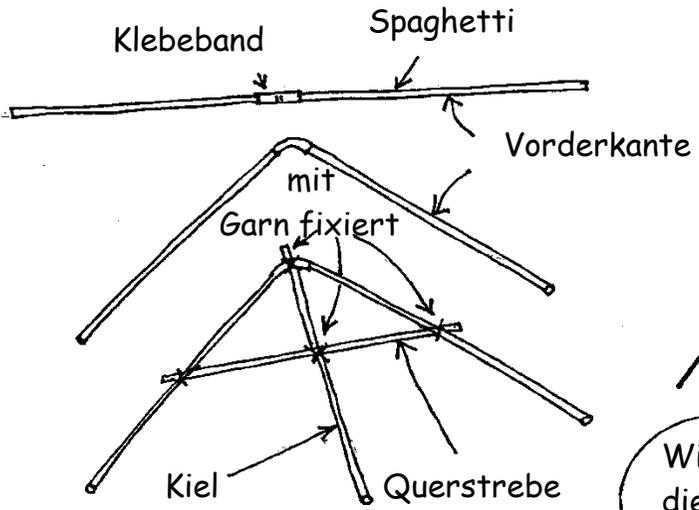
Hey Lenny, du hast auch noch nicht auf Skiern gestanden, oder!?



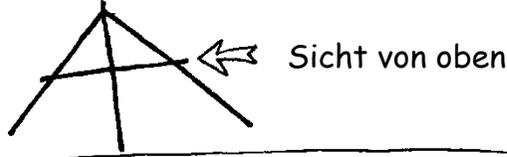
Schau Anselm, wir bauen eine sehr einfache Flugmaschine aus Papier, Klebeband, Spaghetti und einer Wäscheklammer



und eine Garnrolle

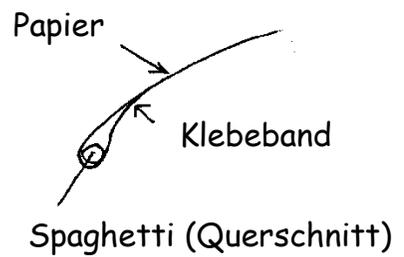
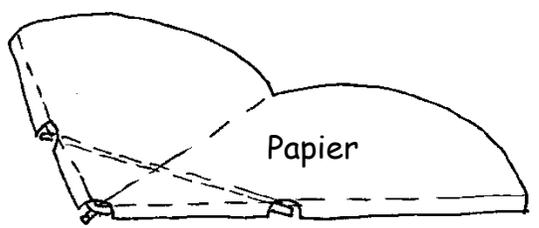
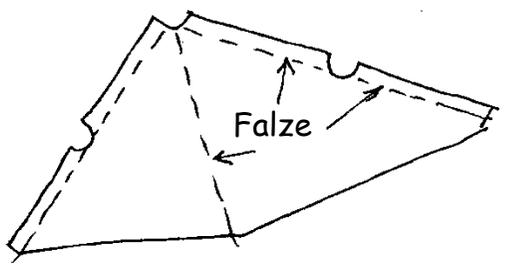


Frauensache ...

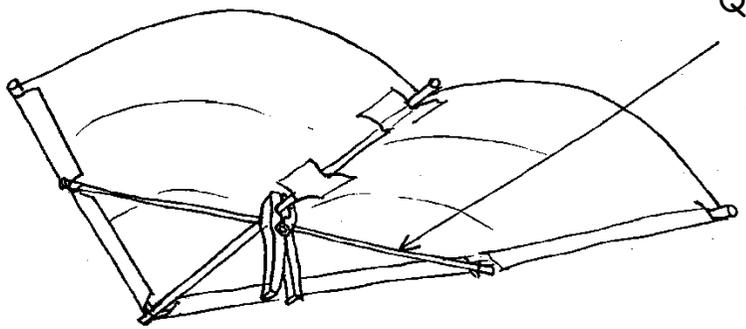


Wir werden das Gerüst aus Spaghetti bauen, die verbunden sind durch Klebeband und zusammengehalten werden durch Garn.

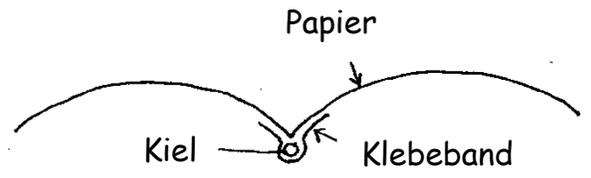
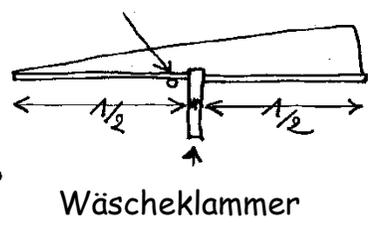




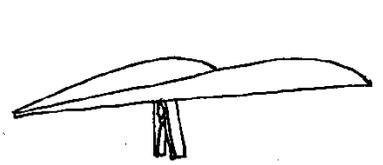
Befestigung der Flügel am Rahmen



Querstrebe



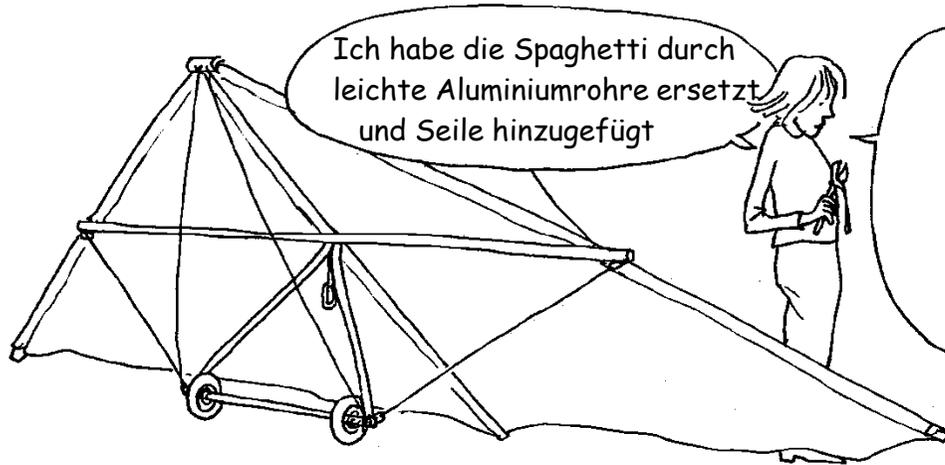
Es fliegt!



Du änderst die TRIMMUNG, in dem du die Wäscheklammer vor- oder zurück bewegst



HANGGLEITER

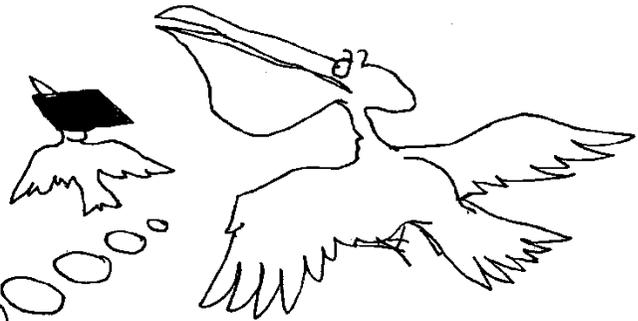


Ich habe die Spaghetti durch leichte Aluminiumrohre ersetzt und Seile hinzugefügt

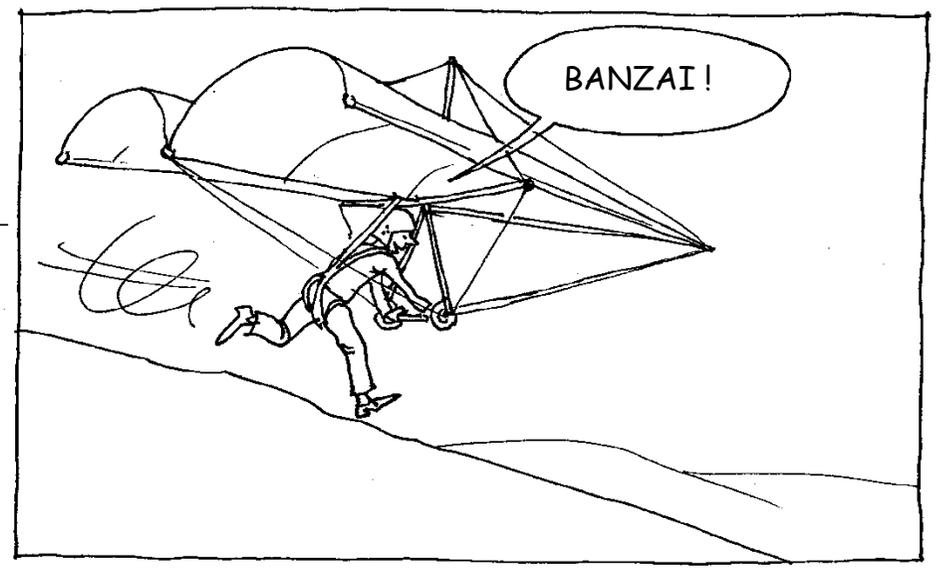
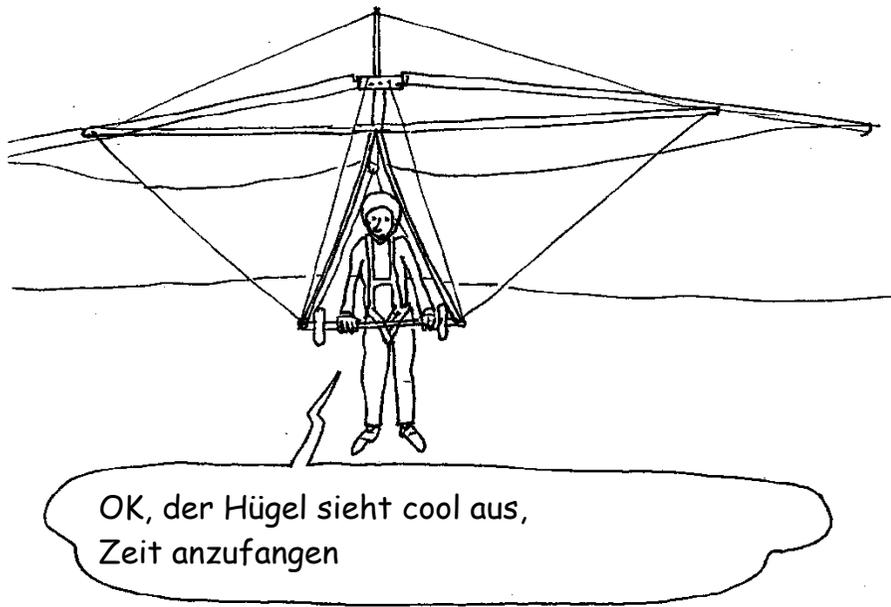
Da die Maschine durch die Wäscheklammer flog, muss ich nur diese ersetzen.. Ich habe einen Rahmen aus Rohren gebaut, die ein TRAPEZ bilden, das ich mit beiden Händen anfasse. So kann ich den Ballast, also mein Gewichte, nach vorne, hinten, rechts oder links verlagern, so wie gewünscht.

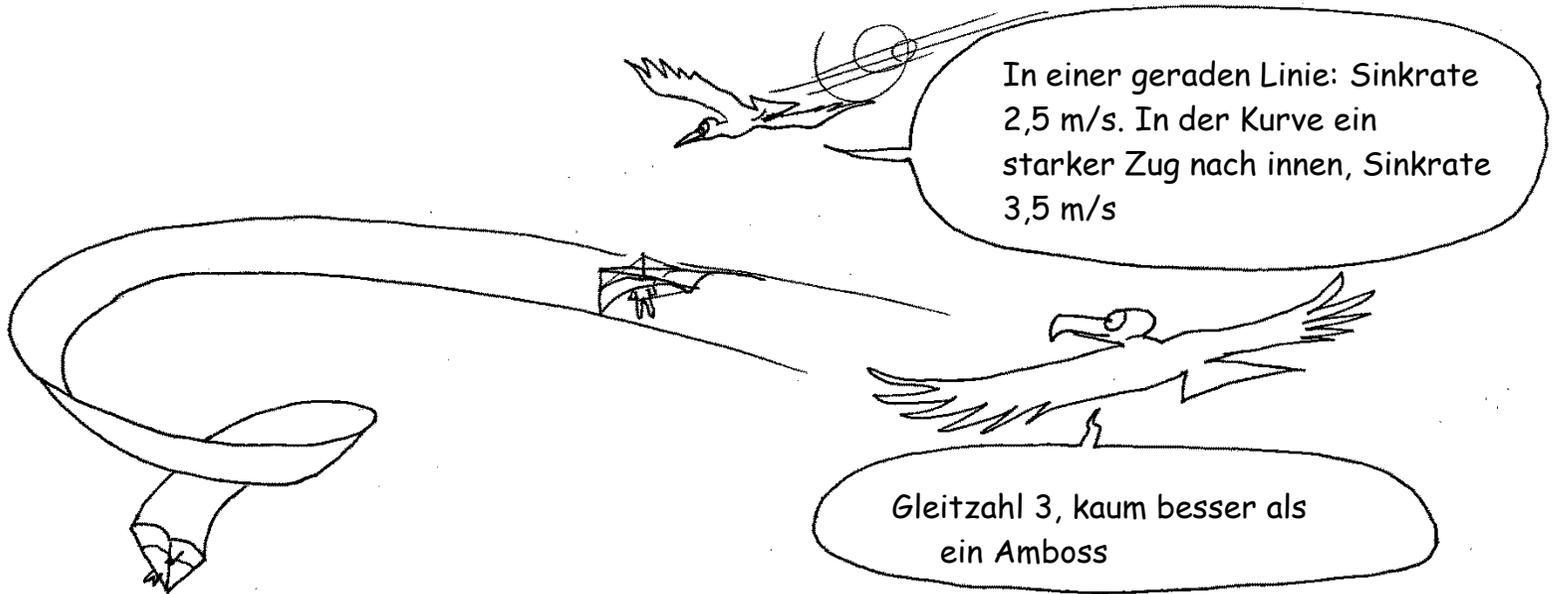
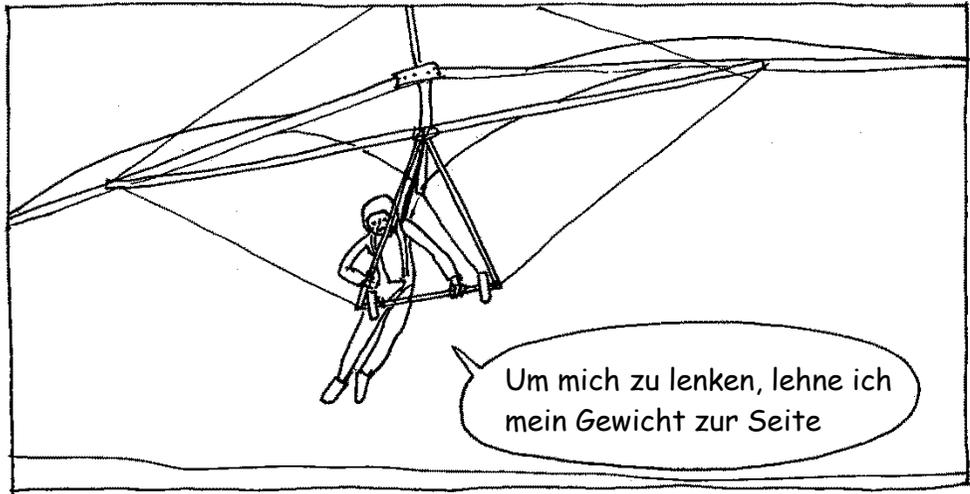
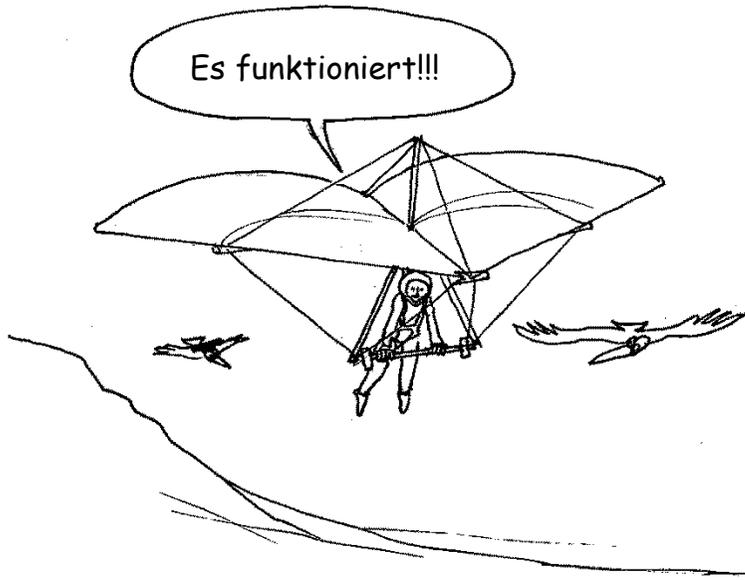
Wäre es nicht besser .., auf Sophie zu warten damit sie uns sagt, was sie davon hält?

Mein Gott, und mit dem Höllenapparat will er wirklich in die Luft gehen?



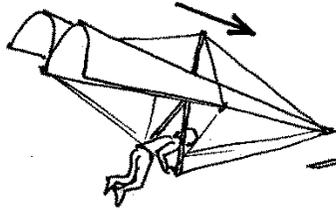
armer Junge ...





SELBST-STABILISIEREN

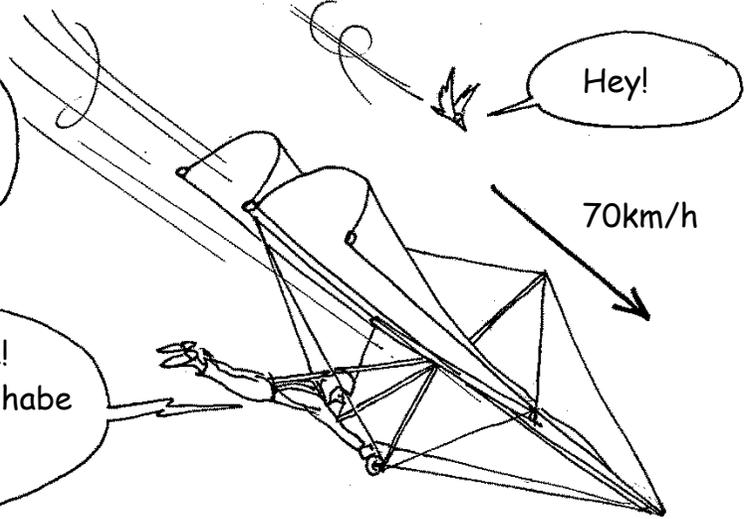
50 km/h



Gewicht nach vorne und ich gewinne *Geschwindigkeit*. Lasst uns sehen, wozu die Maschine gemacht ist!

Hey!

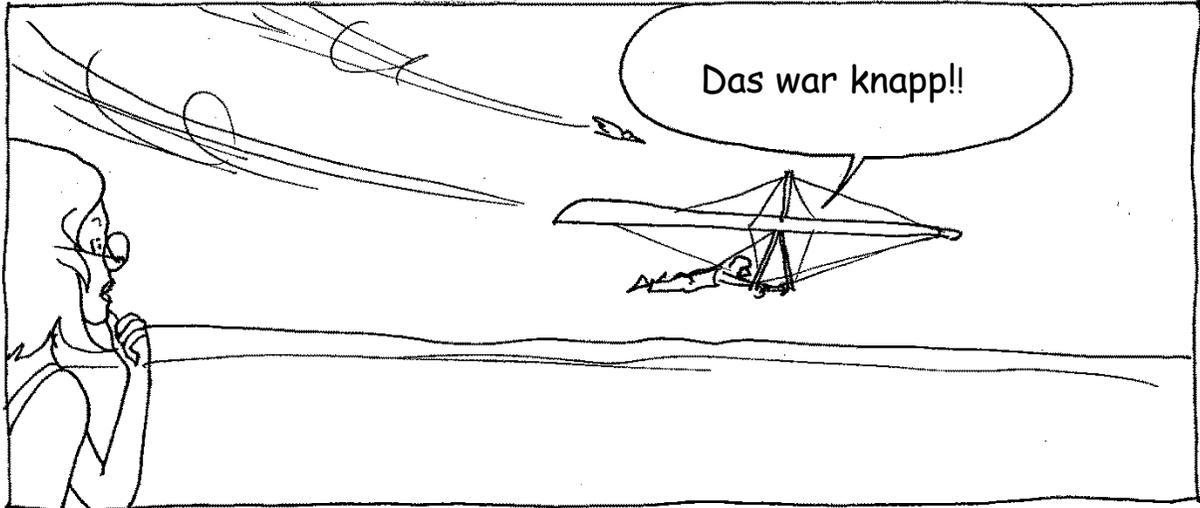
70km/h



VERDAMMT NOCH MAL!
Ich werde schneller und habe keine Möglichkeit abzubremsen

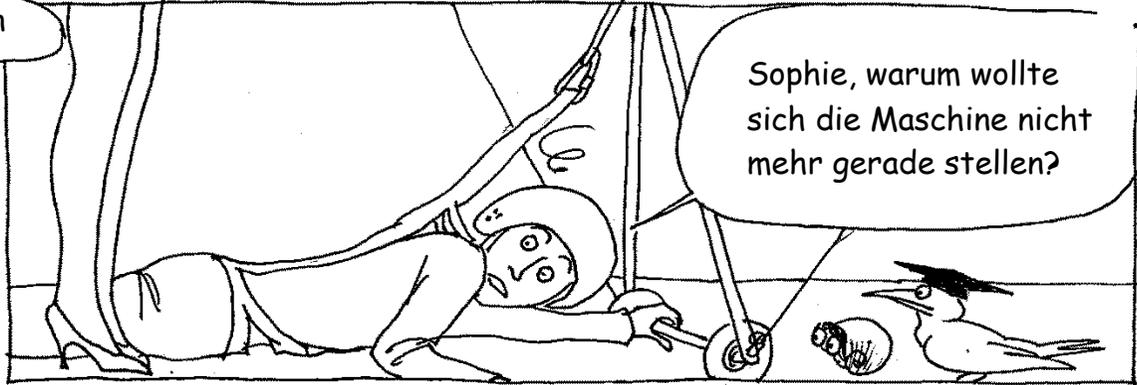
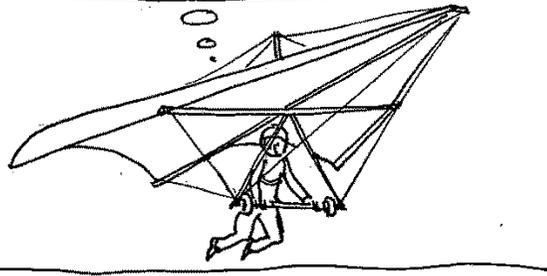


Ich habe mein ganzes Gewicht nach hinten gelegt, Arme gerade und bremsen nicht ab!!



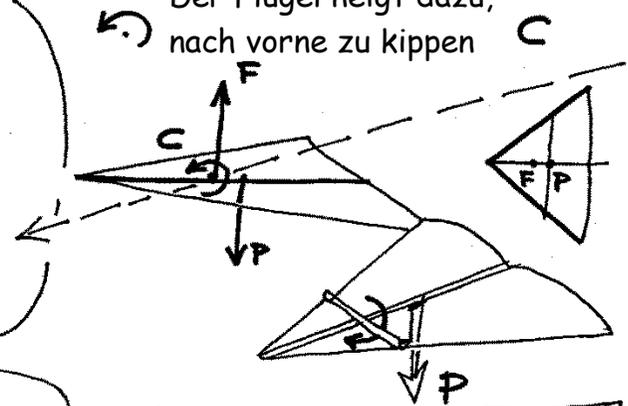
Das war knapp!!

Hochziehen um langsamer zu werden



Anselm, denke an den ersten Teil des Comics. AUFTRIEB gibt es nicht auf Kosten der Tendenz, im Sturzflug herunterzukommen; auf die eine oder andere Weise muss ein Gleichgewicht herrschen.. In deinem FLÜGEL DELTA bist du in der Mitte des Kiels befestigt, hinter der AERODYNAMISCHEN MITTE deines Flügels, der bei Hanggleitern 40% hinter der VORDERKANTE liegt.

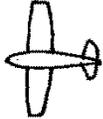
Der Flügel neigt dazu, nach vorne zu kippen



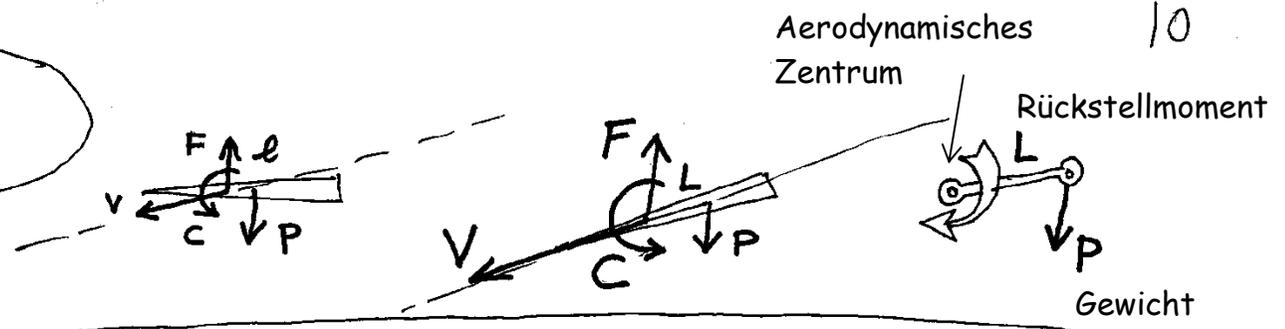
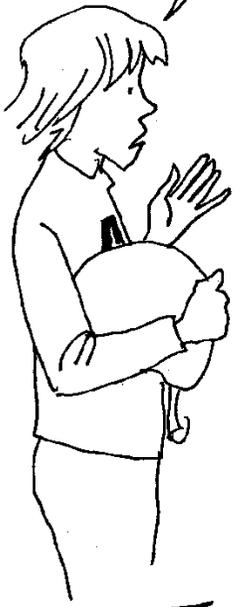
Die Verlagerung des Gewichtes P nach hinten schafft ein Gegenmoment, dass das aerodynamische Nickmoment ausgleicht.



(*) Bei GERADEN Flügeln wirkt die aerodynamische Kraft F 25% hinter der Vorderkante der Flügel



Aber warum wollte sich meine Maschine nicht gerade stellen?



Denk nach: Das Rückstellmoment ergibt sich aus dem Versatz deines Gewichtes: $L \times P$. Es gleicht sich aus mit dem Drehmoment C , das sich mit dem Quadrat der Geschwindigkeit V^2 ändert, wie alle aerodynamischen Kräfte (AUFTRIEB und WIDERSTAND), die zusammen die AERODYNAMISCHE KRAFT F (*) bilden und an dem AERODYNAMISCHEN ZENTRUM der Flügel angewendet werden. Wenn du also mit deinem Hanggleiter in den Sturzflug gehst und Geschwindigkeit gewinnst, bekommst du ein Drehmoment C (das sich auch mit V^2 ändert), das so groß ist, dass dein Gegenmoment $L \times P$ nicht in der Lage ist, dieses zu überwinden. (**)



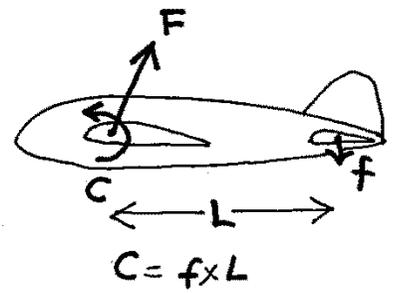
Anselm war nahe daran, den FLUGBEREICH zu verlassen und in einer UNKONTROLLIERBAREN Maschine zu sitzen!

Aber das ist furchtbar! Und was ist die Lösung dafür?

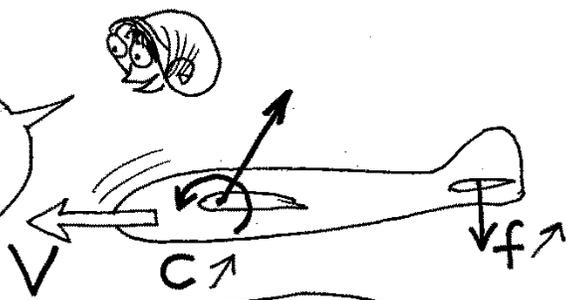


*) Einige Bücher nennen dies „resultierende aerodynamische Kraft, kurz R
 **) Ein mangelndes Bewusstsein dieser Gefahr verursachte in den 1970er Jahren viele Todesopfer

Ein aerodynamisches Problem braucht eine aerodynamische Lösung. Das war es, was Sophie Anselm im ersten Buch dieser Serie über die Flugzeuge mit HÖHENLEITWERKEN vorschlug.



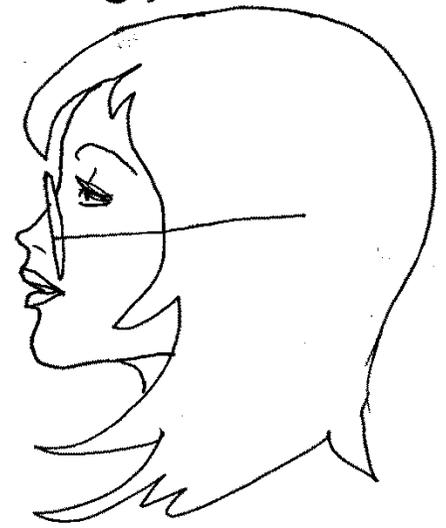
Dieses System ist auch SELBST-STABILISIEREND: Wenn die Geschwindigkeit zunimmt, neigt das Flugzeug dazu, sich nach vorne und unten zu drehen, da das Drehmoment (das mit V^2 wächst) größer wird. Aber das wird sofort ausgeglichen durch die zunehmende RÜCKSTELLKRAFT f

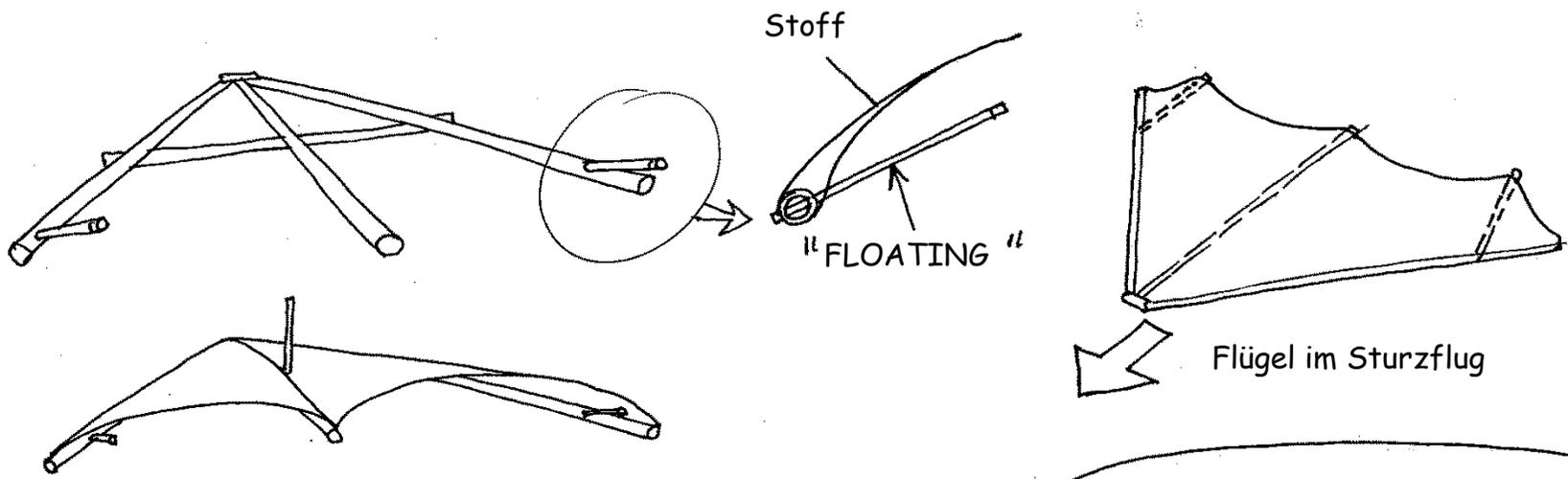


Also muss ich nur ein Höhenleitwerk an meinen Hanggleiter bauen?



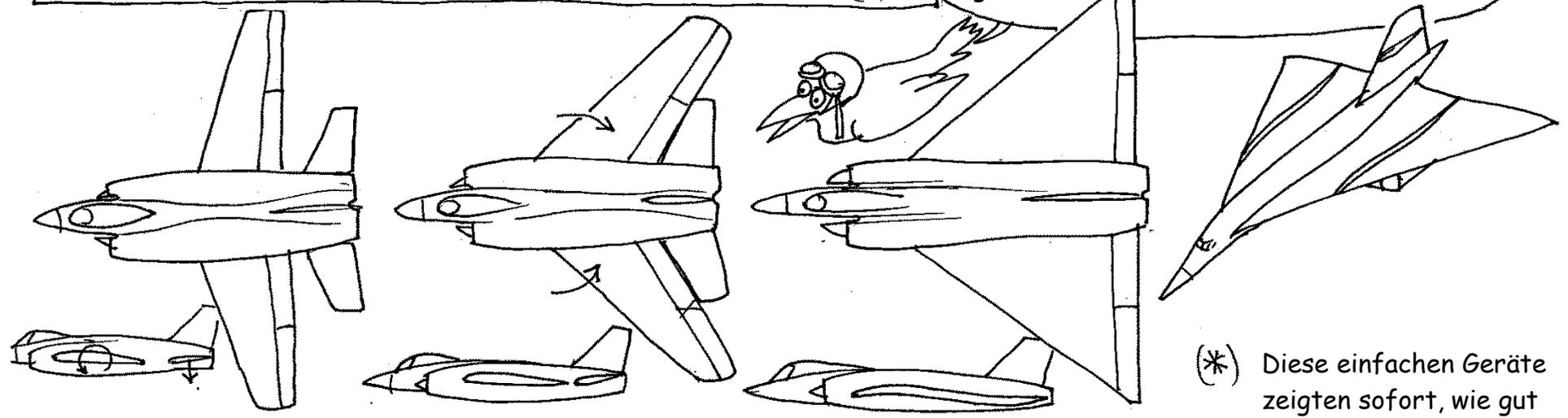
Du könntest es tatsächlich so machen, aber es gibt einen einfacheren Weg, deine Sicherheit zu garantieren.





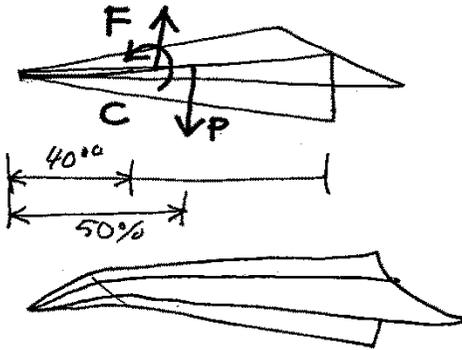
Diese Geräte, „FLOATINGS“ genannt, berühren im normalen Flug die Segel nicht, aber bei einer zu hohen Geschwindigkeit oder wenn die Nase gefährlich taucht, halten sie den hinteren Teil der Flügel oben und erzwingen so eine automatische Nivellierung.

Flugzeuge mit starren Deltaflügeln werden selbst-stabilisierend gemacht (mit einem Drehmoment = 0 fliegend), indem man das Höhenleitwerk mit den Hauptflügeln vereint und den Tragflächen eine S-förmige Form gibt.



(*) Diese einfachen Geräte zeigten sofort, wie gut sie arbeiten

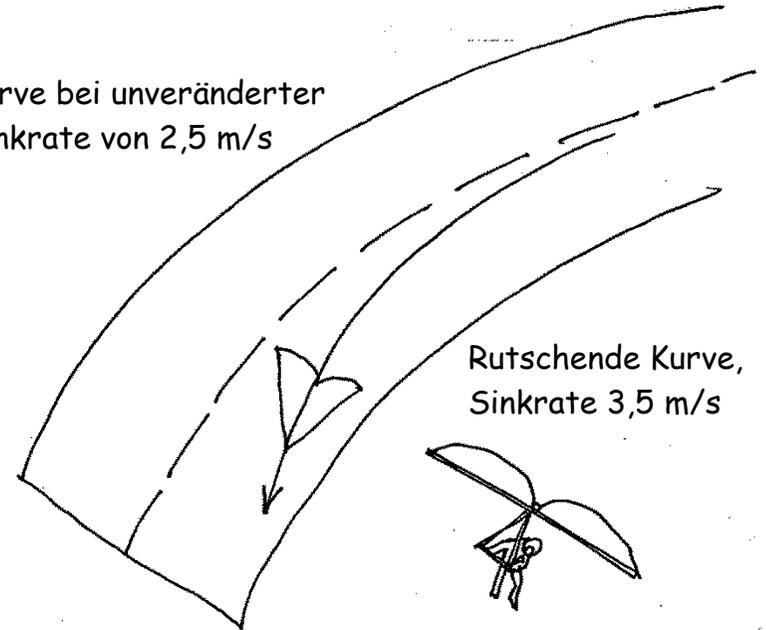
Ein traditionelles Papierflugzeug fliegt wie ein Hanggleiter. Der Schwerpunkt ist offensichtlich in der Mitte, wohingegen sich das AERODYNAMISCHE ZENTRUM bei 40% des Flügels befindet. Das Gegenmoment des



Gewichtes gleicht das Drehmoment des Auftriebs aus. Bei einem Sturzflug wird es sich nicht nivellieren. Du kannst die Flügel selbst-stabilisierend machen, indem du die Nase leicht herunterfaltest und den Schwanz leicht nach oben biegest. Dadurch wird der Flieger S-förmig und er fliegt (neben anderen Dingen) langsamer.

Das Management

Kurve bei unveränderter
Sinkrate von 2,5 m/s



Rutschende Kurve,
Sinkrate 3,5 m/s



Aber deine Maschine hat immer noch ein großes Manko: Um eine Kurve zu fliegen, musst du dein Gewicht in die Kurve legen, und das startet einen starken RUTSCH NACH INNEN, die SINKRATE steigt auf 3,5 m/s.

WIE FLIEGEN VÖGEL EINE KURVE?



Wir könnten ein Seitenleitwerk mit einem beweglichen Ruder anbringen. Aber Vögel und Fledermäuse haben so etwas auch nicht und trotzdem können alle enge Kurven fliegen. Wie machen die das nur?

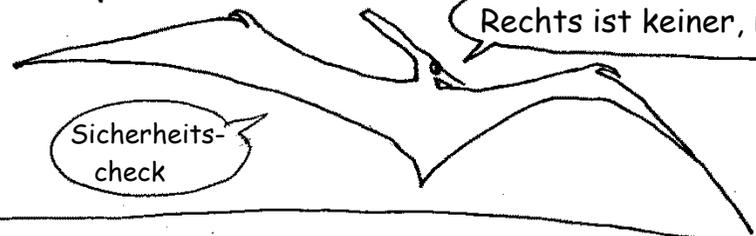
Ein Pterodaktylus, eine Fledermaus, ein Geier oder ein Spatz haben kein Seitenleitwerk, um eine Kurve zu fliegen.



Durch Verlängern des einen und Knicken des anderen Flügels erreichst du zweierlei: Der verlängerte Flügel hat dadurch seine Hinterkante tiefer, der gefaltete Flügel seine Kante höher.



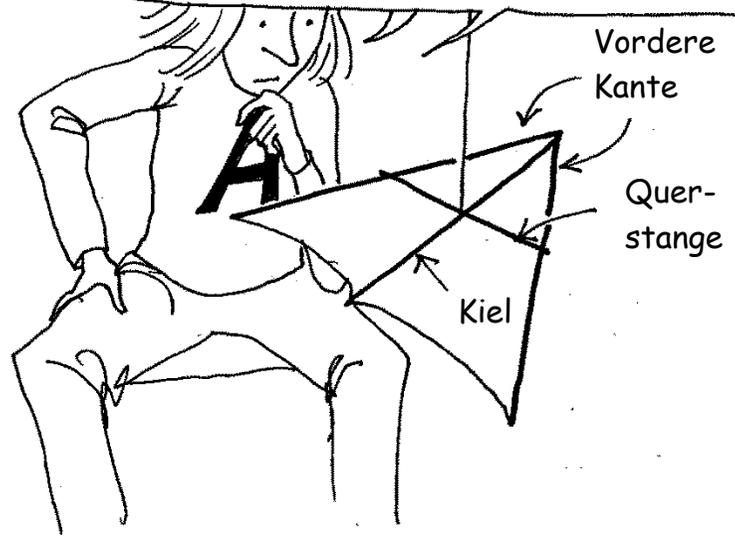
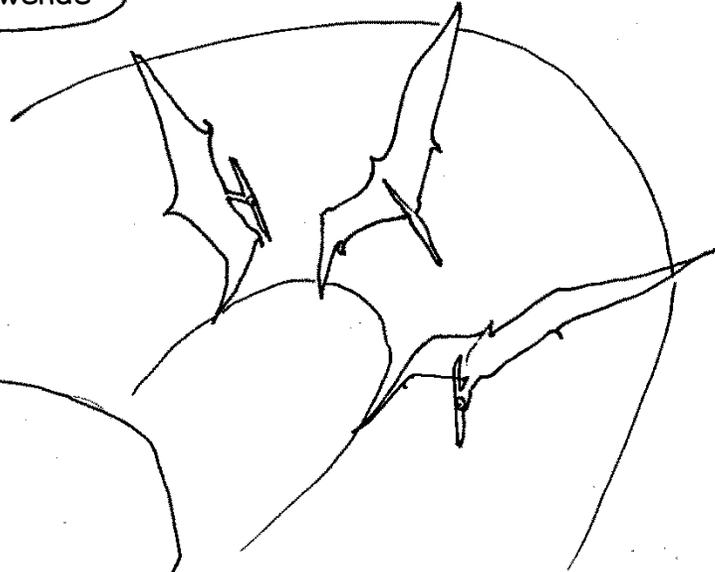
Pterodaktylus von hinten, in gerader Linie fliegend



Rechts ist keiner, ich wende

Sicherheitscheck

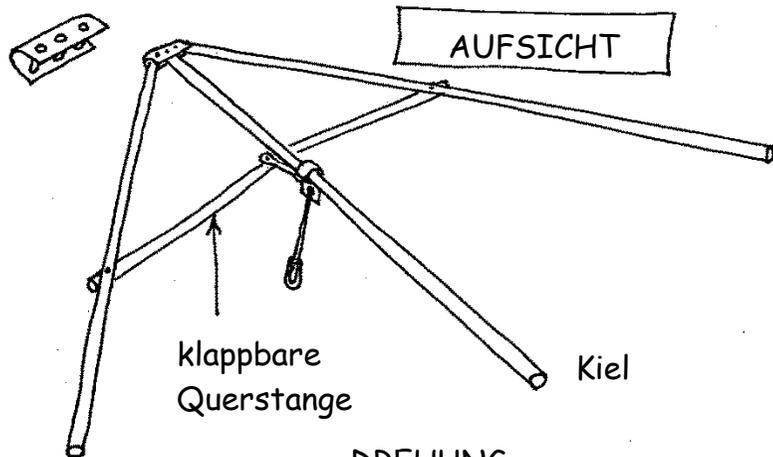
So weit, so gut. Aber wie kann ich einen Flügel verlängern und den anderen verkürzen, auch nur ein wenig?



Du musst nur den Kiel und die Quer- stange entkoppeln

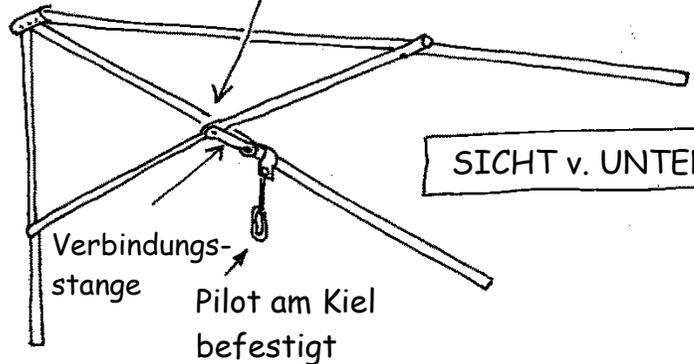
Nasenplatte

AUFSICHT



Querstangen
Scharnier

SICHT v. UNTEN



klappbare
Querstange

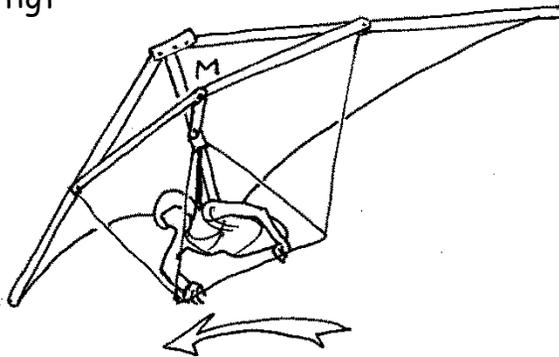
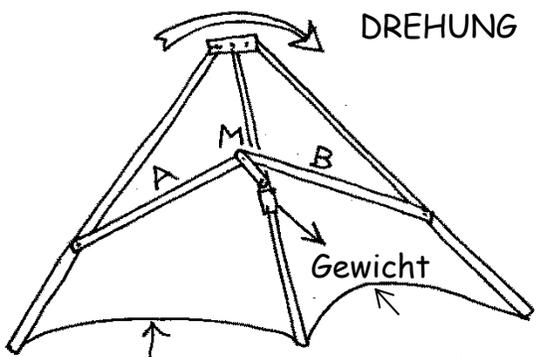
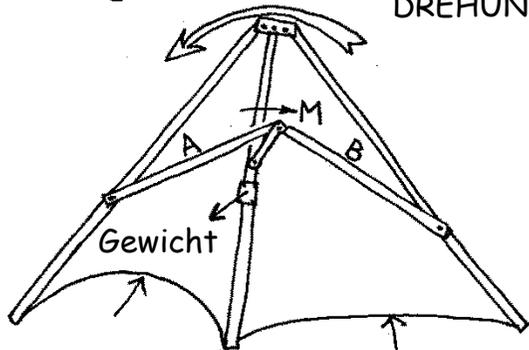
Kiel

Verbindungs-
stange

Pilot am Kiel
befestigt

DREHUNG

DREHUNG



Hinterkante
höher

Hinterkante tiefer

Hinterkante tiefer

Hinterkante
höher

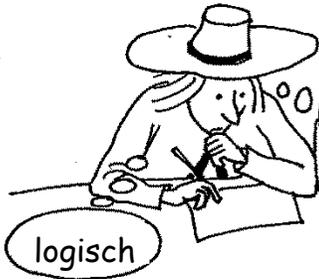
SICHT v. UNTEN

SICHT v. UNTEN

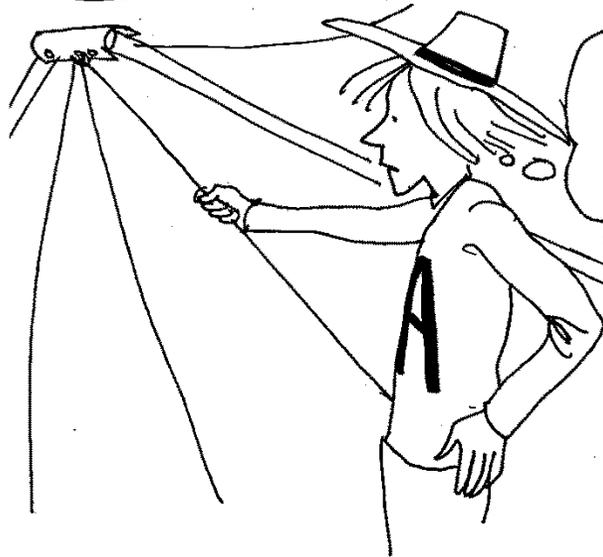
RECHTS
DREHUNG

Dieses geniale Design (genannt „Schwebende Querstange, FLOATING CROSSBAR“) ermöglicht es dem Piloten, durch Verlagerung seines Gewichtes, den Kiel an der Verbindungsstange M mit den gleichlangen Halbquerstangen A und B zu bewegen. Eine Bewegung um einige Zentimeter lässt dich enge Kurven fliegen.

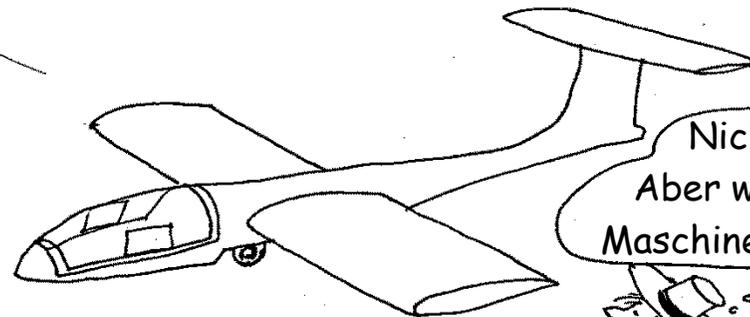
Das Management



Um ein effizientes SEGELFLUGZEUG zu entwerfen, muss ich jede Energieverschwendung vermeiden. Zuallererst TURBULENZEN. Wenn mein Segelflugzeug jede Menge bewegter Luft hinter seinem Kiel lässt, ist das verschwendete Energie.



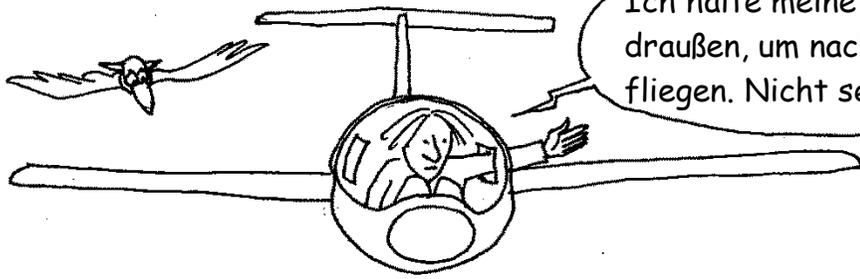
All diese Kabel sind Ursache signifikanten Widerstandes. Wegnehmen. Der Pilot: In den Aufbau. Glatte Wände, ohne Vorsprünge. Alles muss neu designed werden.



Nicht schlecht. Aber wie kann ich die Maschine nur fliegen?



Ich kann mich im Cockpit vor- und zurück bewegen um zu steigen oder sinken. An den Seiten sind Fenster, ich kann eine Hand herausstrecken um zu lenken. Aber das ist nicht sehr effizient, es erzeugt Turbulenzen, die ich auf jeden Fall vermeiden will.

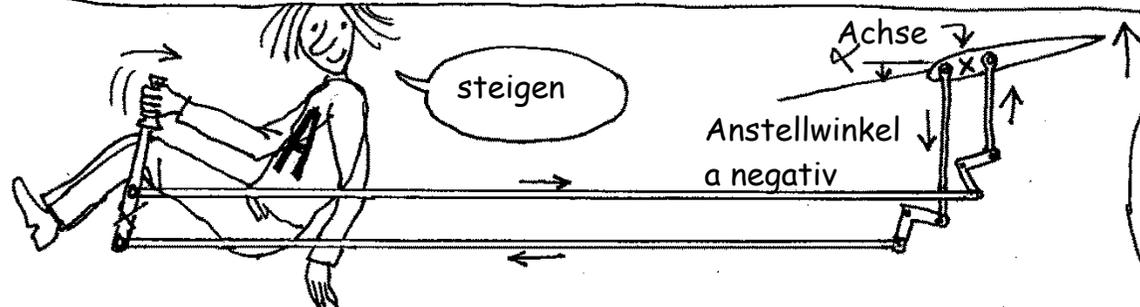


Ich halte meine Hand nach draußen, um nach links zu fliegen. Nicht sehr effizient

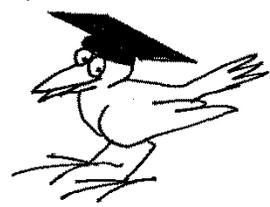
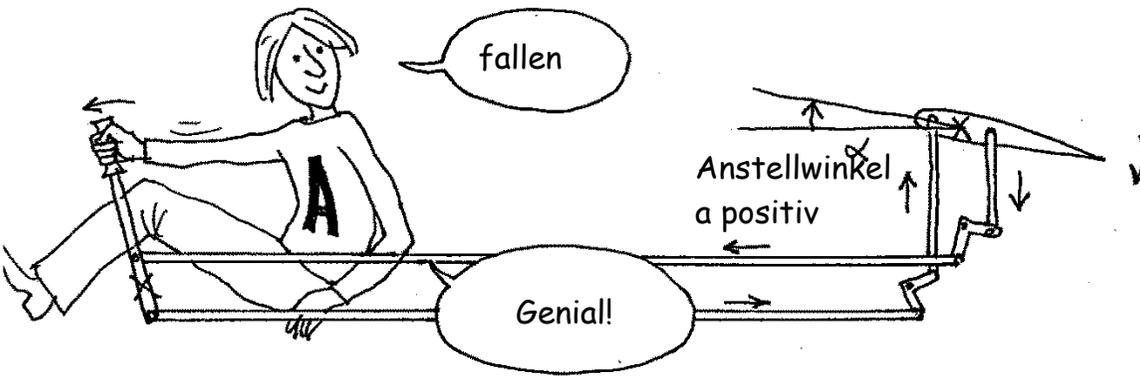
Übrigens



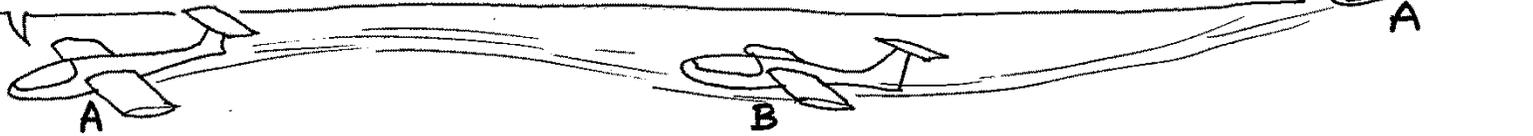
Jetzt wird es interessant. Wenn ich meine Hand wie einen Flügel nach draußen halte und den ANSTELLWINKEL α ändere, so ändert sich auch die Kraft im selben Verhältnis wie der Winkel. Lasst uns ein horizontales Höhenleitwerk bauen, dessen Winkel ich selber verändern kann.



Dank dieser Stangen kann Anselm das horizontale Höhenleitwerk der Flugmaschine mit einem Joystick fernsteuern

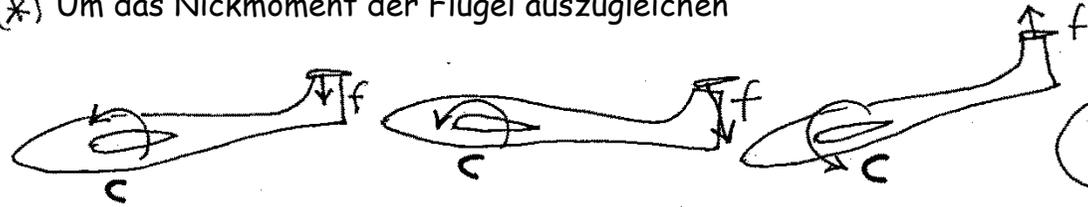


Wundervoll! Ich kann das Steigen oder Sinken mit dem KNÜPPEL frei steuern! So kann ich die FLUGLAGE meines Segelfflugzeuges schnell ändern.



<p>Normale Sinkrate, Knüppel in neutraler Position. Das Höhenleitwerk wendet eine leichte Kraft nach unten an (*)</p>	<p>Anselm sinkt, indem er den Knüppel nach vorne drückt: Der Horizont steigt und die Geschwindigkeit nimmt zu</p>	<p>Anselm steigt, indem er den Knüppel nach hinten zieht: Der Horizont sinkt und die Geschwindigkeit verringert sich.</p>

(*) Um das Nickmoment der Flügel auszugleichen



Ich kann einfach die Haube meines Segelfflugzeuges nutzen, um die FLUGLAGE zu überprüfen. Wenn der Horizont steigt, sinke ich, wenn der Horizont fällt, steige ich. Die Geschwindigkeit ändert sich dementsprechend. Sinkende Fluglage: sie steigt, steigende Fluglage: sie fällt.

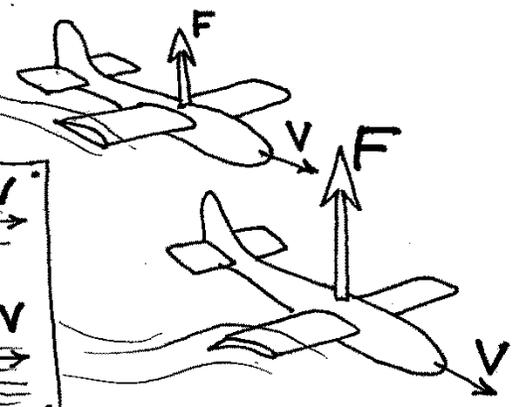
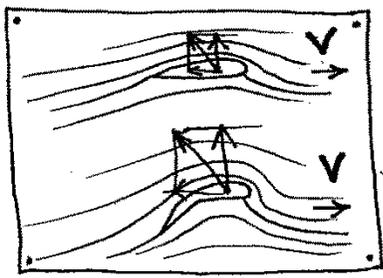
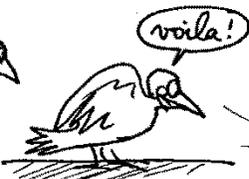
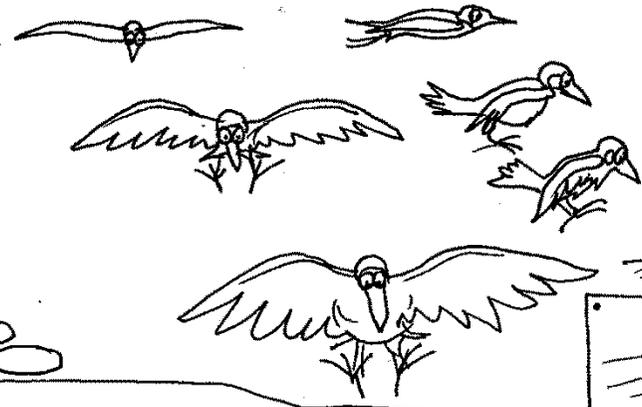


Dieser HAUBENTEST ist ein sehr hilfreicher Indikator

Je schneller ein Segelfflugzeug wird, desto lauter und hörbarer wird das Reibungsgeräusch der Flügel. Bevor die Geschwindigkeitsinstrumente erfunden wurden, konnte man Segelfflugpiloten anhand ihrer langen Ohren erkennen, die sich angepasst hatten.

OK, die Kontrolle der NEIGUNG funktioniert gut genug. Aber bei Kurven bin ich nicht mal nahe dran. In der Zwischenzeit schaue ich mir Vögel an und beobachte, wie sie fliegen,

LANDEKLAPPEN



Beim Landeanflug krümmen sie ihre Flügel, indem sie mit Muskeln an ihren Federn ziehen.

Indem ich die Krümmung meiner TRAGFLÄCHEN erhöhe, wird die aerodynamische Kraft der Flügel bei gleicher Geschwindigkeit V größer. Wenn ein Vogel die Flügel in der Art ändert, wird umgekehrt auch die LANDEGESCHWINDIGKEIT geringer.

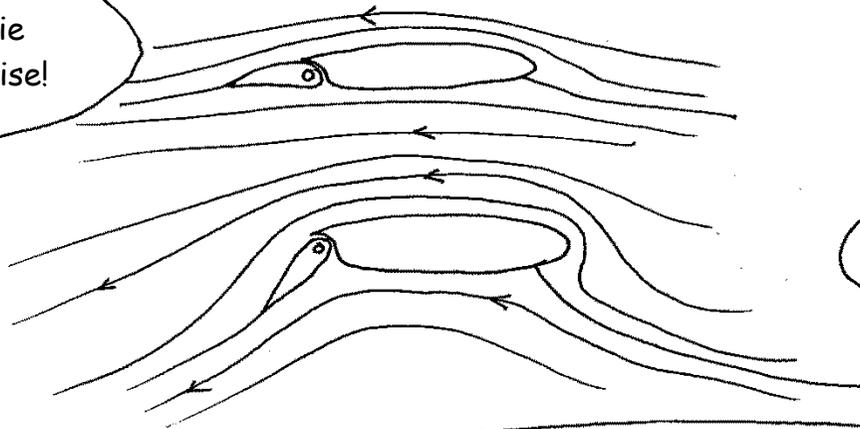


Ich kann die Flügel nicht falten, aber ich kann den hinteren Teil mit einem Gelenk anbringen

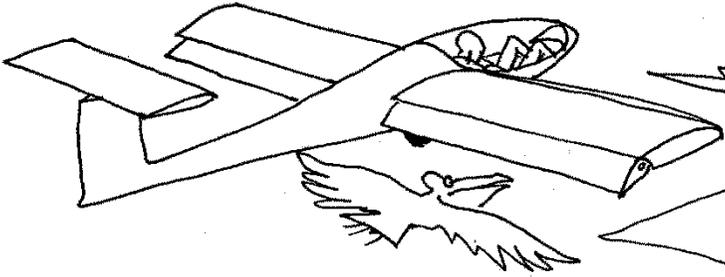
Flügel mit Gelenken?



Schau dir das an! Anselm tauscht die Flugfedern mit einer Klappenbauweise!

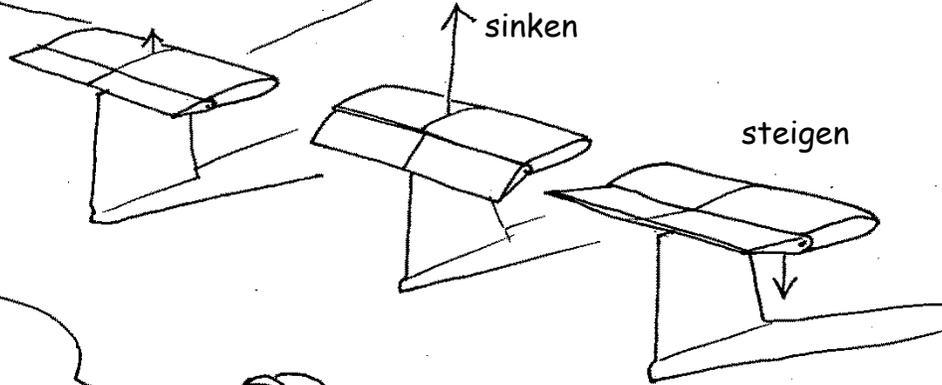


Das ist die Luftbewegung



Dadurch wird beim Landen der FINALE ANFLUG ein wesentlich geringerer Kraftakt.

Aber warum soll man das Klappendesign nicht überall benutzen, auch im Höhenleitwerk?

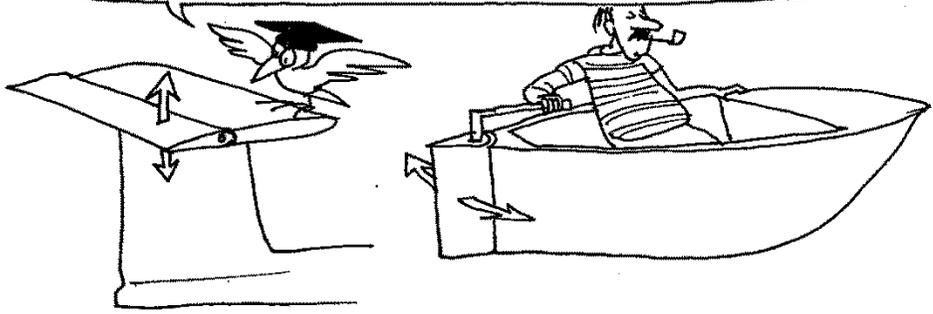


gesagt, getan



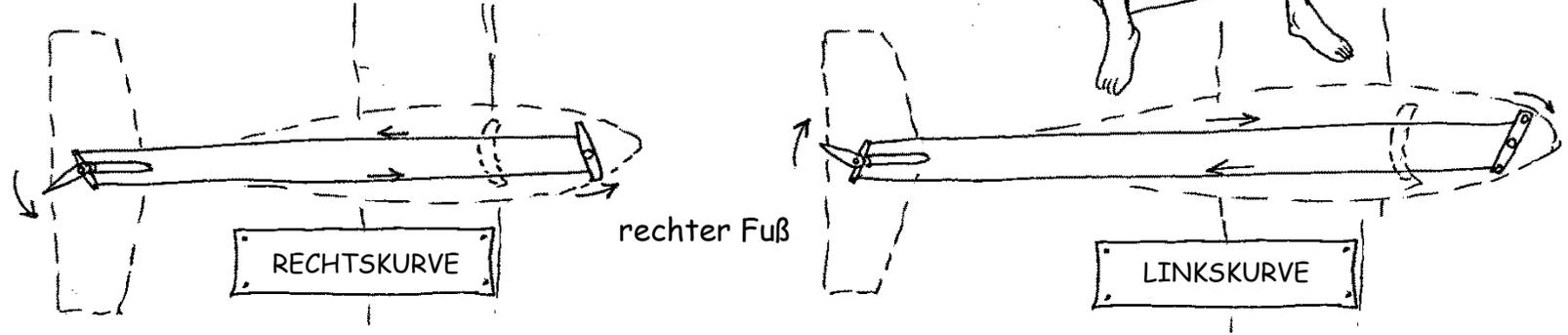
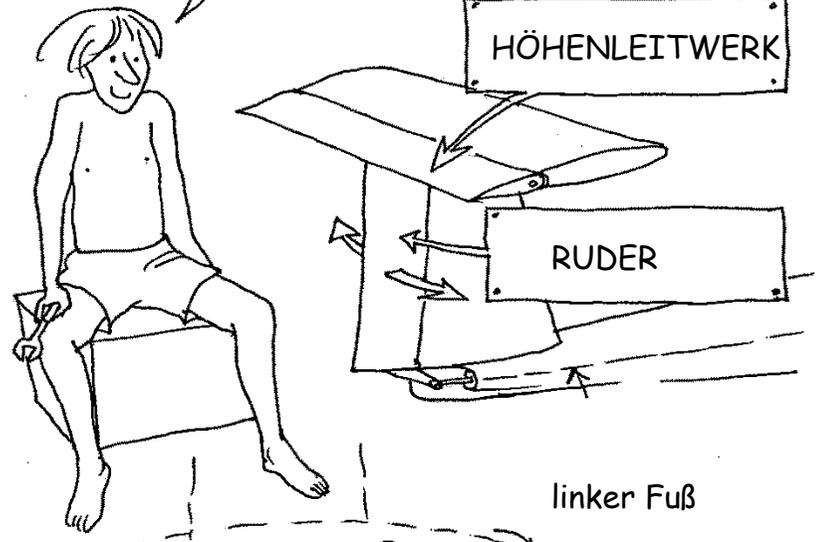
LENKEN

Am Ende funktioniert es wie das RUDER eines Bootes, außer das man nicht links und rechts, sondern hoch und runter steuert.



Hey, das ist die Lösung! Warum Ärger haben beim Rausstrecken der rechten oder linken Hand? Ich kann mein Segelflugzeug einfach mit einem RUDER ausrüsten!

Das werde ich vom COCKPIT aus mit meinen Füßen steuern, indem ich das Ruder durch Kabel mit der RUDERSTANGE verbinde



Nun, wie geht es meinem
großartigen Flieger?

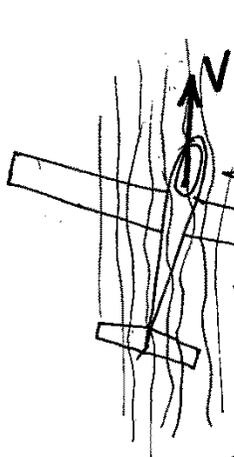
Wundervoll, Sophie. Die FLUGMECHANIK kann
nichts mehr vor mir verbergen. Man muss nur
Ruder an den richtigen Stellen haben und kann
hoch und runter, links und rechts fliegen.

Ich habe sogar einen Zweisitzer gebaut.
Wenn du willst, kannst du mitfliegen.

So. Wir heben hangabwärts ab. Mit diesem Steuerknüppel
kann ich hoch und runter steuern oder gerade fliegen.
Mit der Ruderstange

Mist! Ich habe meinen Fuß ganz
durchgedrückt und es dreht sich nicht! Das
Segelflugzeug driftet nur ab und nichts
weiter!?!

Was zum ... !



Denk nach: Mit dem Ruder stellst du nur den Rumpf schief. Da es so den Wind nicht einfängt, driftet das Flugzeug nur ab und nichts weiter.

Versteh ich nicht....



Versuch mal ein Boot mit flachem Boden nur mit einem Ruder zu steuern: Das wird nicht funktionieren

Muss ich jetzt den Rumpf des Segelflugzeuges wie ein Boot bauen, damit es sich dazu herablässt, sich zu drehen?



Ja, das wäre eine Möglichkeit, aber es gibt einen viel einfacheren Weg

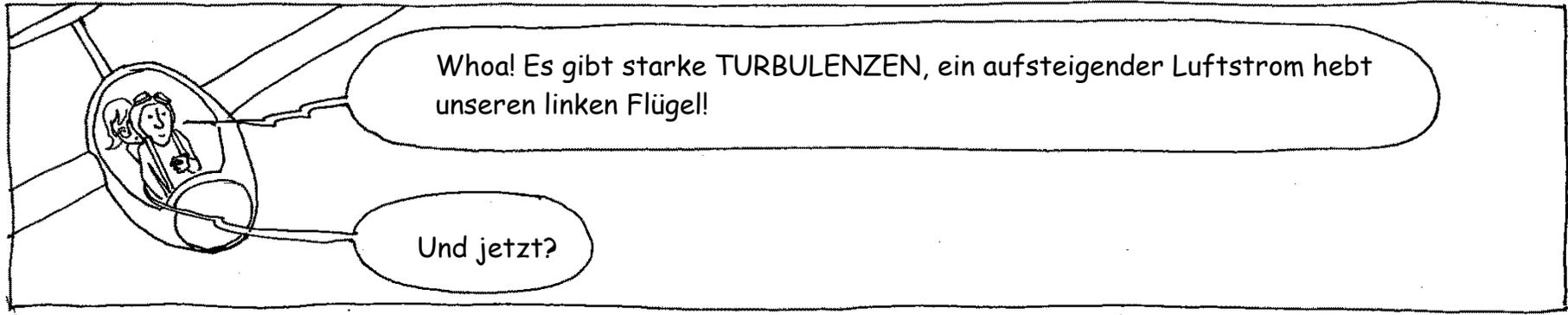
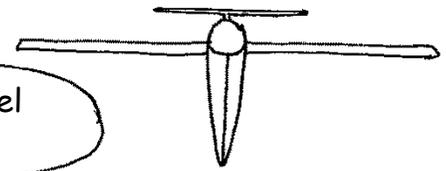


Ich drehe die Pinne

Nichts!?



Ich rutsche nur schief auf dem Wasser. Ich brauche ein Mittelschwert oder Kiel



Whoa! Es gibt starke TURBULENZEN, ein aufsteigender Luftstrom hebt unseren linken Flügel!

Und jetzt?

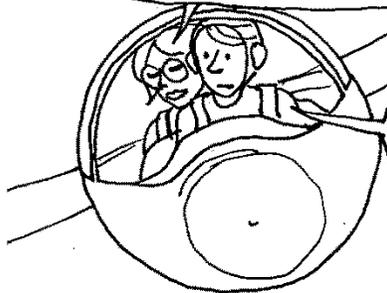


Dadurch drehen wir uns nach rechts.
Wir drehen uns, obwohl das Ruder in der Mitte steht?



All das braucht eine Erklärung, aber
zuerst ziehe leicht an dem
Steuerknüppel, um das Absinken der
Nase zu verhindern.

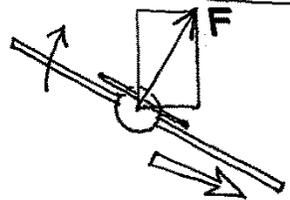
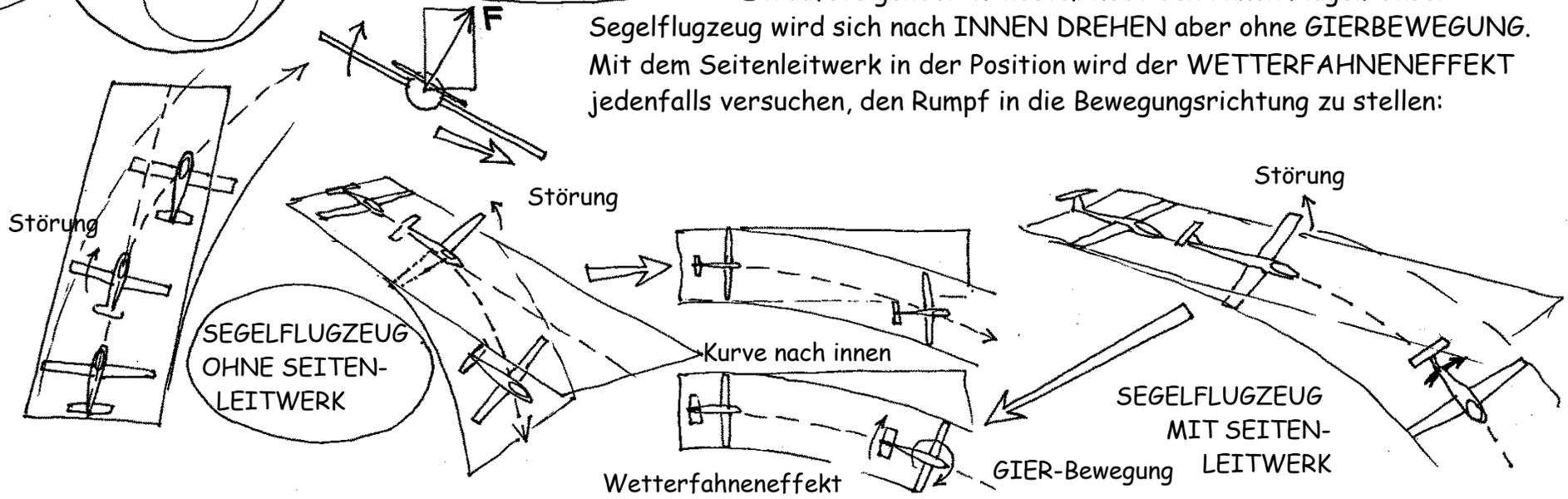
Es ist dein Seitenleitwerk, das uns
drehen lässt.



Das verstehe ich nicht, es liegt
doch in der Symmetrieebene des
Flugzeuges

SCHRÄGLAGE

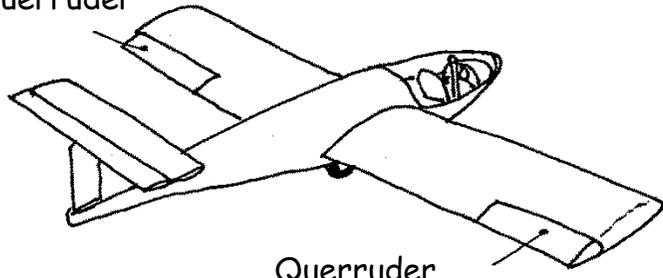
Stell dir vor, dein Flugzeug hat kein Seitenleitwerk.
Ein aufsteigender Windstoß hebt den linken Flügel. Unser
Segelflugzeug wird sich nach INNEN DREHEN aber ohne GIERBEWEGUNG.
Mit dem Seitenleitwerk in der Position wird der WETTERFAHNENEFFEKT
jedenfalls versuchen, den Rumpf in die Bewegungsrichtung zu stellen:



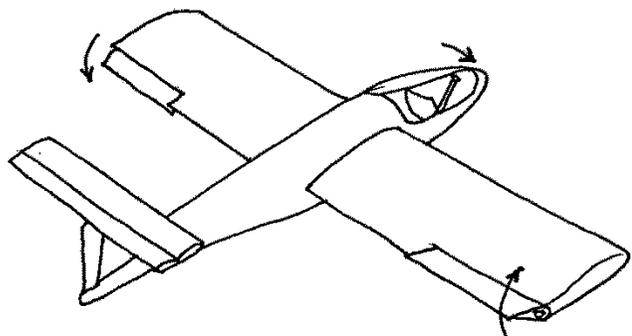
QUERRUDER

Es ist die SCHRÄGLAGE, die das Flugzeug dazu bringt, abzdrehen. Diese Schräglage kann ich auch erreichen durch die Änderung der Krümmung eines Flügels durch Flügelklappen: QUERRUDER, die ich separat einstellen kann

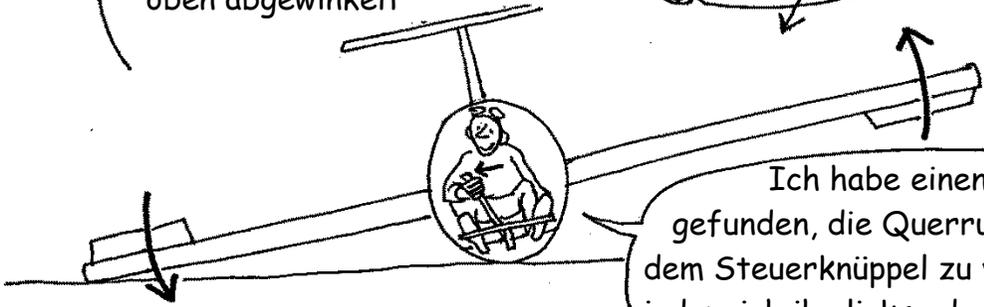
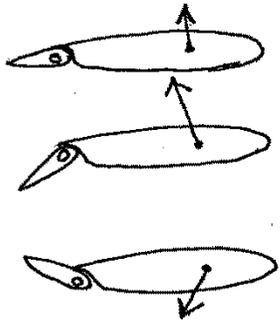
Querruder



Querruder



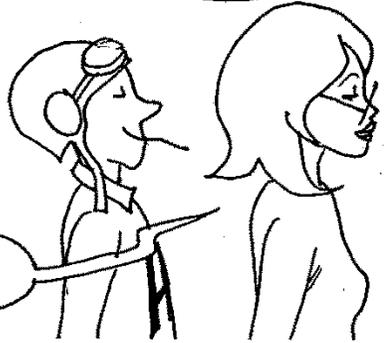
- Auftrieb, Querruder neutral
- Erhöhter Auftrieb, Querruder nach unten abgewinkelt
- Abtrieb, Querruder nach oben abgewinkelt



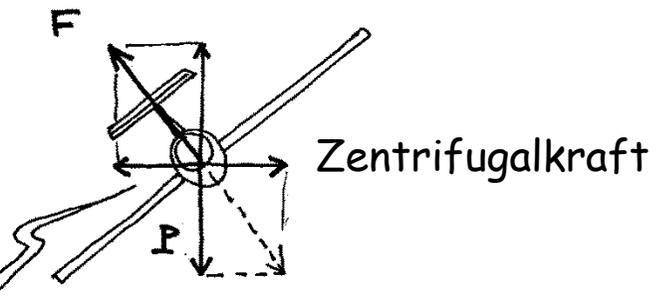
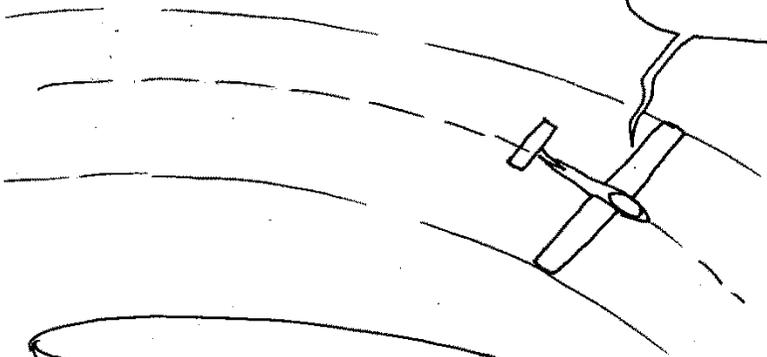
Ich habe einen Weg gefunden, die Querruder mit dem Steuerknüppel zu verändern, indem ich ihn links oder rechts antippe.

OK; ich kann mein Flugzeug in Schräglage bringen, indem ich die Querruder mit dem Knüppel verstelle. Dann, durch den Wetterfahneeffekt, wird mein Seitenruder die Kurve initiieren und ich werde ein bisschen am Steuerknüppel ziehen um meine Höhe zu halten und ein Absinken der Nase zu verhindern.

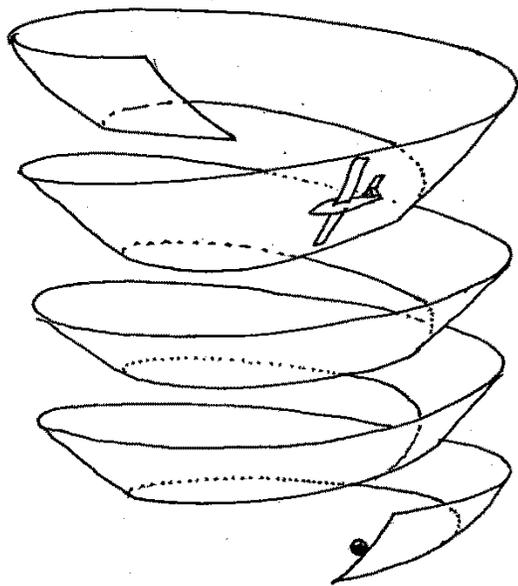
Du solltest auch ein bisschen deinen Fuß einsetzen, das hilft



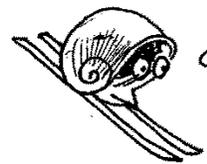
Yeah! Es funktioniert. Kurve eingeleitet!



Hier, einmal gestartet lenkt sich dein Segelflugzeug fast von alleine. Du brauchst die Steuerelemente nur noch, um deine Kurve zu koordinieren



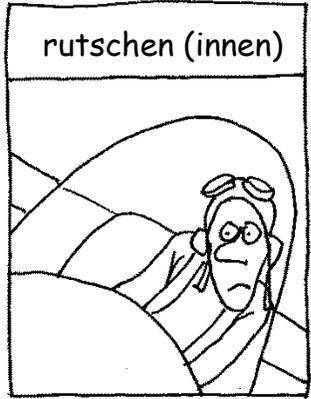
Wenn die Kurve gut koordiniert ist, sollte das Segelflugzeug gleiten wie ein Ball, der eine spiralförmige Rille hinabläuft, oder wie ein Schlitten auf dem Eis, ohne nach rechts und links zu schleudern.



Aber woher soll man wissen, ob es sich nun nach innen dreht oder nach außen rutscht, relativ zu etwas, was man nicht sieht, wie die Luft.

KONTROLLE DER KURVE

Ein erster Indikator ist dein KÖRPER, der gut wahrnehmen kann, ob du rutschst oder schleuderst



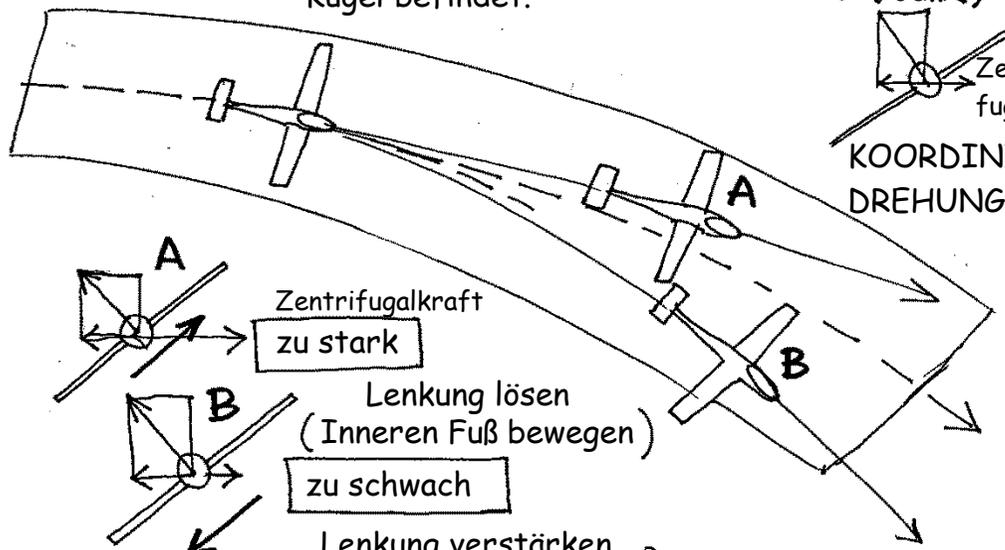
In der Tat ist es viel leichter und es erfordert nur etwas Übung, mit dem HINTERN ZU STEuern



Erstes Instrument: DIE KUGEL



Es handelt sich um eine gekrümmte Glasröhre mit Öl, in dem sich eine Kugel befindet.

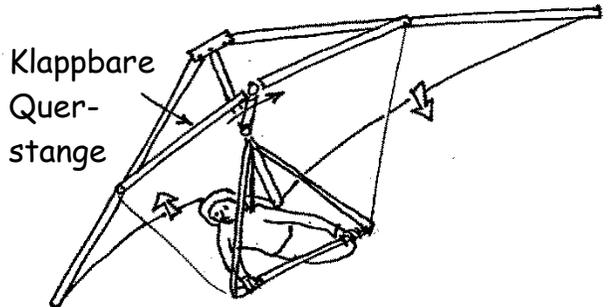


Die Kugel läuft in die Richtung, in der das DURCHRUTSCHEN auftritt

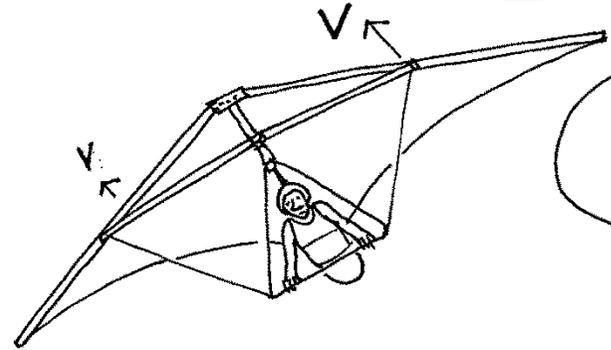
Zentrifugalkraft zu stark
Lenkung lösen (Inneren Fuß bewegen)
zu schwach
Lenkung verstärken (äußeren Fuß bewegen)

F (od.R)
Zentrifugalkraft
KOORDINIERTER DREHUNG

KLEINER EXKURS ÜBER DELTAFLÜGLER (siehe Seite 16)



Der Hanggleiter Pilot verlagert sein Gewicht, um die Richtung zu ändern

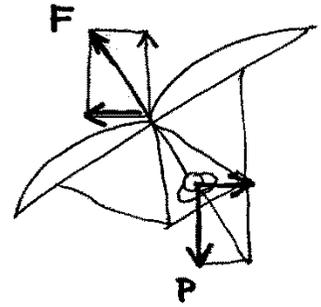


Sobald der Hanggleiter abdreht, übernimmt die Schräglage die Arbeit. Die Kurve hält an, weil sich der äußere Flügel ein bisschen schneller bewegt

Aber wie kontrolliert er seine Kurve?
Mit einer Kugel?

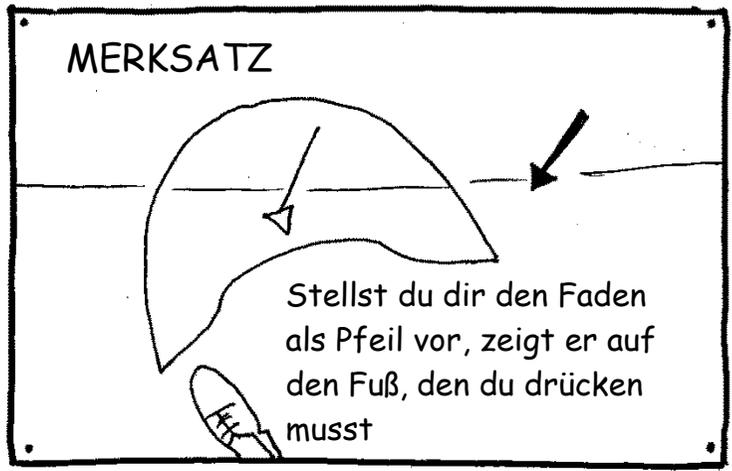
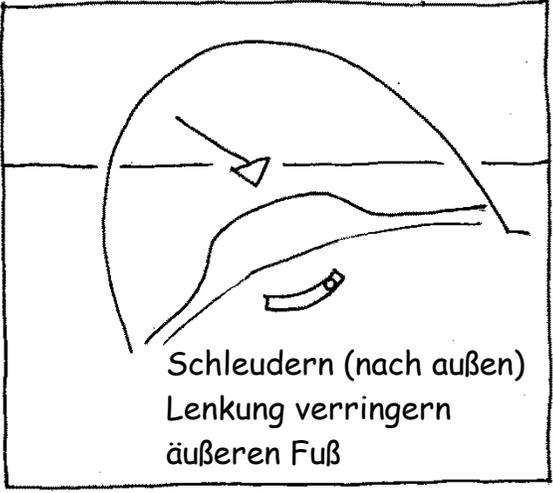
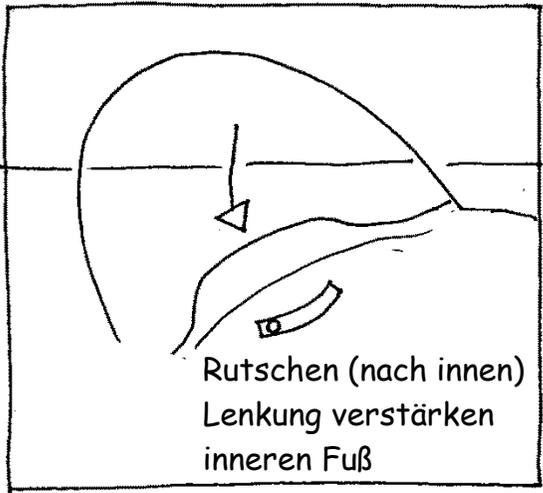



Der Pilot eines Hanggleiters braucht keine Kugel, ER IST SELBST DIE KUGEL! Die Kurve verstärkt sich, bis die Zentrifugalkraft den Körper des Piloten in die Symmetrieebene des Gleiters gedreht hat. Dort wird es durch die klappbare Querstrebe automatisch gehalten



Die Zentrifugalkraft gleicht die radiale Komponente der aerodynamischen Kraft aus

DER WOLLFADEN



KOORDINATION DER STEUERELEMENTE

31

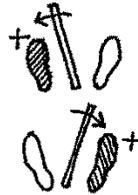
Wenn du in die Kurve hinein- oder wieder herausfliegst, wenn du die Lenkung verstärkst oder abschwächst, musst du die Pedale und den Steuerknüppel gleichzeitig bedienen.



Das nennt man
„Koordination der Steuerelemente“

* Knüppel nach links, linker Fuß

* Knüppel nach rechts, rechter Fuß



Mit diesen Steuerelementen hat das Segelflugzeug Hand und Fuß

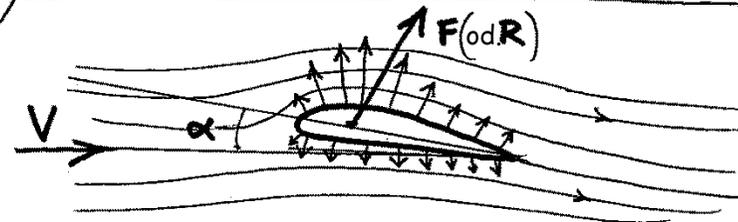
Ich drücke den Steuerknüppel um schneller zu werden



STRÖMUNGSABRISS



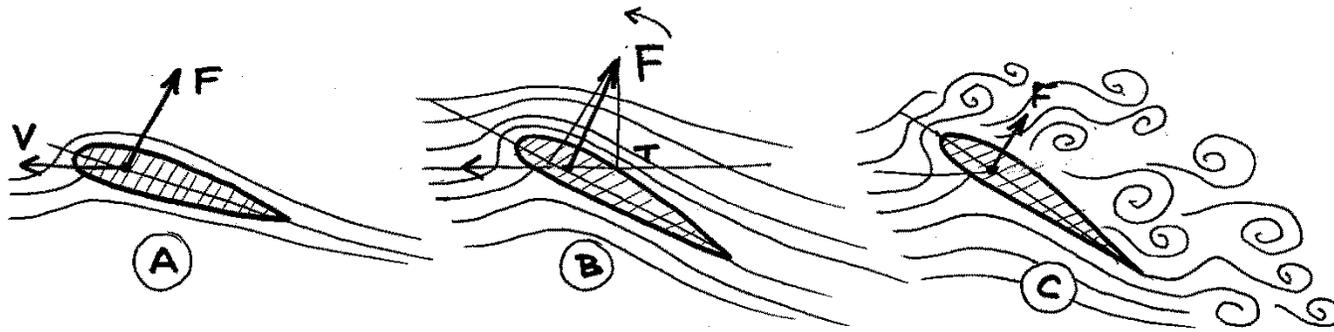
Lass es mich erklären. Das ist eine Zeichnung der Luftbewegung um deinen Flügel unter normalen Bedingungen



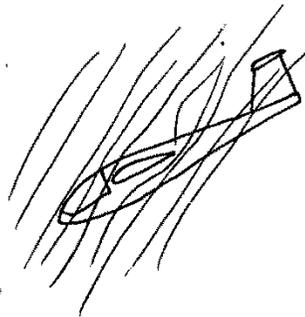
Normal in wie fern?

.... wenn der ANSTELLWINKEL α zwischen dem Flügel und der bewegten Luft bei der Geschwindigkeit V moderat bleibt, sagen wir zwischen 6 und 15 Grad



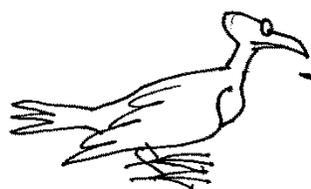


- Diagramm A: normale Flugposition
- Diagramm B: Flug mit hohem Anstellwinkel. Die aerodynamische Kraft wird stets auf die Richtung der Geschwindigkeit projiziert auf die Flugrichtung T, aber durch die Vorwärtsneigung der Kraft F wird sie vorwärts auf die Ebene des Flügels projiziert
- Diagramm C: Die Luft kann nicht länger an der Vorderkante des Flügels vorbeiströmen. Durch die Zentrifugalkraft wird der Luftstrom GETEILT. Der Auftrieb bricht zusammen, das Segelflugzeug „begrüßt“ den Sturzflug



Nach einem STURZFLUG nimmt das Segelflugzeug selber wieder *Geschwindigkeit* auf. Der Luftstrom erreicht wieder die Tragflächen. Der Auftrieb kommt plötzlich zurück, da sich die *Geschwindigkeit V* erhöht. Wenn der Pilot das Gefühl hat, dass die Strömung abreißt, oder das Segelflugzeug zu langsam wird, kann er schneller zur normalen Konfiguration zurückkehren, in dem er die Nase herunternimmt, den Knüppel nach vorne drückt oder es einfach LAUFEN LÄSST

Das Management



Schon mal einen Strömungsabriss gehabt?



Ja! Über den Anden. Ich wurde von einem Aufwind gefangen, der zu einem DYNAMISCHEN STRÖMUNGSABRISS führte

TRUDELN

Ich drehte ruhig meine Kreise, hielt nach was nettem zu Fressen Ausschau, ein Kadaver oder irgendwas. Und dann plötzlich oh mein Gott

Du kamst ins Trudeln, weil der RELATIVE WIND seine Richtung geändert und den Angriffswinkel erhöht hat?

Yep. Und da der innere Flügel langsamer war, riss hier die Strömung ab. Und dann ging alles verquer. Ich drehte und drehte mich, oh weh!

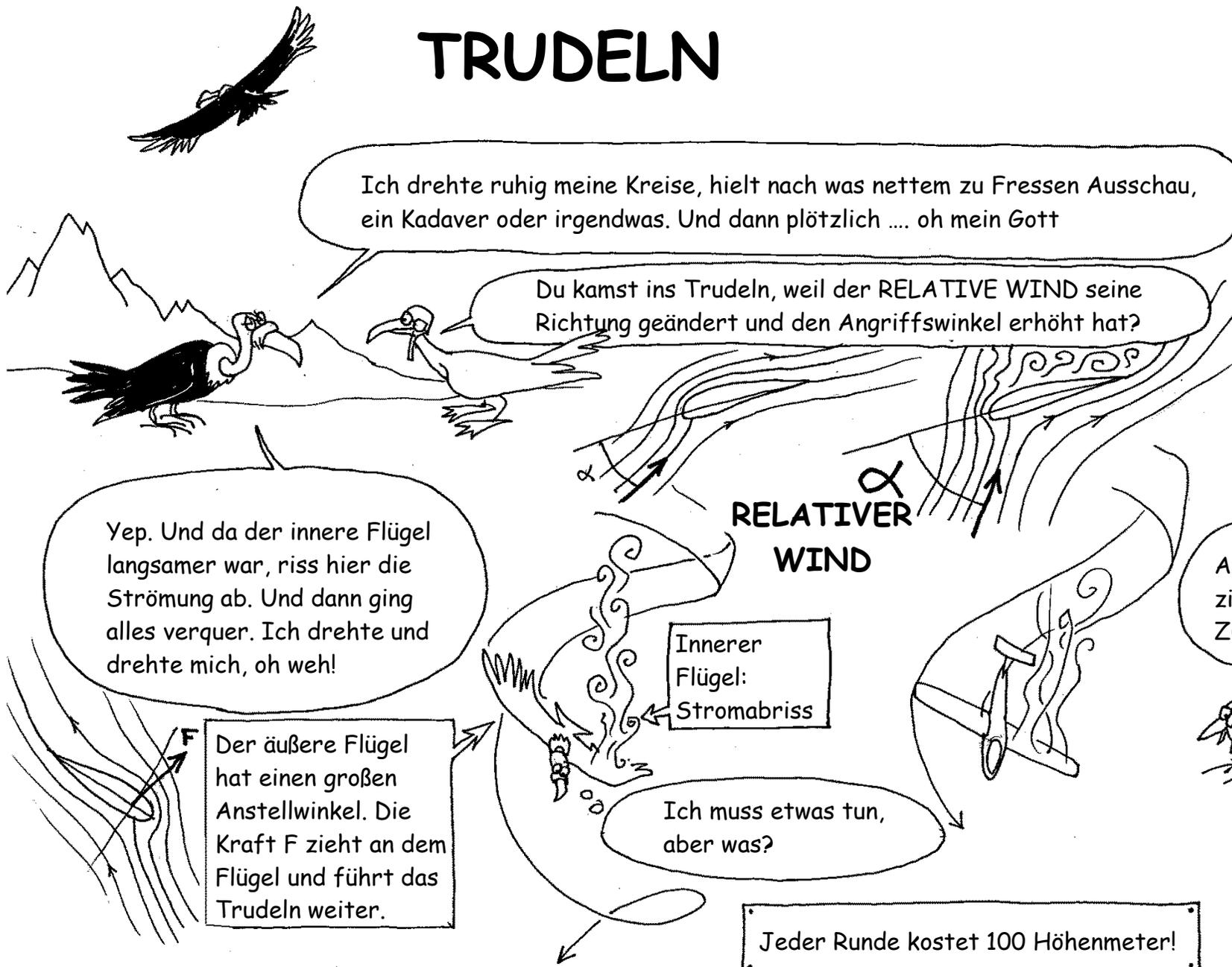
Der äußere Flügel hat einen großen Anstellwinkel. Die Kraft F zieht an dem Flügel und führt das Trudeln weiter.

Innerer Flügel:
Stromabriss

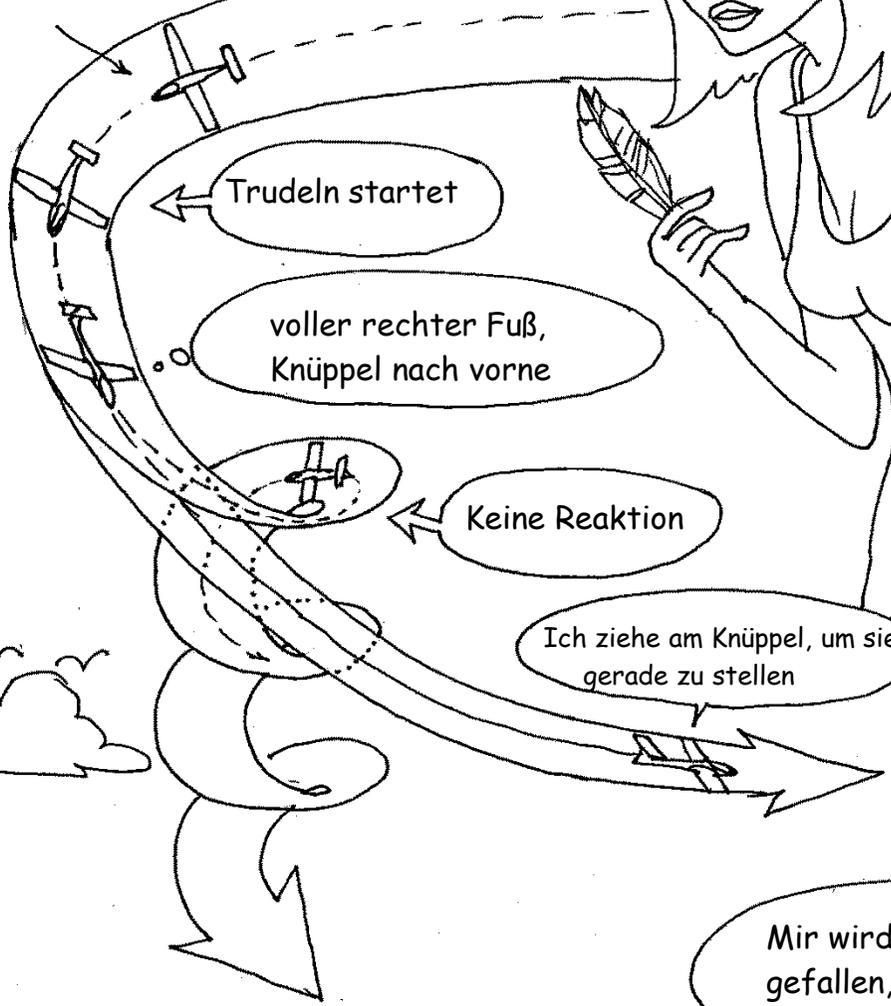
Ich muss etwas tun, aber was?

Am Knüppel ziehen?
Zur Hölle, nein!

Jeder Runde kostet 100 Höhenmeter!



Steuer sofort voll dagegegen mit dem entgegengesetzten Fuss und tauche ab, um Geschwindigkeit zu bekommen.



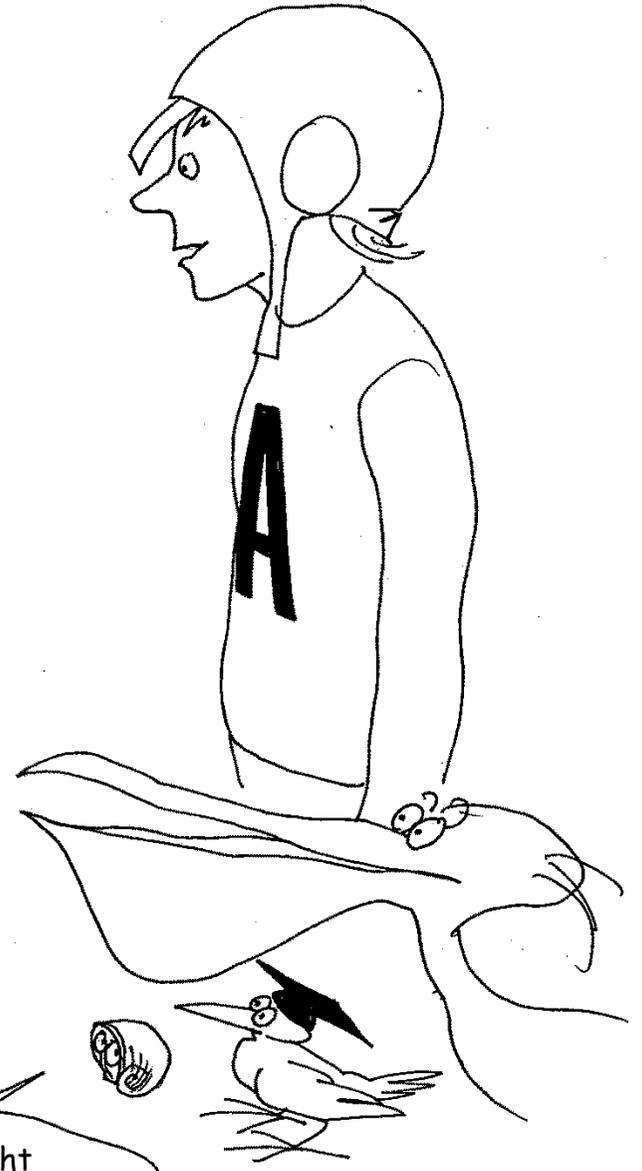
Trudeln startet

voller rechter Fuß, Knüppel nach vorne

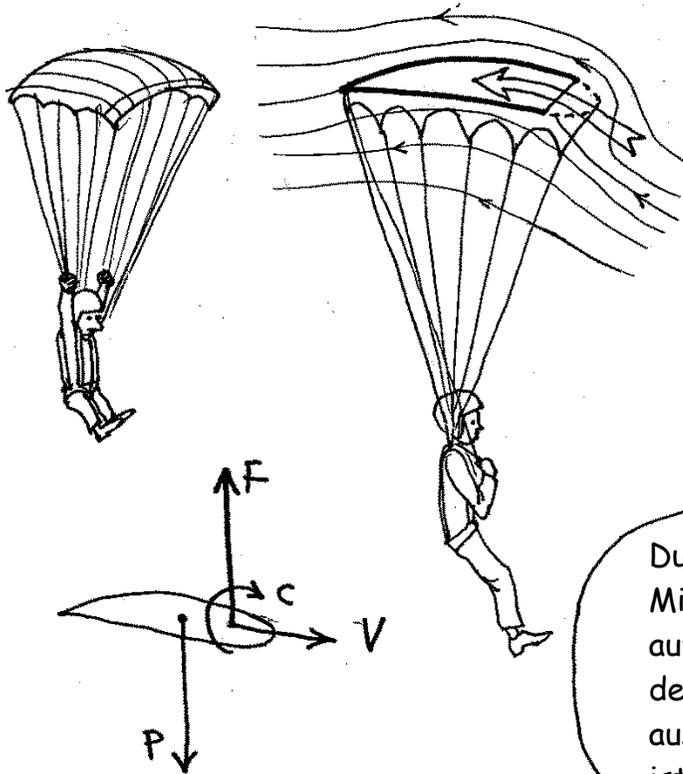
Keine Reaktion

Ich ziehe am Knüppel, um sie gerade zu stellen

Mir wird das Trudeln nicht gefallen, niemals.

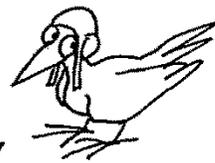


PARAGLEITER: WENN DAS SEGEL ZUM LEICHENTUCH WERDEN KANN



Der Paragleiter hat sich aus dem KASSETTENFALLSCHIRM (oder RAM-AIR Fallschirm) entwickelt, der den antiquierten runden Fallschirm (*) ersetzt hat, der heute nur noch als Notfallsystem verwendet wird.

Durch die Position des Piloten in der Mitte wird das Drehmoment des Flügels aufgefangen. Der höheren Luftdruck an der Stirnseite bläst den Flügel auf, der aus einem lockeren Gewebe aufgebaut ist.

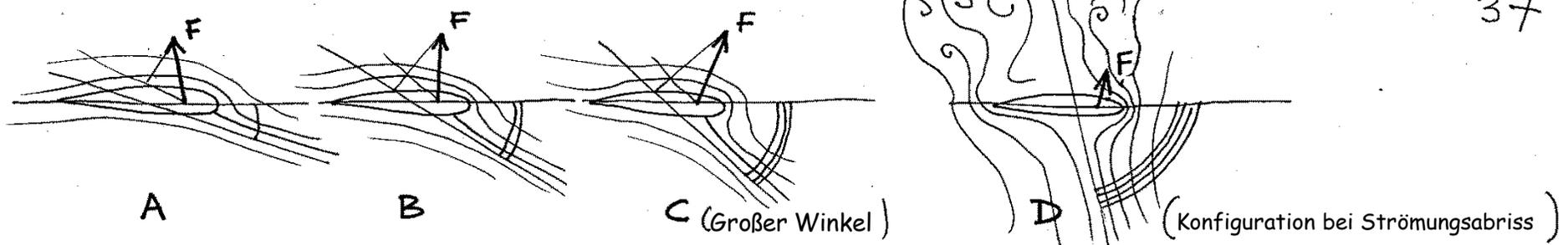


Das Tragen eines Fallschirms ist Pflicht beim Segelfliegen

Kollidierende Segelflugzeuge



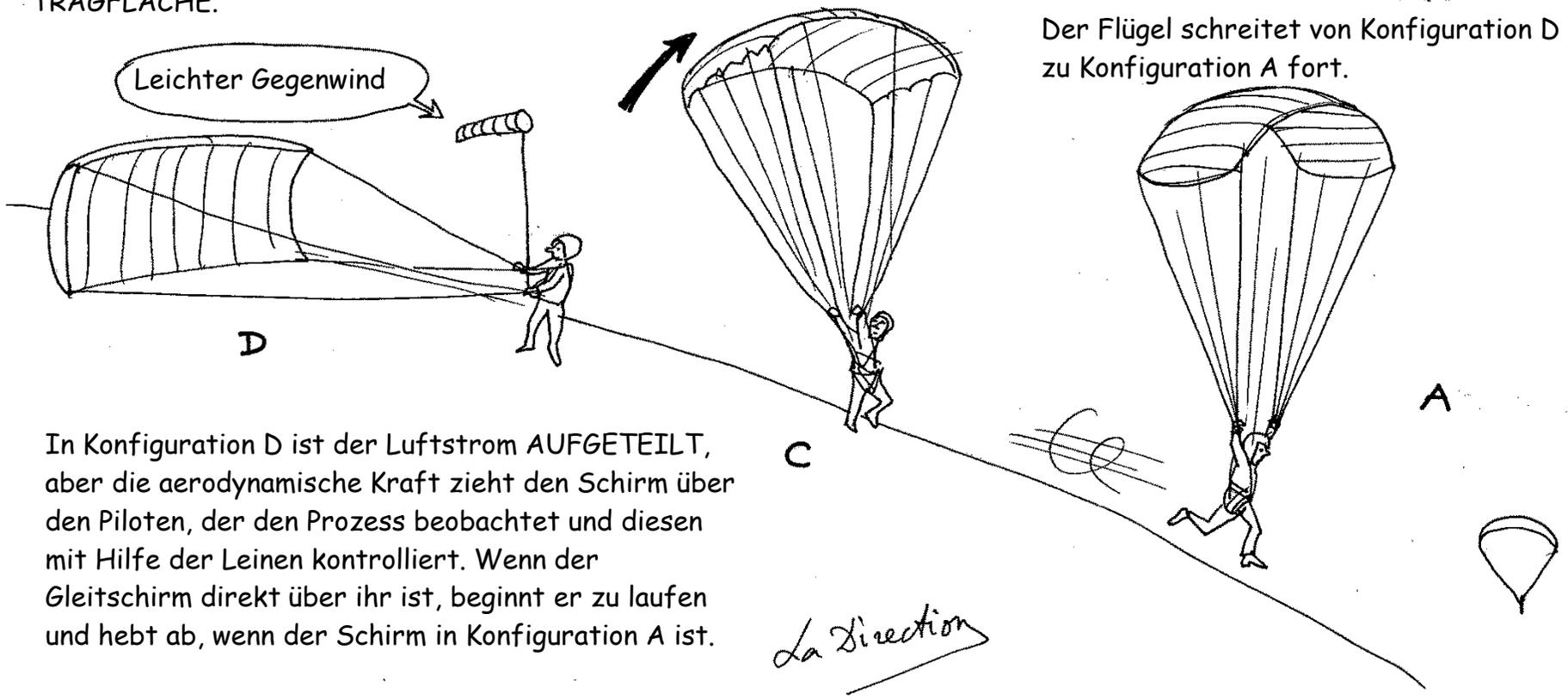
(*) Sinkrate ist 6m/s. Sinkrate eines Paragliders: 2,5m/s



Es ist bekannt, dass die aerodynamische Kraft, die auf das aerodynamische Zentrum der Flügel bei 25% des Gleitschirmes wirkt, nach vorne kippt, wenn der Anstellwinkel (die Richtung des RELATIVEN WINDES) steigt. Der Luftstrom kann sich AUFTEILEN, die Kraft nimmt ab aber bleibt VORWÄRTS gerichtet RELATIV ZUR TRAGFLÄCHE.

Starten eines Paragleiters

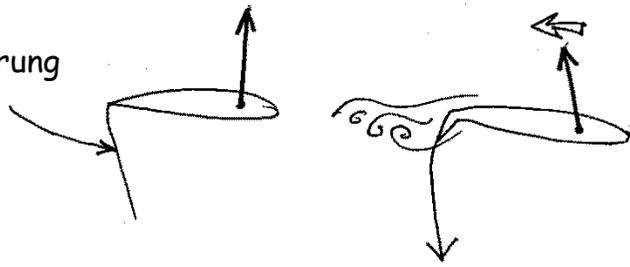
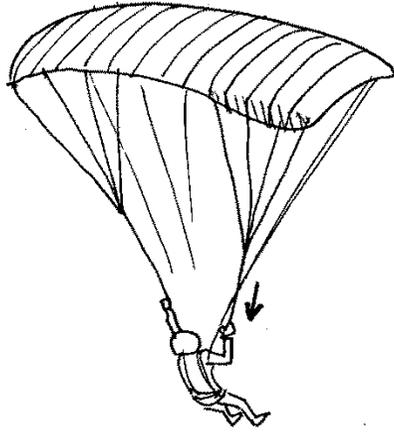
Der Flügel schreitet von Konfiguration D zu Konfiguration A fort.



In Konfiguration D ist der Luftstrom AUFGETEILT, aber die aerodynamische Kraft zieht den Schirm über den Piloten, der den Prozess beobachtet und diesen mit Hilfe der Leinen kontrolliert. Wenn der Gleitschirm direkt über ihr ist, beginnt er zu laufen und hebt ab, wenn der Schirm in Konfiguration A ist.

La Direction

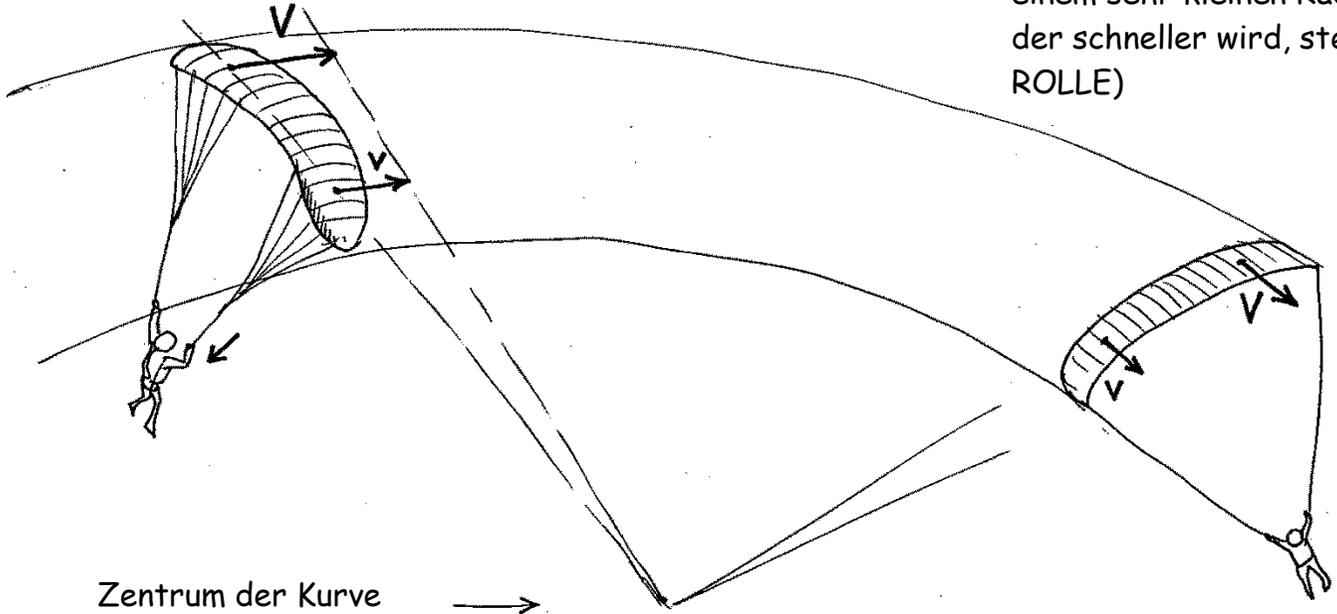
Bremssteuerung



Bremssteuerung des Piloten

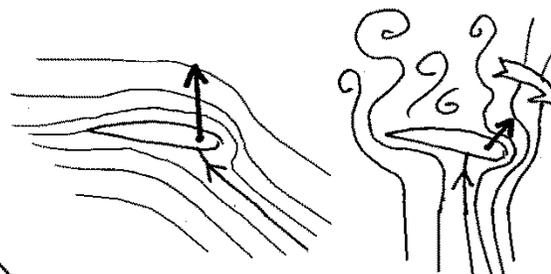
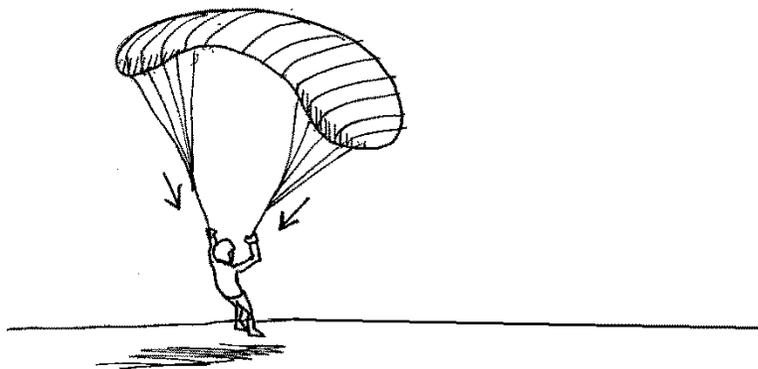
Der Pilot agiert durch ziehen der Kontrollleinen, BREMSEN genannt, die an den hinteren Kanten der rechten und linken Hälfte des Gleitschirms befestigt sind.

Hier zieht der Pilot an der rechten Bremse. Er erhöht den Zug auf die rechte Hälfte ihres Schirms. Das startet die sehr effiziente Kurve. Paragleiter fliegen sehr langsam und können leicht lenken mit einem sehr kleinen Radius. Die Außenseite des Flügels, der schneller wird, steigt höher (FÜHRT ZU EINER ROLLE)



Zentrum der Kurve →

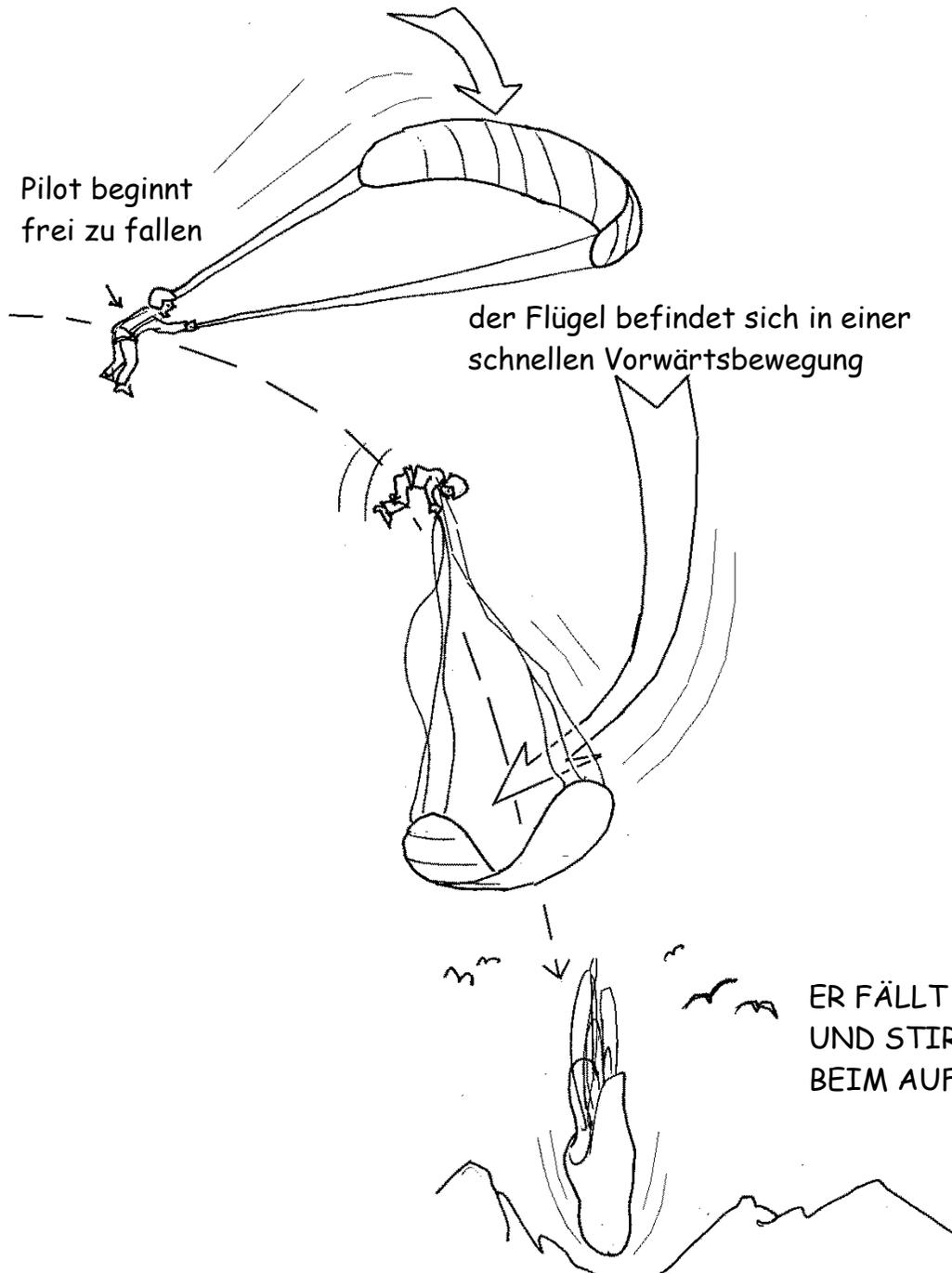
Durch gleichzeitiges Ziehen beider Bremsen kann er den Gleitschirm abbremsen bis zum Strömungsabriss. Er wird diese Manöver bei der Landung durchführen, kurz bevor er den Boden berührt.



Aber in anderen Situationen ist dieses Manöver SEHR GEFÄHRLICH. Es kann auch durch starke BÖEN AUFSTEIGENDER WIND verursacht werden, die zu einem dynamischen STRÖMUNGSABRISS führen können.



In der Mitte des Tages kann es bei TURBULENTER LUFT zu einem dynamischen Strömungsabriss kommen

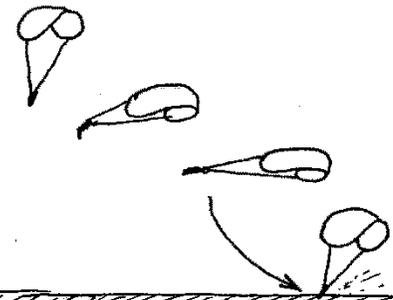


Die Neigung der aerodynamischen Kraft nach vorne entlang der Tragfläche drückt den Flügel (der fast keine Trägheit hat) sehr schnell nach vorne.

Wenn der Pilot dieser Bewegung (*) nicht entgegensteuert durch sofortiges Bremsen des Flügels, wird der Flügel unter ihm landen.

(*) Ein unerfahrener Anfänger wird jedoch tendenziell dazu neigen, ... alles laufen zu lassen!

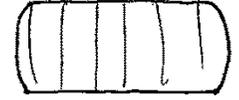
Ereignet sich der Vorfall nahe des Bodens, und der Paragleiter Pilot ist glücklich genug, nicht in seinem Flügel zu landen, wird eine sehr gewaltige Kraft für einen sehr harten Kontakt mit dem Boden sorgen.



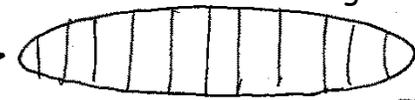
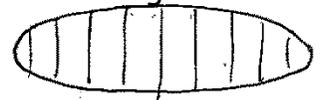
Knöchel und Knie kaputt, Wirbelsäule gebrochen

Im Luftsport gibt es einen Kompromiss zwischen PERFORMANZ und SICHERHEIT. Eine flache Tragfläche  erlaubt höhere Geschwindigkeiten, die man braucht, um von einem Aufwind zum nächsten zu fliegen. Aber um so flacher die Tragfläche, desto schneller kommt es zum Strömungsabriss. Die Designer wollen weiter die GLEITZAHL (*) verbessern (mehr dazu später) durch eine VERBREITERUNG des Paragleiters, aber das macht ihn anfälliger für ein ZUSAMMENFALLEN des FLÜGELS in TURBULENZEN, was einen Höhenverlust von mindestens 50 Metern bedeutet, bis sich der Flügel wieder entfaltet hat.

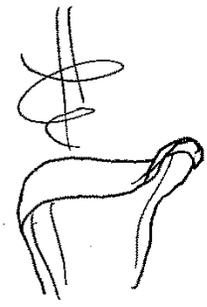
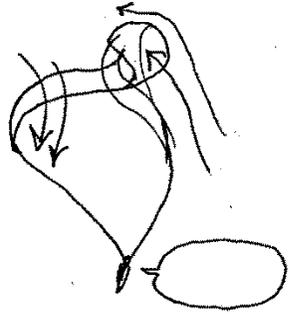
Kassettenfallschirm



Paragleiter mit zunehmender Verbreiterung

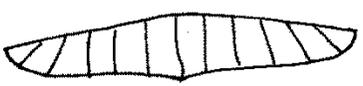
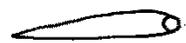


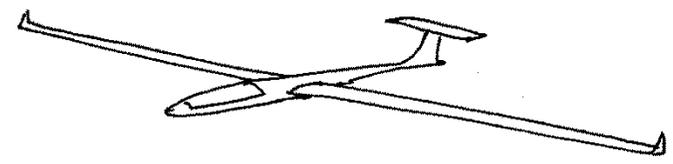
Meine Gleitzahl? Uh...



(*) Von der Höhe h kannst du die Distanz $d = h \times g$ fliegen, wobei g die GLEITZAHL ist.

Dieses Geschwindigkeits-Rennen wirkte sich auch auf die Welt der Hang Gleiter aus

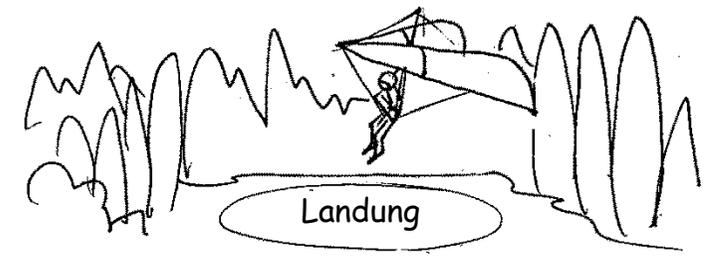
		
1975	1985	
		
einfache Oberfläche		doppelte Oberfläche (mit Lattung)
25km/h	30-75km/h	40-100km/h
Gleitzahl 3	Gleitzahl 7	Gleitzahl 10
2,5m/s	1,8m/s	1,0m/s



Es wird ein guter Kompromiss gebraucht zwischen Geschwindigkeit und Sicherheit. Bei den ersten Hanggleiter hätte es niemals einen einseitigen Strömungsabriss gegeben. Moderne Gleiter mit ihrem ungleichen Verhältnis zwischen Länge und Breite und ihrer bikonvexen Tragfläche hingegen benehmen sich wie klassische Flügel, und beim Strömungsabriss können sie deshalb auch anfangen zu trudeln.

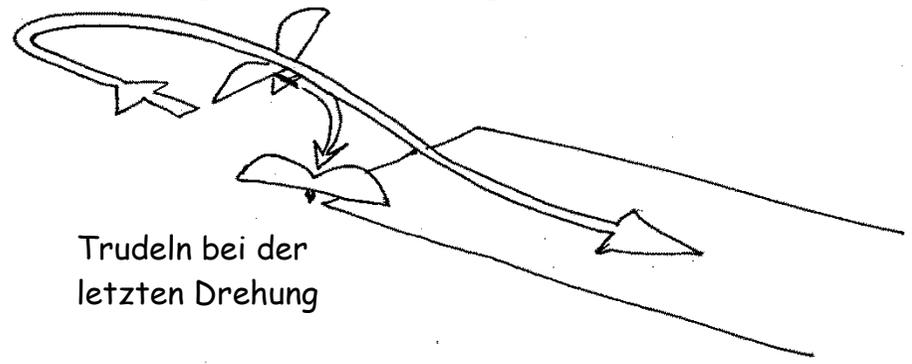


Fallschirmartiges Fallen mit 6m/s



Wenn man herunterfiel, wirkten frühe Hanggleiter wie ein Fallschirm,

Drehung zum finalen Anflug



Trudeln bei der letzten Drehung

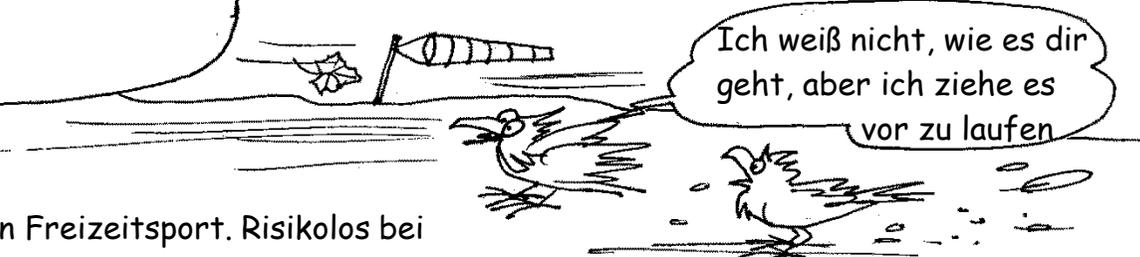
FLUGBEREICH

42

Es gibt atmosphärische Bedingungen, die das Fliegen einiger Flugzeuge verhindern.



Es gibt drei Kategorien:
1 - atmosphärische Konditionen
2 - das Flugzeug
3 - der Pilot

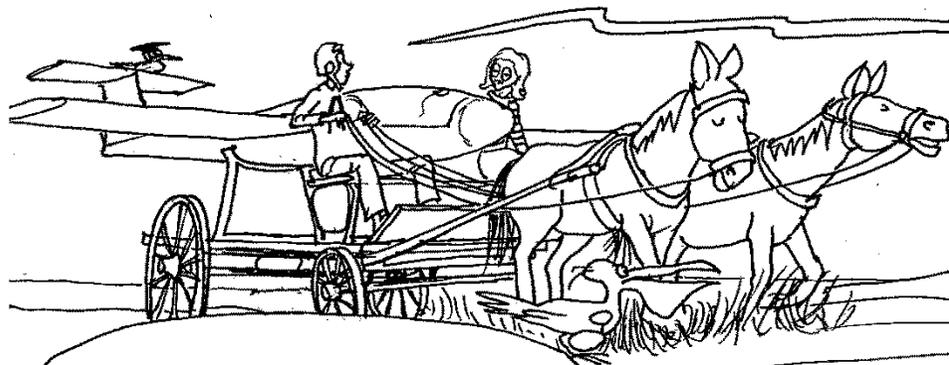


Ich weiß nicht, wie es dir geht, aber ich ziehe es vor zu laufen

Paragliten ist ein Freizeitsport. Risikolos bei gutem Wetter wie z.B. am frühen Morgen ohne Wind und turbulenten Böen. Bei turbulenten Winden hingegen, fliegt das Risiko immer mit. Flugzeuge, die gleich aussehen, können sehr unterschiedliche Flugbereiche haben. Einige sind nachsichtig, andere weniger. Performanz-Rennen, die Krankheit unserer heutigen Zeit, begünstigen die Risikobereitschaft.



In der Welt des Fliegens gibt es einen Spruch:
ES GIBT ALTE PILOTEN UND ES GIBT VERWEGENE PILOTEN. ABER ES GIBT KEINE ALTEN VERWEGENEN PILOTEN.



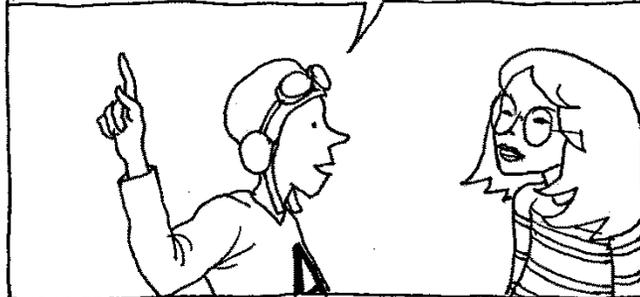
Das ist wirklich gut. Auf diese Straße können wir das Segelflugzeug auf 500m über Grund bringen

Knüppel, Wollgarn, das ist alles Frauensache

So, jetzt sind wir oben. Aber in welche Richtung sollen wir abheben?

Gegen den Wind. So bekommen wir schneller Geschwindigkeit, da sich die Luft schon bewegt.

Windrichtung? Da kenne ich den Trick mit dem feuchten Finger

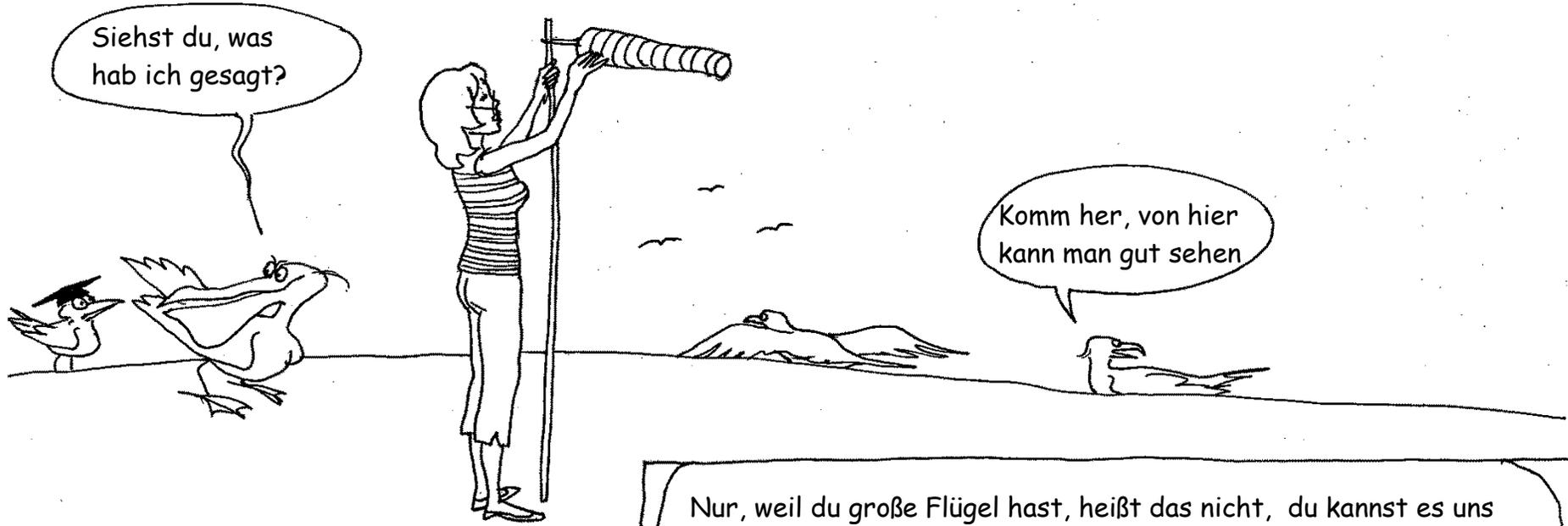


Wartet, ich habe eine Idee. In dieser Hitze würde ich mich besser mit kurzen Ärmeln fühlen. Los, geh mir einen Stock holen

Lenny, denkst du nicht, dass du etwas zu weit gehst?



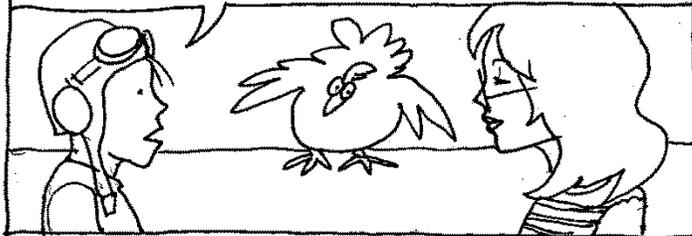
WINDSÄCKE



Siehst du, was hab ich gesagt?

Komm her, von hier kann man gut sehen

Nicht alle Vögel sind nach demselben Plan gebaut. Einige fliegen ohne große Flügelbewegung. Und es gibt andere, zum Beispiel Hennen....



Nur, weil du große Flügel hast, heißt das nicht, du kannst es uns zeigen. Wenn wir Platz unter uns hätten, würden wir genauso gut fliegen können.



Geeeenau....

Da drüben gibt es ein Kliff, lass uns sehen, wie gut du es kannst

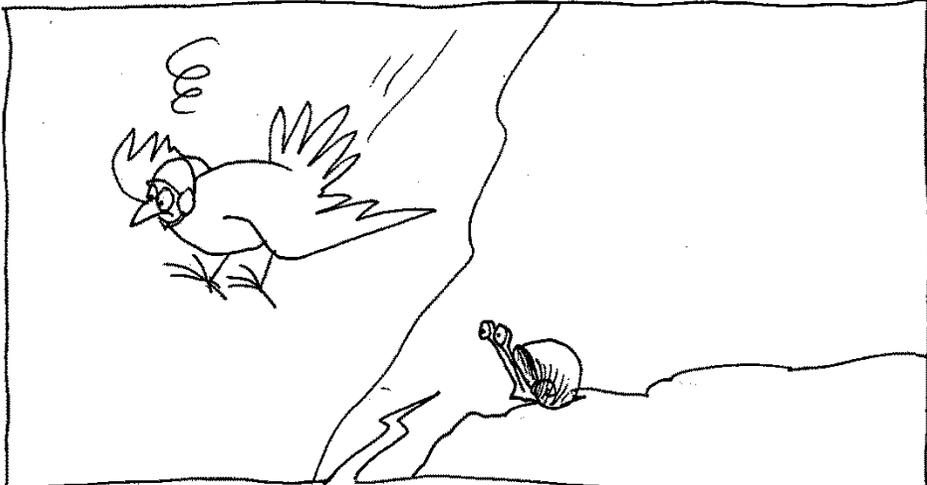
Vorwärts, zeigt diesen gefiederten Möwen, was wir alles können

Ah! Wäre ich nur 10 Jahre jünger

Die Ehre des Geflügels steht auf dem Spiel!

Hennen schätzen Entfernungen durch binokulares Sehen ab

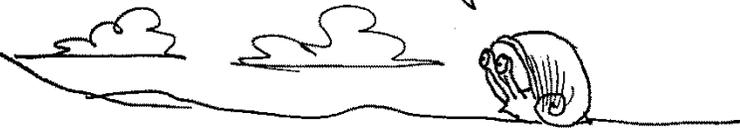
genau wie Schlangen



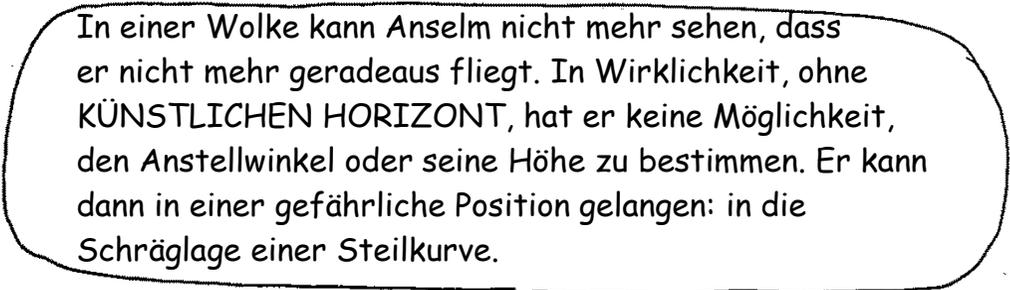
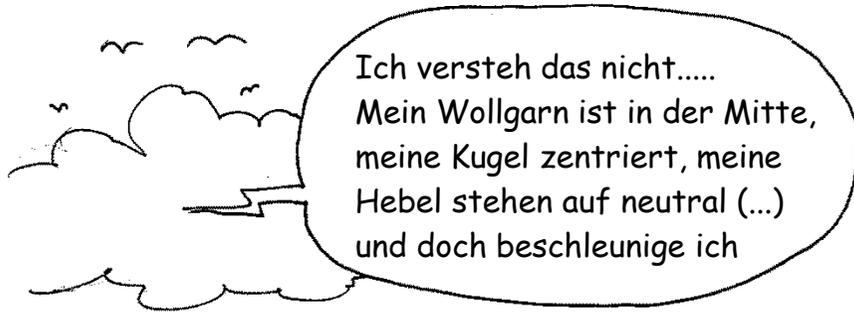
Sobald sie sich vom HANG wegbewegt, kann sie keine Entfernungen mehr wahrnehmen

Heilige Pinguinscheiße! Wo geht es hoch, wo runter? Ich erkenne nichts mehr ...

Wenn sie weg vom Boden ist, verliert sie alle ihre Landmarken, so wie ein Pilot verloren ist in Wolken oder Nebel. Es ist als ob sie blind wäre.



STEILKURVE



Lässt man eine Henne 200m über Grund fallen, kann sie ihre visuellen Eindrücke nicht zu einer 3-dimensionalen mentalen Karte der Welt um sie herum verarbeiten. Sie gelangt in eine Schräglage und kann nicht mehr heraus (*)

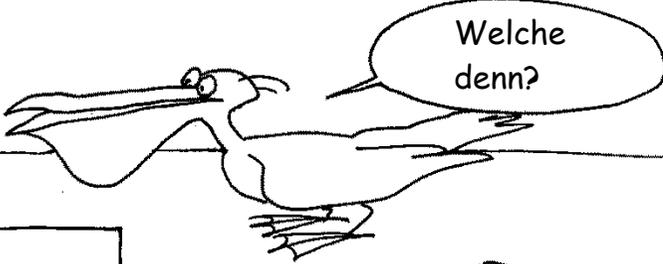
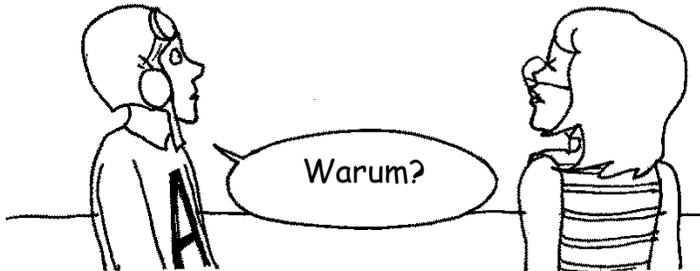
MAYDAY!

(*) Authentisch!

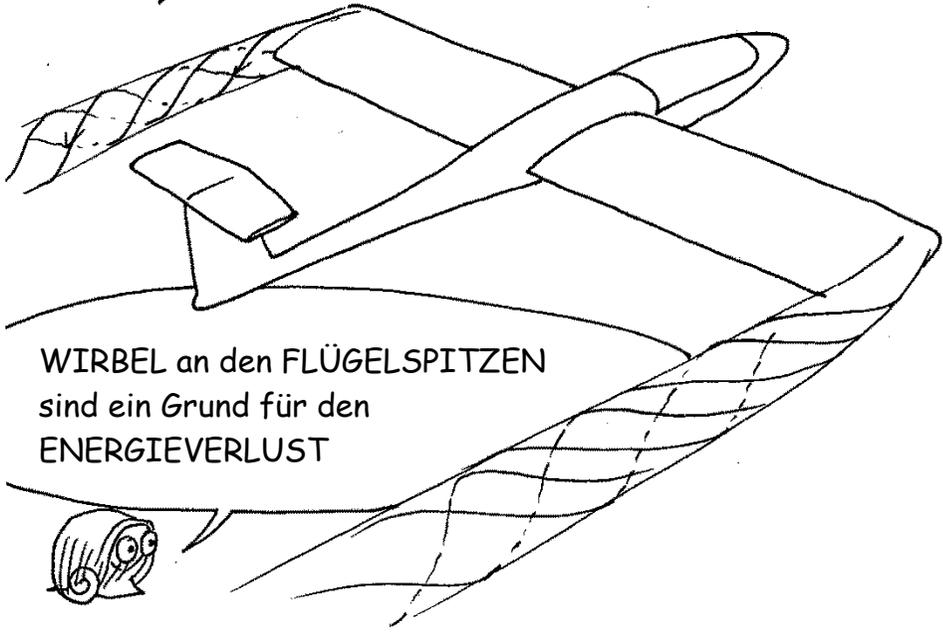
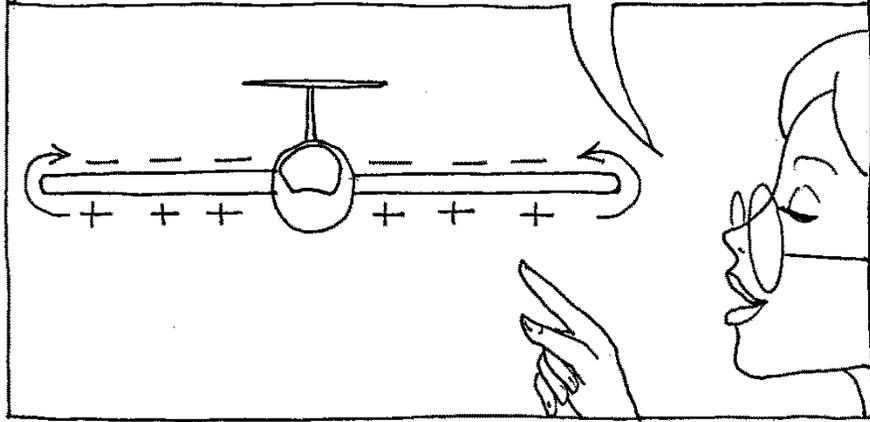


Vögel, die fliegen ohne müde zu werden, haben alle lange Flügel: Raptoren, Albatrosse

Du bist von einem Hanggleiter in ein Segelflugzeug mit Cockpit umgestiegen, hast alle Oberflächen so glatt wie möglich gemacht um keine Energie durch die Turbulenzen zu verschwenden, die dein Flugzeug auf seinem Weg generiert. Aber du hast etwas vergessen



So wie deine Flügel arbeiten, hast du einen höheren Druck unten, an der unteren Fläche und einen niedrigere Druck oben, an der oberen Fläche. Dann passiert das Folgende:

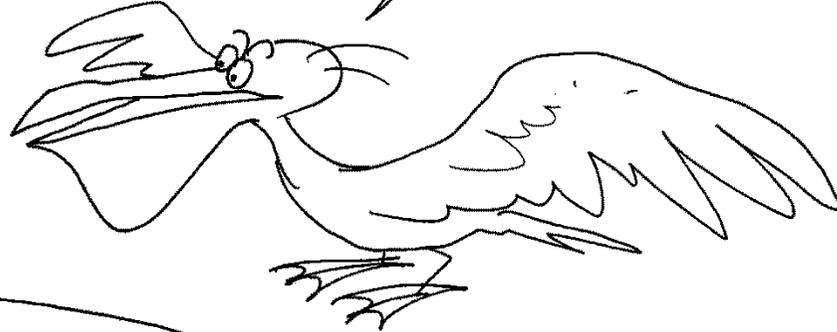


WIRBEL an den FLÜGELSPITZEN sind ein Grund für den ENERGIEVERLUST



Da die Spitzen der Grund für den Energieverlust sind, musst du sie nur entfernen, und einen endlosen Flügel bauen

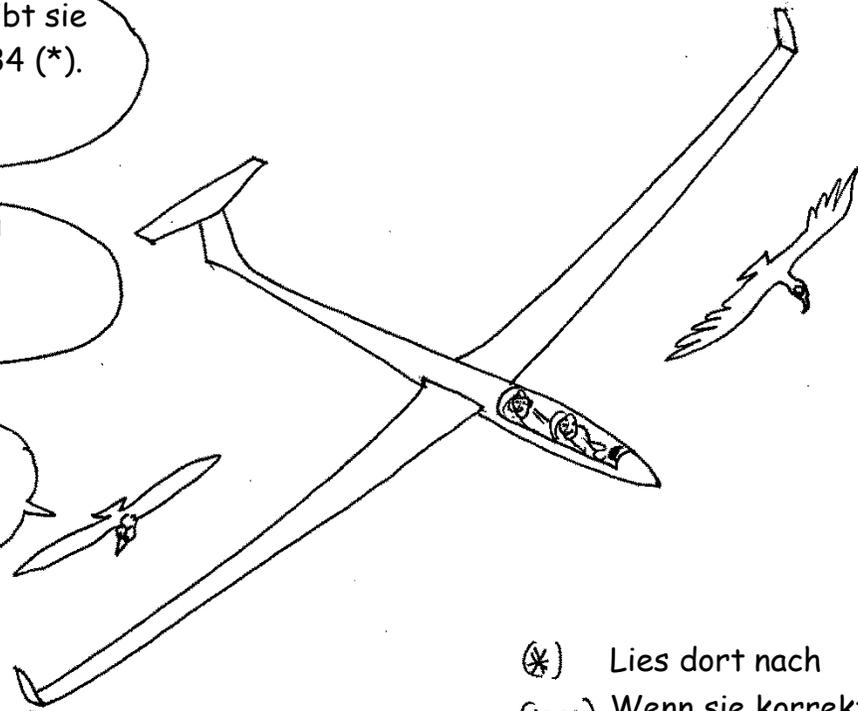
Teresia, hör auf, Unsinn zu erzählen. Es gibt keine solche Dinge wie endlose Flügel!!!



Doch, die gibt es. Und der Zauberer Merlin beschreibt sie im Buch CINDERELLA 2000 auf den Seiten 33 und 34 (*). Diese Flügel sind auch sehr gute Gleiter (**)

Eine andere Möglichkeit ist, die Flügel soweit zu verlängern wie möglich, um den Verlust an den Flügelspitzen auf fast nichts zu reduzieren

Und warum stehen die Flügelspitzen nach oben?!

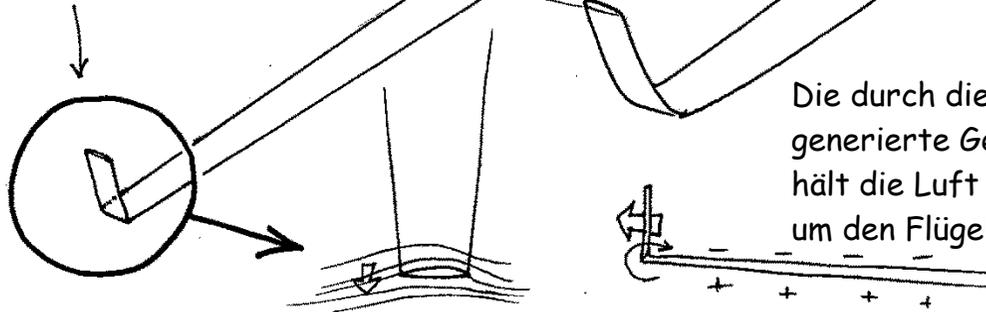


(*) Lies dort nach

(**) Wenn sie korrekt zentriert sind

WINGLETS

Skizze

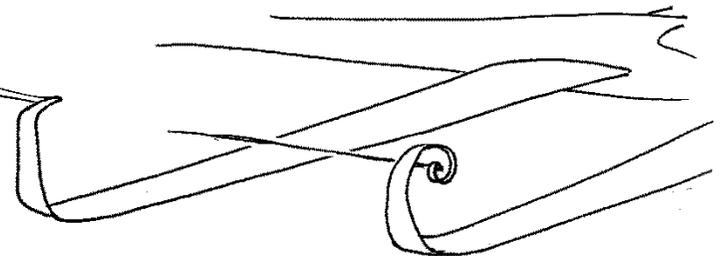


Die durch die WINGLETS generierte Geschwindigkeit hält die Luft davon ab, um den Flügel zu fließen

In a nutshell, oder kurz gesagt: WINGLETS sind Mini-Flügel orthogonal zu den Hauptflügeln, ihre Tragfläche INDUZIEREN eine (geringe) GESCHWINDIGKEIT, die verhindert, dass Luft um den Flügel aufgrund der Druckunterschiede zwischen unterer und oberer Fläche fließen kann.

Winglets schaffen ihre eigenen Verwirbelungen an der Flügelspitze, aber der Vorteil ist so offensichtlich, dass diese Idee, die vielleicht schon vor einem Jahrhundert entstand, nun immer mehr Einfluss in der gesamten Luftfahrt gewinnt

Nun, ICH habe die (WINGLET)² erfunden



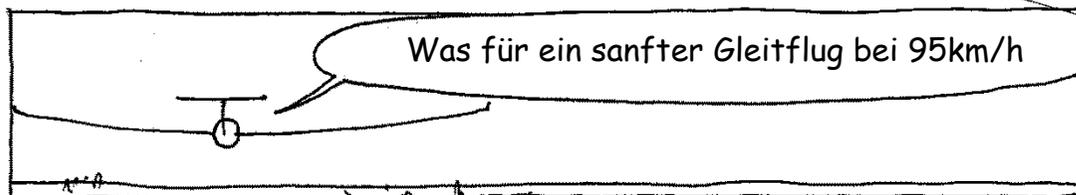
Basierend auf Tests, die ich durchgeführt habe, lässt uns dieses neue Segelflugzeug mit 500 Höhenmetern das Feld erreichen, das du in der Ferne nahe dem Horizont siehst, das sind 20 Kilometer (*)



Lass uns beginnen! Wollfaden gerade in der Mitte, optimale Geschwindigkeit um die BESTE GLEITZAHL zu erreichen



Was für ein sanfter Gleitflug bei 95km/h



Ich habe alles optimiert: die Tragfläche sind dünn und glatt, um die Luft leichter zu durchschneiden. Ich habe sogar ein einziehbares Rad zum Landen angebaut. Dieses Mal habe ich an ALLES gedacht. Ich habe nichts dem Zufall überlassen



(*) was sich in einer GLEITZAHL von $d/h=40$ übersetzt. Aber Segelflugzeuge haben eine besser Gleitzahl als 60 (Anflugwinkel = 1 Grad)

Perfekter Versuch, oder fast. Ausfahren des Fahrwerks. Geschickt habe ich die Bäume am Eingang der Landebahn vermieden.

Wir konnten sie von so weit weg schlecht sehen.

Sophie, was passiert hier? Wir sind schon fast am Ende der Landebahn

Deine Bäume waren 10 Meter hoch. Das addiert 400 Meter zu deinem Weg (*)

Oh ja, du hast Recht. Wir werden niemals landen!

Ah, endlich!
Ich ziehe die Bremse

Nicht zu hart, oder willst du uns auf den Kopf stellen?

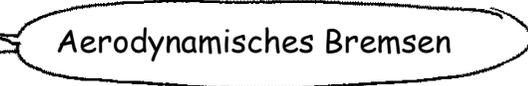
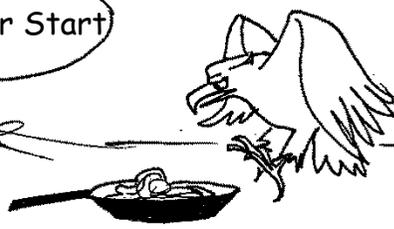
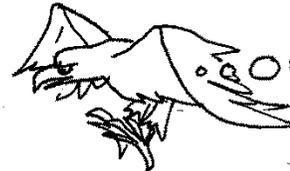
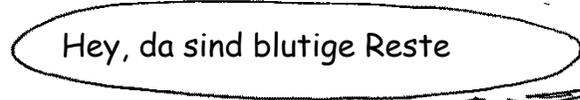
MUH!

Das war knapp!

Ich habe schon gedacht, wir würden die Kuh fangen.

* 10 Meter x Gleitzahl 40 = 400 Meter

LUFTBREMSSEN

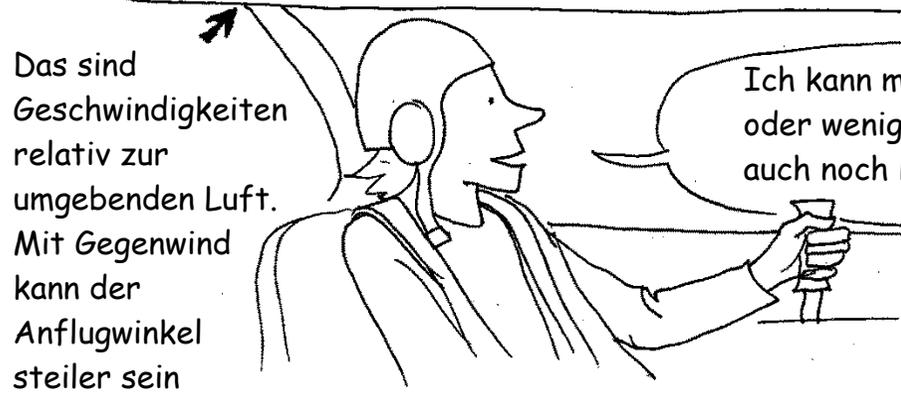


(*) Das erlebte der Autor im Camp Simba beim Ngoro Ngoro Krater in Tansania als Safari Guide in Afrika



Du kannst eine Apparatur verwenden, die aus dem Flügel springt und den Auftrieb zerstört (spoil the lift, daher der Name SPOILER). Wenn diese über eine Großteil des Flügels geht, erzeugt es einen großen Zug, der dein Flugzeug langsamer macht. Somit sinkst du bei 100km/h mit 4m/s, dadurch geht deine Gleitzahl runter auf $(28\text{m/s}) / (4\text{m/s}) = 7$

(**) entgegen 0.5 bis 1 m/s im normalen Flug (relativ zur umgebenden Luft)



Das sind Geschwindigkeiten relativ zur umgebenden Luft. Mit Gegenwind kann der Anflugwinkel steiler sein

Ich kann mein Sinken kontrollieren, indem ich sie mehr oder weniger ausfahre und am Ende kann ich damit auch noch Bremsen

(**) Diese Abbildungen kommt einem normalen Trainingssegelflugzeugs ohne Spoiler ziemlich nahe, dessen Gleitzahl $g > 30$ ist

(*) Man versuchte das bei Flugzeugen in den 1930er Jahren, aber mit wenig Erfolg