

SCHWEBEN WIE IM SIEBTEN HIMMEL

Jean-Pierre Petit



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.



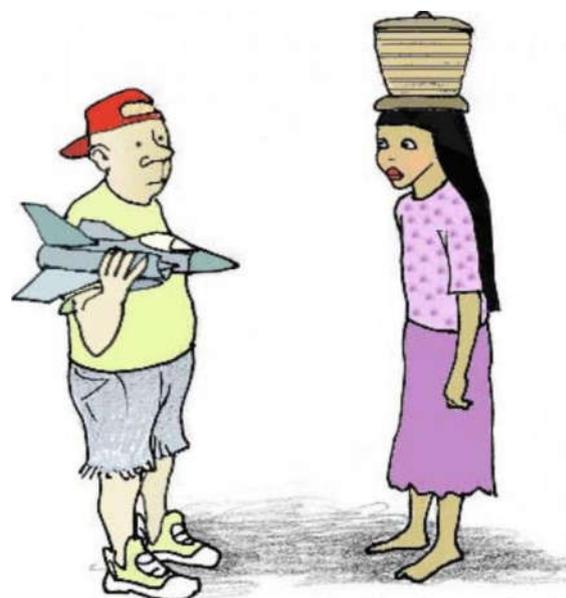
Jean-Pierre Petit

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>



Eine originelle Idee: Voltaire zu bemühen, um das Flugprinzip des Hubschraubers verständlich zu machen. Heraus kommt eine humorvolle Story mit witzigen Anekdoten.

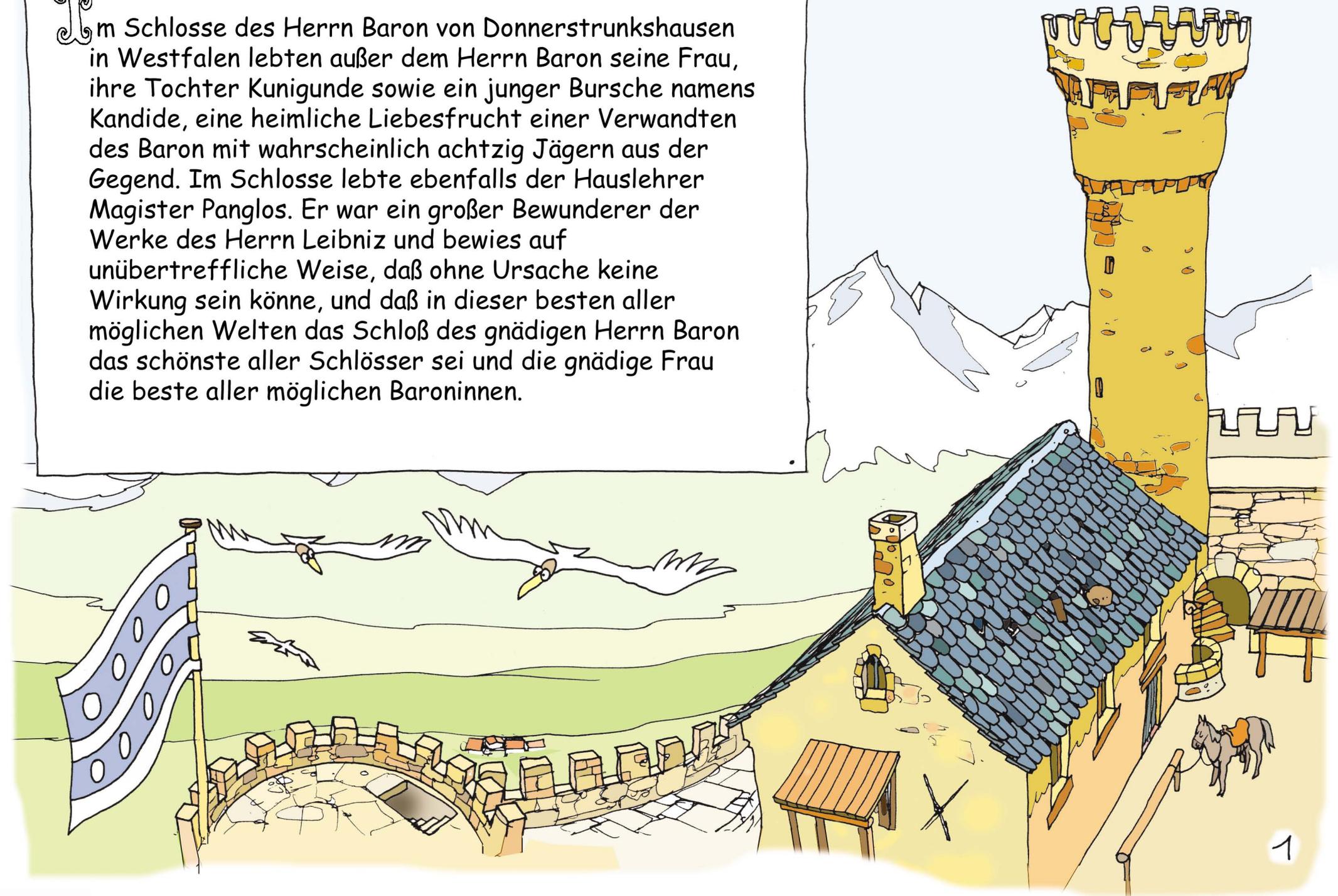
Gleichzeitig wird auf Basis einer fundierten Beschreibung der technischen und theoretischen Sachverhalte erstes Grundwissen für zukünftige Piloten vermittelt.

Hubschrauber – diese genialen Flugmaschinen – haben auch weiterhin eine glänzende Zukunft vor sich!

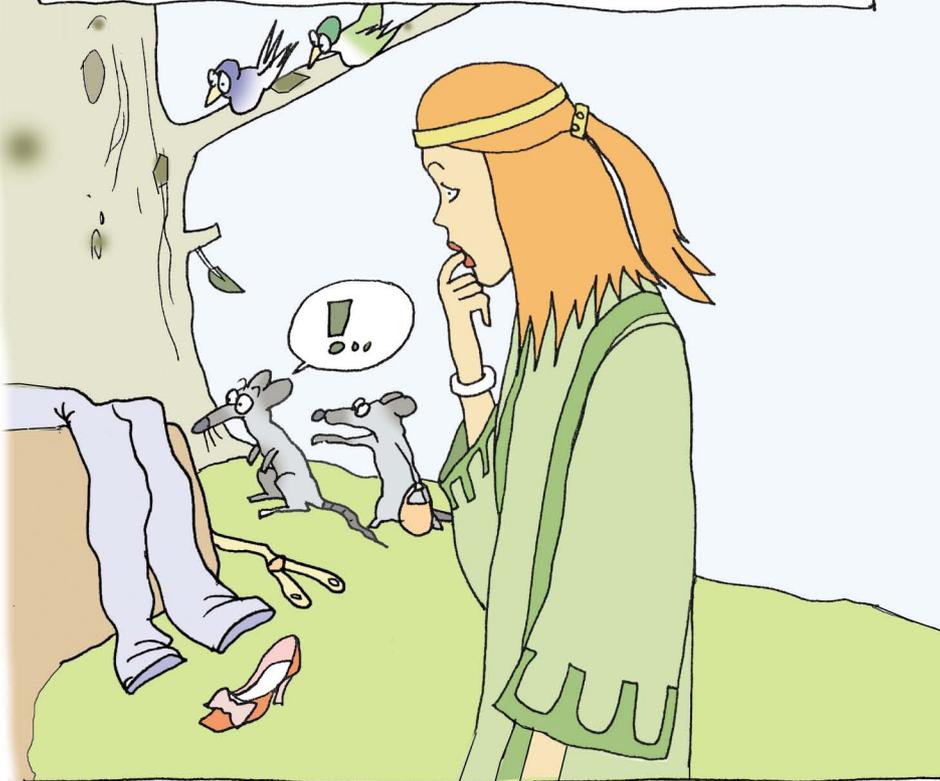
Jean Boulet

A handwritten signature in white ink, appearing to read 'J. Boulet', with a long horizontal stroke extending to the left.

Im Schlosse des Herrn Baron von Donnerstrunkshausen in Westfalen lebten außer dem Herrn Baron seine Frau, ihre Tochter Kunigunde sowie ein junger Bursche namens Kandidate, eine heimliche Liebesfrucht einer Verwandten des Baron mit wahrscheinlich achtzig Jägern aus der Gegend. Im Schlosse lebte ebenfalls der Hauslehrer Magister Panglos. Er war ein großer Bewunderer der Werke des Herrn Leibniz und bewies auf unübertreffliche Weise, daß ohne Ursache keine Wirkung sein könne, und daß in dieser besten aller möglichen Welten das Schloß des gnädigen Herrn Baron das schönste aller Schlösser sei und die gnädige Frau die beste aller möglichen Baroninnen.



Eines Tages erblickte Baronesse Kunigunde, sie war im zarten Alter von 17 Jahren, den Herrn Magister Panglos, der hinter dem Gestrüch mit ihrer Frau Mutter Kammerjungfer Versuche aus der Experimentalphysik anstellte. Da Kunigunde sehr wissbegierig war, beobachtete sie mit angehaltenem Atem die wiederholten Experimente, die vor ihren Augen vorgenommen wurden.



Deutlich sah sie Panglosens hinreichenden Grund, die Ursachen und Wirkungen, und schlich fort tief in Gedanken versunken. Ihr war so wohl und so weh ums Herz; die Begier, belehrt zu werden, erfüllte ihre ganze Seele.

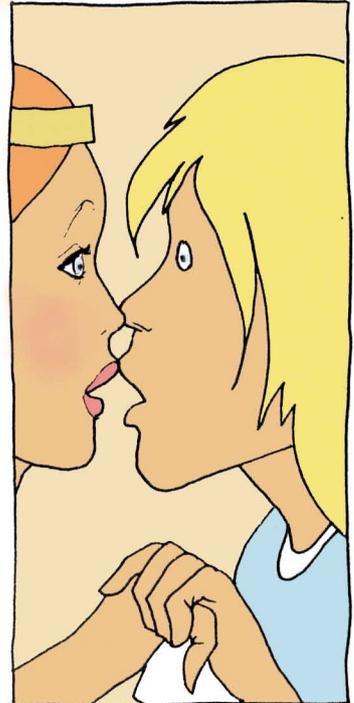


Beim Hereintreten ins Schloß begegnete ihr Kandidate; sie ward rot, Kandidate auch. Guten Morgen Kandidate! stammelte sie. Und Kandidate schwatzte mit ihr, ohne zu wissen was.





Kunigunde ließ ihr Taschentuch fallen. Kandidate bückte sich, um es aufzuheben; das gleiche tat sie. Ihre Hände berührten sich, ihre Knie bebten.



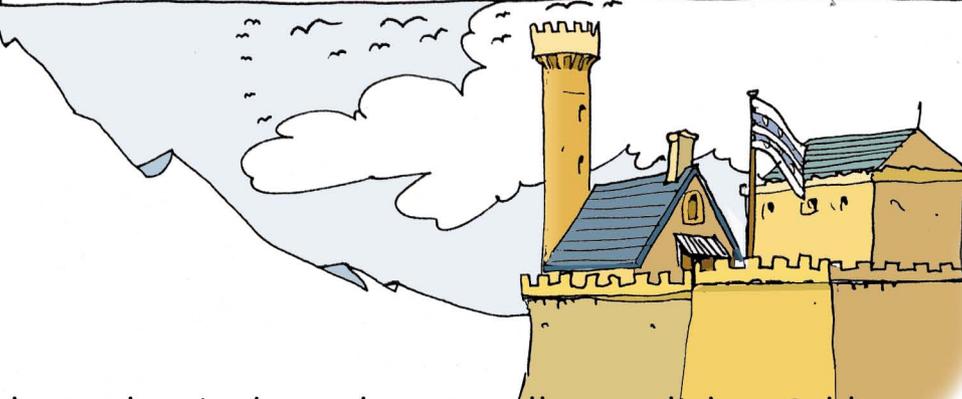
Ihre Lippen begegneten einander, ihre Hände verirren sich. Der Herr Baron, der gerade vorbei kam, sah die Szene, die Ursache und die Wirkung.



Mit derben Fußtritten jagte er Kandidate zum Schlosse hinaus.



Mit Ohrfeigen brachte die Frau Baronin ihre Tochter wieder zu sich und sperrte sie ganz oben im Wachturm ein.



Und allgemeine Bestürzung herrschte in dem schönsten aller möglichen Schlösser...

Deutsche Übersetzungen: „Kandide oder der Optimismus“ und „Kandide oder die beste aller Welten“.



Und da sitzt er nun, unser von seinem Schwiegervater in spe vertriebener Verliebter...

Ach, Meister Panglos, ich bin zum unglücklichsten Mann der Welt geworden. Der Baron hält seine Tochter im Wachturm gefangen. Und ihre Mutter hat ihr nur einen Schlafsack gelassen, um zu verhindern, dass sie die Bettlaken zu einem Seil zusammenknotet und entkommt.



Zusammen würden wir irgendwohin fliehen. Aber ich müßte wohl ein Vogel sein, um sie aus diesem Gefängnis befreien zu können.

Da kann ich Ihnen vielleicht behilflich sein...



Ich besitze eine Flugmaschine: Ein Flugzeug.

Wieviel Platz brauchen Sie aber, um zu landen?

Etwa hundertfünfzig Meter...



Das wird niemals klappen! Die Terrasse des Turms, wo Kunigunde gefangen gehalten wird, ist viel zu klein!

(* In: „Warum kann ich nicht nicht fliegen?“ (auf: <http://www.savoir-sans-frontieres.com>) erfährt man, wie und warum ein Flugzeug fliegt.

Ich müsste die Ausrollstrecke verkürzen können, indem ich beim Anflug langsamer werde. Der **AUFTRIEB** der Tragfläche ist ja proportional zu deren **ANSTELLWINKEL** α . Indem ich das Flugzeug etwas hochziehe, kann ich bestimmt viel langsamer fliegen...



Es funktioniert wie bei einem Auslegerkran.



Diese Verstreben stehen unter **ZUGSPANNUNG**.



Der **LÄNGSTRÄGER** hält den durch den **AUFTRIEB** verursachten Verformungen (Biegungen) stand.

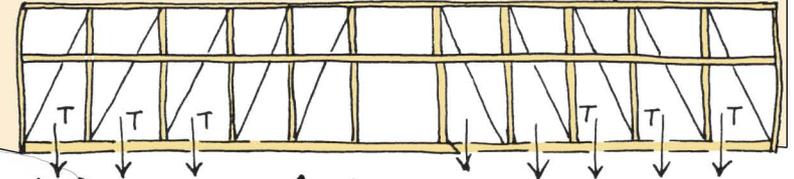
Das ist also dieser Flügel, der es Ihnen erlaubt, sich in die Luft zu erheben?



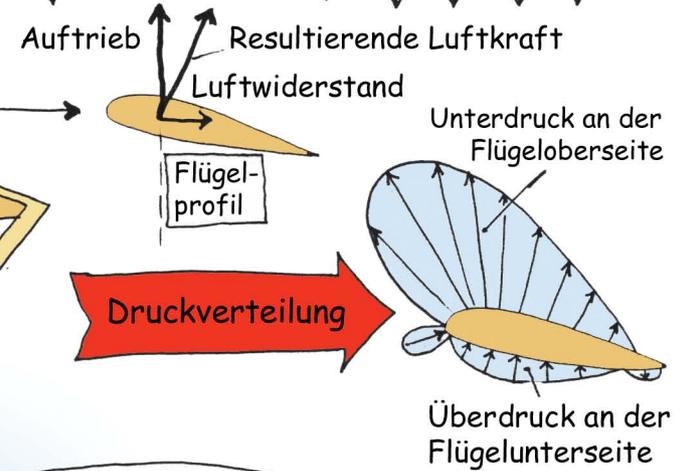
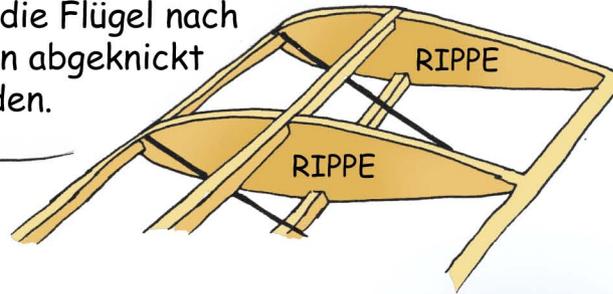
Ja.

Fahrtwind

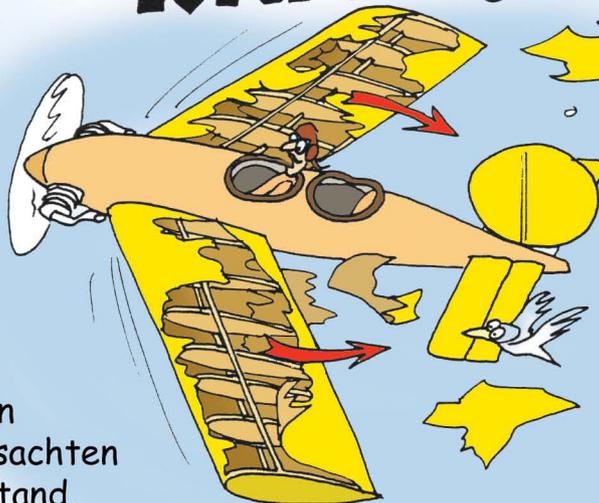
Vorderkante des Flügels



Ich habe Drahtspanner eingebaut, die dem Luftwiderstand standhalten und dadurch vermeiden, dass die Flügel nach hinten abgeknickt werden.



KRAK!



Meine lieben Herren, ohne diese Drahtspanner würden die Flügel zerrissen werden.

Gut, daß es sie gibt...



Gut, mal sehen, wie sehr wir die Landegeschwindigkeit verringern können, indem wir das Flugzeug hochziehen

Ich ziehe hoch ...

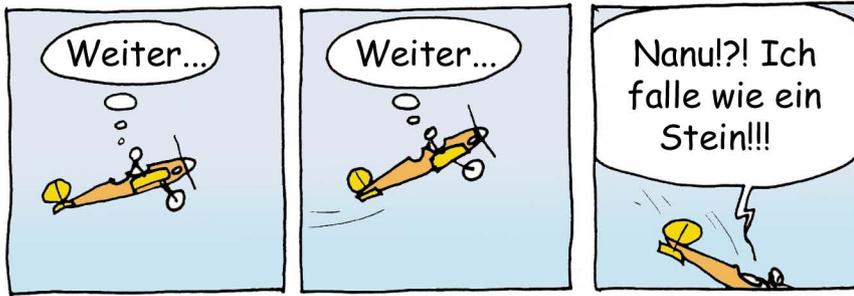
KRAAAK!

Plötzlich brechen aber die Flügel ab und knicken nach vorne!

So, jetzt ist es wieder in Ordnung. Es müsste doch reichen, eine zweite Reihe Drahtspanner hinzuzufügen, um zu vermeiden, dass die Flügel nach vorne abknicken.

Die Maschine ist nun ausreichend verstärkt. Ich werde nun langsam hochziehen ...

... entweder wird sie aufsteigen oder mir sagen müssen, warum sie's nicht will!



DER STRÖMUNGSABRISS

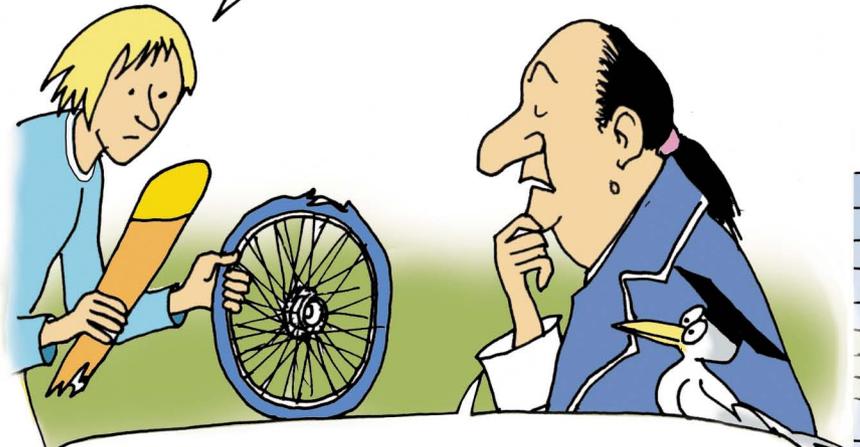


Diesmal haben Sie wirklich Glück gehabt, dass sich dieser Heuhaufen gerade unter Ihnen befand!

Was ist geschehen?

Ich weiß es nicht. Der Auftrieb war ab einem bestimmten Winkel plötzlich verschwunden!?!

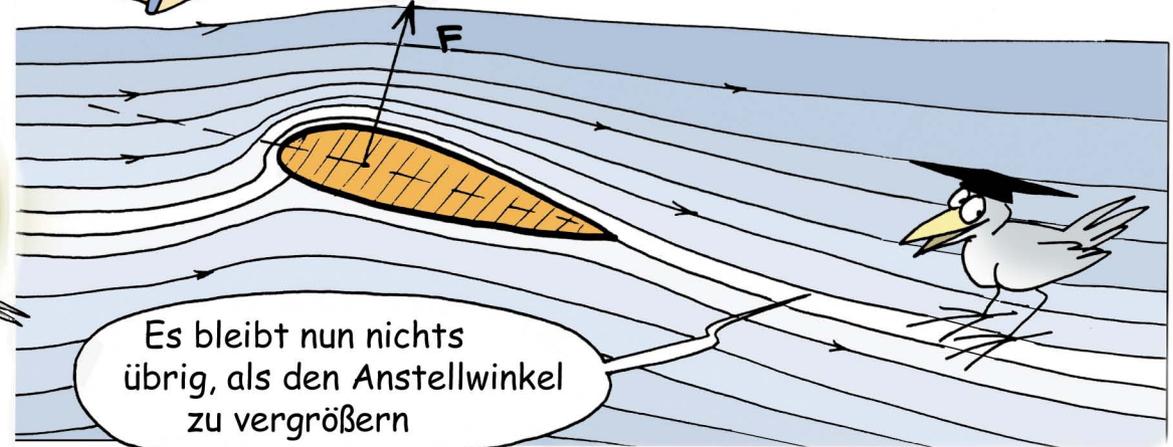
Mit dieser Maschine werde ich jedenfalls Kunigunde nicht befreien können. Ich frage mich gar, ob dieses Gerät irgendeine Zukunft hat.



Da es ohne Ursache keine Wirkung gibt, müssen wir den hinreichenden Grund für das plötzliche Verschwinden des Auftriebs herausfinden.

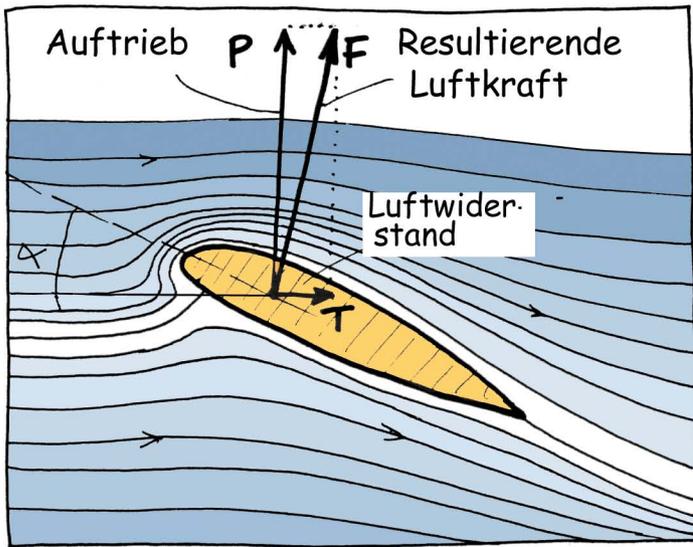


In „Warum kann ich nicht fliegen“ (*) wird darüber kein Wort verloren. Man erfährt nur, daß ein Auftrieb zustande kommt, wenn eine regelmäßige Strömung nach unten abgelenkt wird.

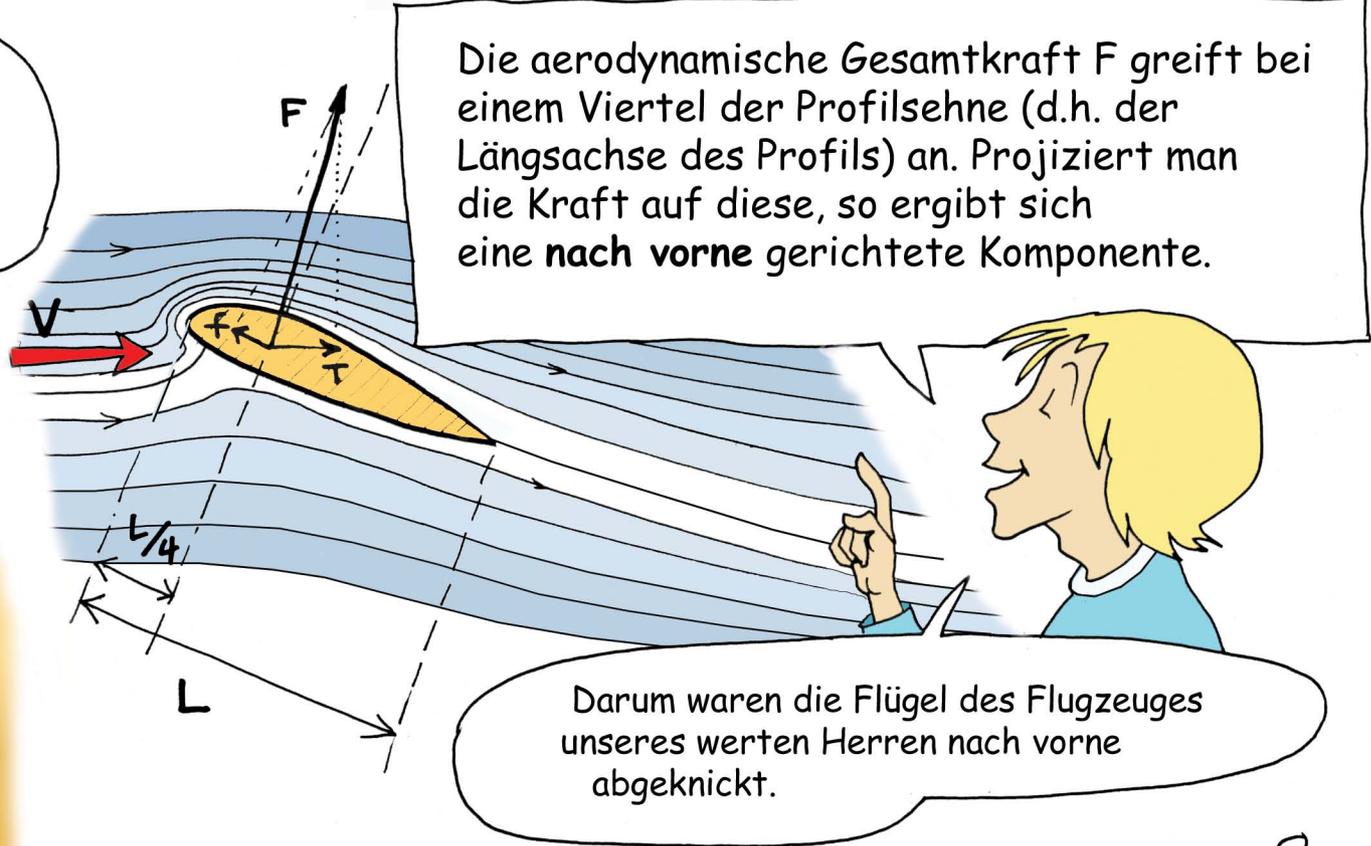


Es bleibt nun nichts übrig, als den Anstellwinkel zu vergrößern

(*) Vgl. <http://www.savoir-sans-frontieres.com>



Wenn ich mir das Strömungsschema bei einem großen Anstellwinkel ansehe, fällt mir etwas auf.



Darum waren die Flügel des Flugzeuges unseres werten Herren nach vorne abgeknickt.

Indes schrieb Kunigunde Brief um Brief an Kandidate...

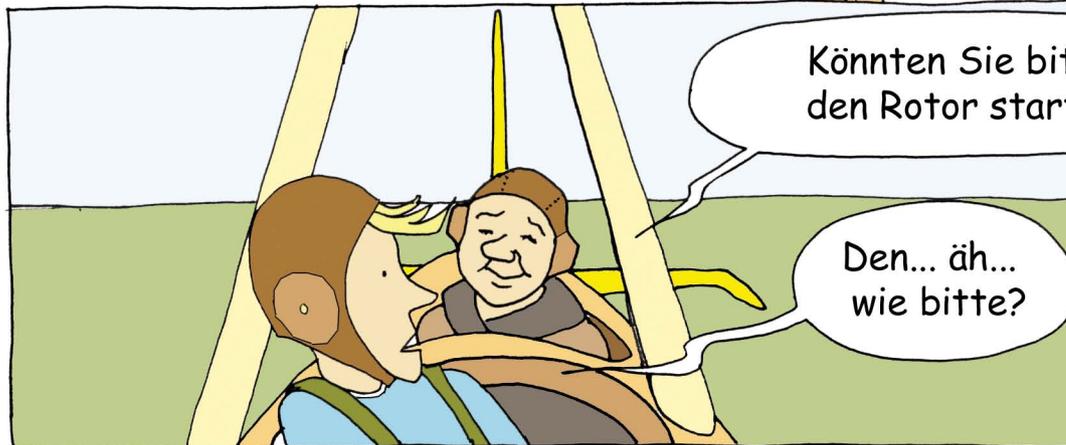
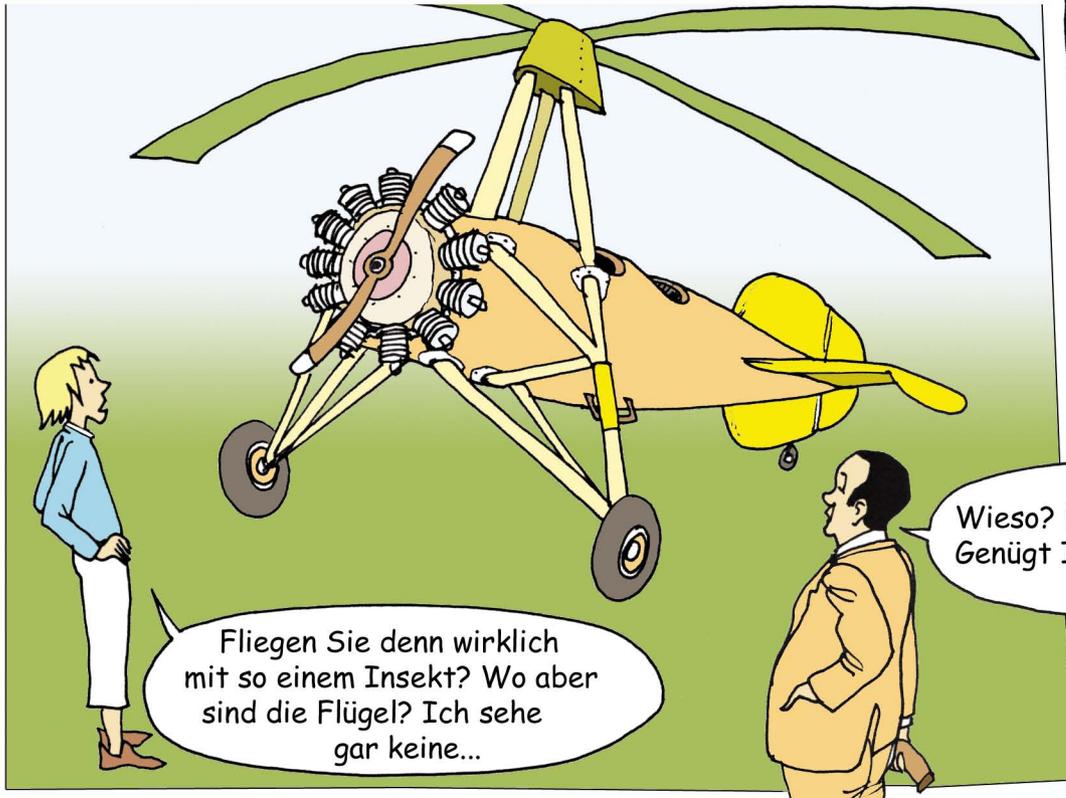
...aber ihre Worte waren derart vor Leidenschaft glühend, dass sich die Briefe entzündeten, bevor sie den Boden erreichten.



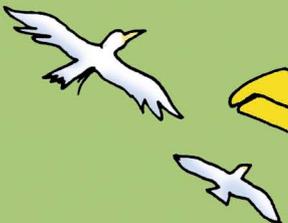
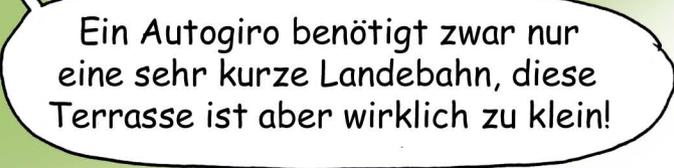
Ein Luftballon vielleicht? Das kann doch nicht gehen! Ich würde doch den Turm verfehlen.



DER AUTOGIRO (*)



(*) Auch Drehflügelflugzeug oder (seltener) Tragschrauber genannt. (Anm. d. Ü.)





Ach, Meister Panglos, mit der fantastischen Maschine des Herrn de la Cierva bin ich über das Schloß und über den Turm geflogen, wo Kunigunde gefangen gehalten wird.

Ist er das, der da wieder startet?



Ach, welch ein Unglück! Nun fliegt er davon und nimmt all seine Geheimnisse mit! Was ist das für eine mysteriöse Kraft, die den Rotor zum Drehen bringt?



Die Erklärung ist doch einfach: Ein Rotor ist dafür da, um sich zu drehen. Daher besitzt er spezielle Eigenschaften, die eine Drehung begünstigen, und er dreht sich ja auch. Es gibt schließlich keine Wirkung ohne Ursache.



Meister, Ihre Schlussfolgerung ist zwar unangreifbar. Dennoch möchte ich gerne mehr darüber wissen...



Was macht denn nun Kandidate?

Ich denke, er will den Windkanal nachbauen, mit dem Herr de la Cierva eine hinreichende Erklärung für diese erstaunliche Erscheinung entdeckt hat.

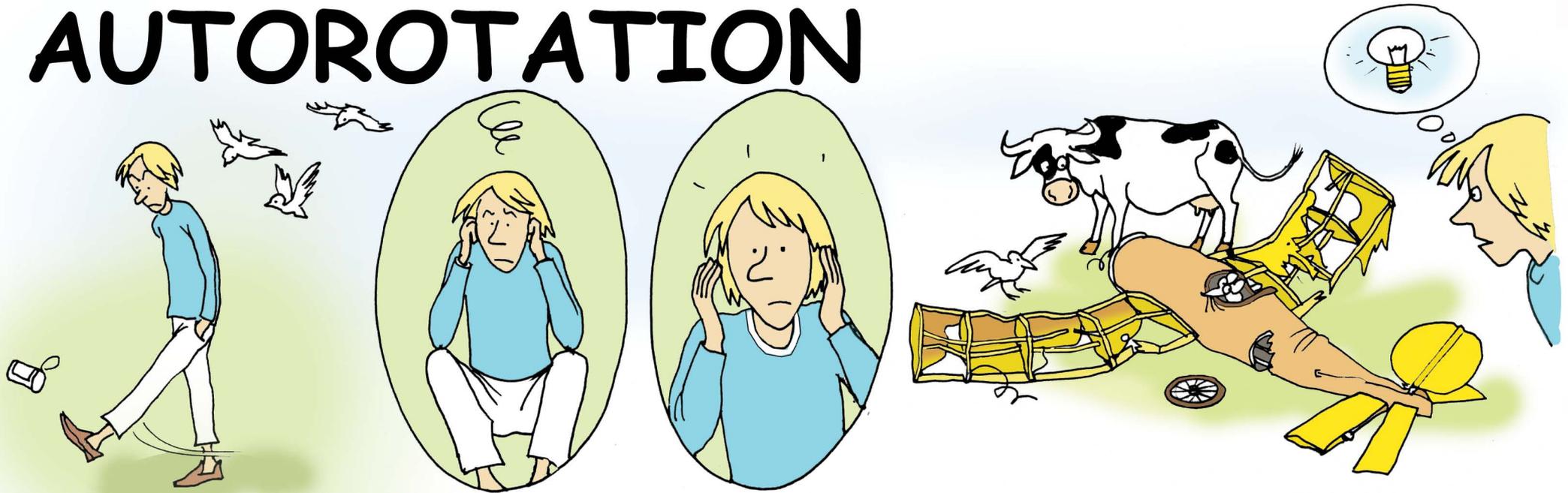


Dazu ein senkrechter Windkanal, ein Beruhigungsgitter (*) und eine Rauchquelle...

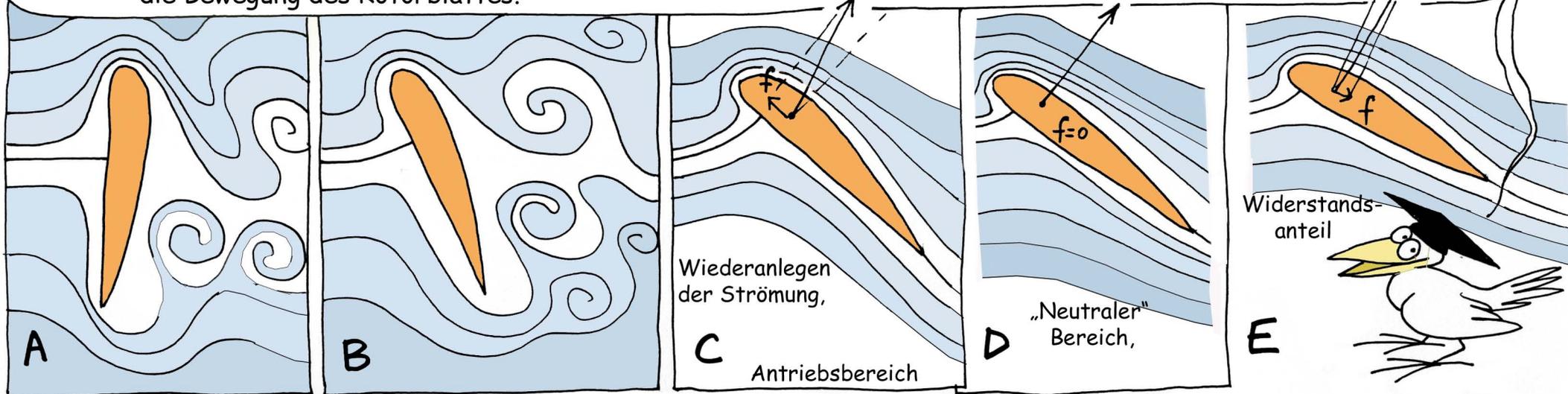


(*) So heißt das Gitter zur Beseitigung der Turbulenzen. (Anm. d. Ü.)

AUTOROTATION



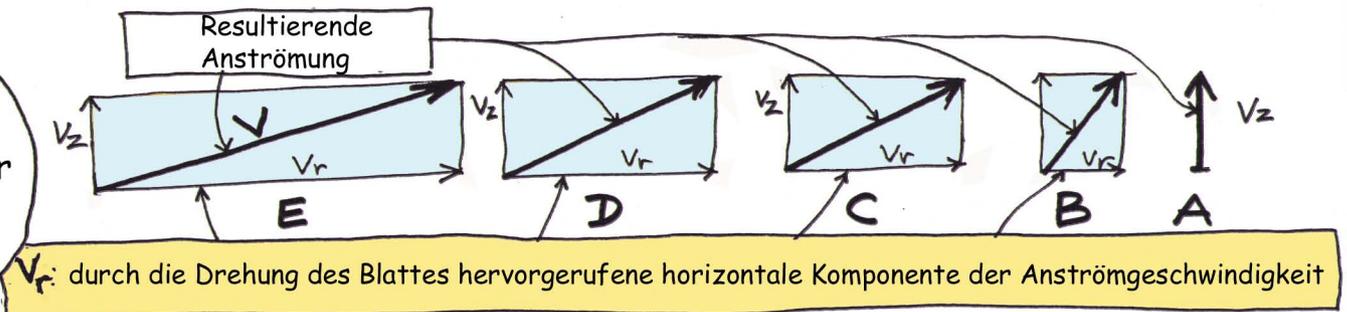
Wenn der Winkel des Rotorblattes im Verhältnis zur Richtung der **RESULTIERENDEN ANSTRÖMUNG** verkleinert wird, legt sich die Strömung wieder an das Profil des Blattes an (Bild C). Die sich ergebende Kraft (f -Komponente) treibt das Blatt nach vorne. In D wird diese Kraft null, in E kehrt sie sich um. Die f -Komponente bremst dann die Bewegung des Rotorblattes.



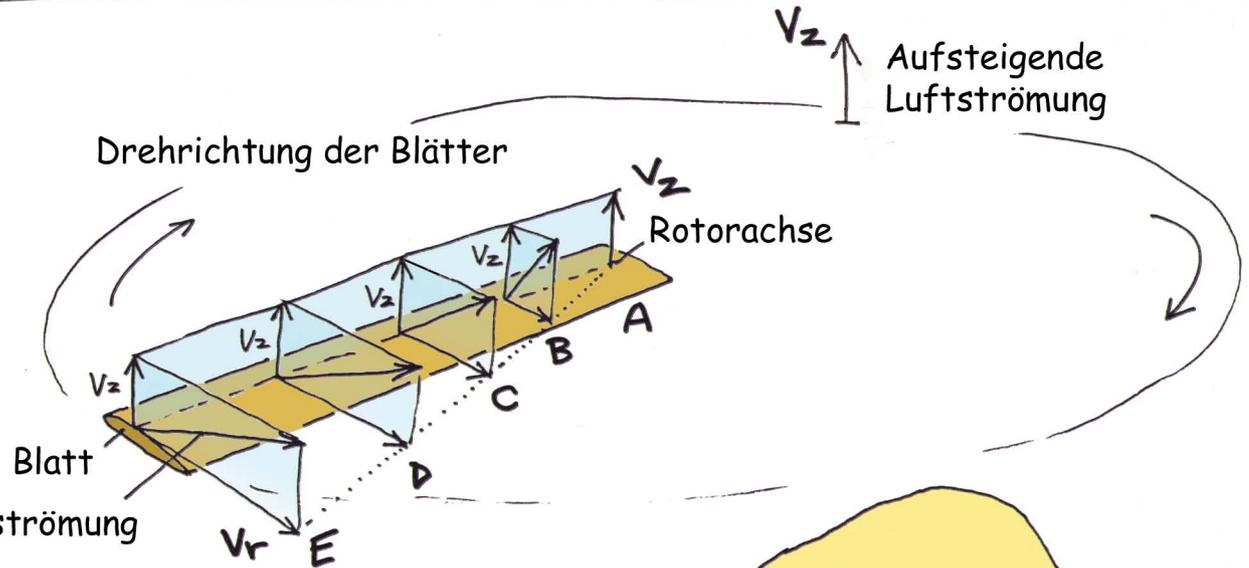
Ich verstehe, mein lieber Kandidate. Aber woher kommt die Richtungsänderung dieser **RESULTIERENDEN ANSTRÖMUNG**, wie Sie sie nennen?



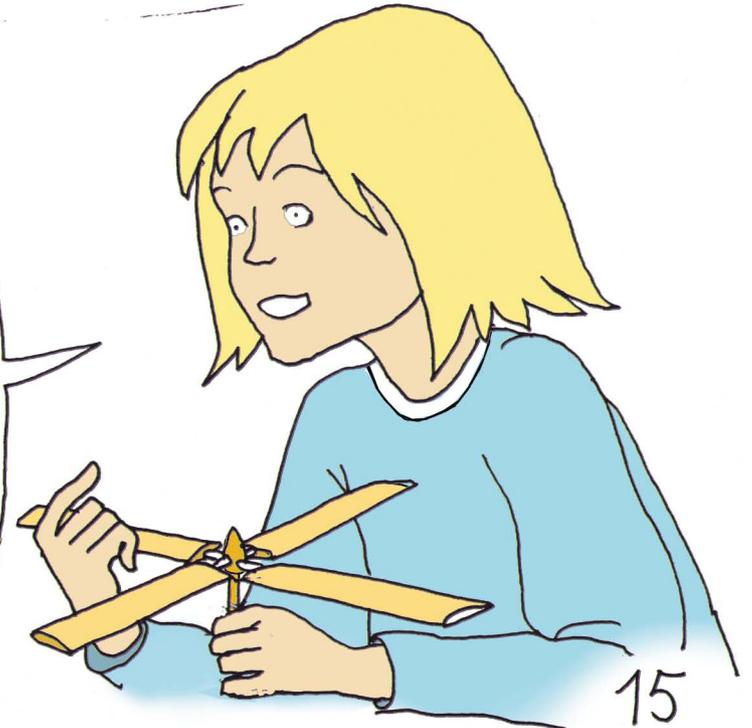
Die Fahrtgeschwindigkeit addiert sich zu der Geschwindigkeit der einzelnen Rotorblätter, die durch die Drehung hervorgerufen wird.



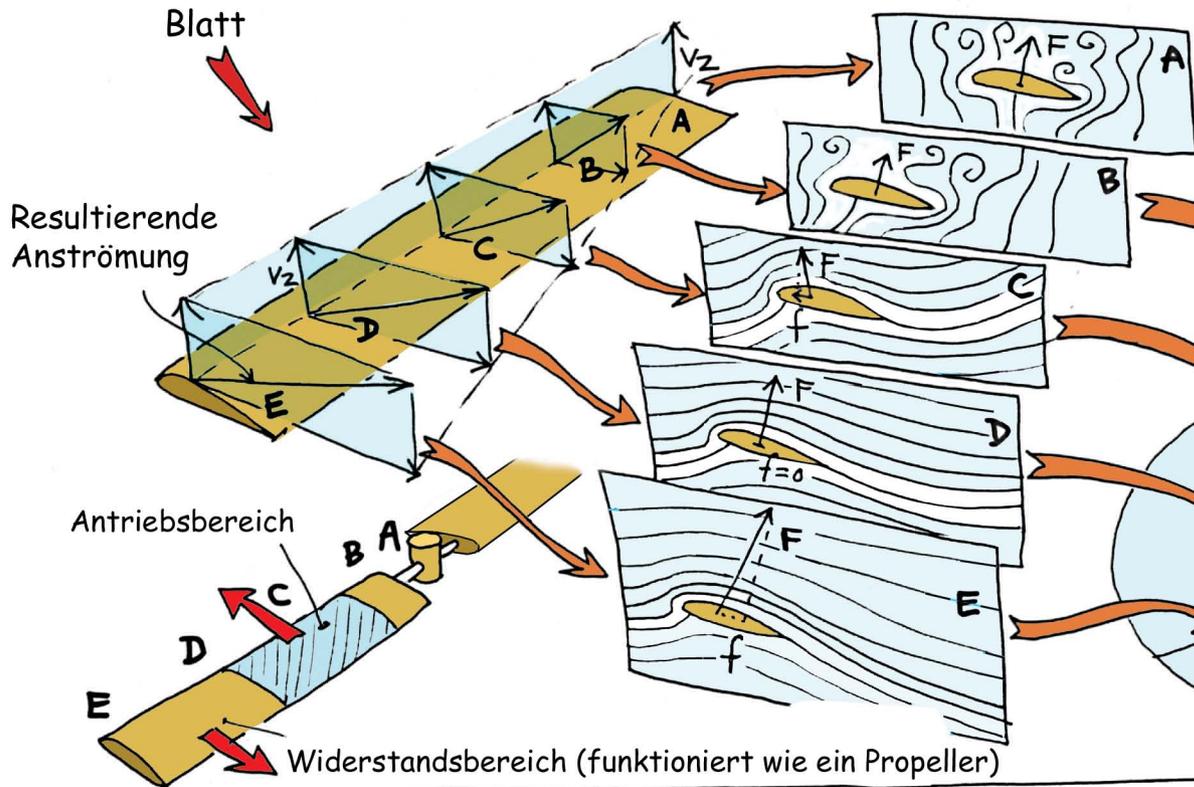
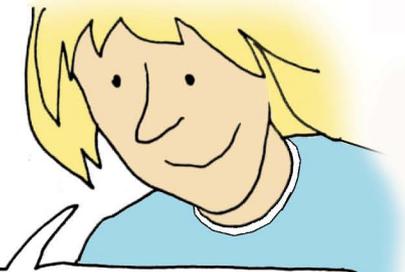
Resultierende Anströmung



Der ganze Rotor befindet sich in einer mit der Geschwindigkeit V_z aufsteigenden Luftströmung. Diese addiert sich zu der durch die Drehung hervorgerufenen Geschwindigkeit der einzelnen Blätter V_r , welche proportional dem Abstand zur Rotorachse ist. Die resultierende Geschwindigkeit entspricht der **RESULTIERENDEN ANSTRÖMUNG**. Je weiter man sich von der Rotorachse entfernt, umso mehr schmiegt sich diese an das Rotorblatt an. Gleichzeitig steigt von der Rotorachse zum Blattende hin der Wert dieser Geschwindigkeit.



Je nach dem, wie sich der Winkel der **RESULTIERENDEN ANSTRÖMUNG** zum Blatt verhält, bekommt man sehr unterschiedliche Strömungen. Um das sichtbar zu machen, habe ich an dem Rotorblatt einen dünnen Schlauch befestigt, der Rauch erzeugt. Und das sind die Ergebnisse, die ich so auf diese Weise bekommen habe.

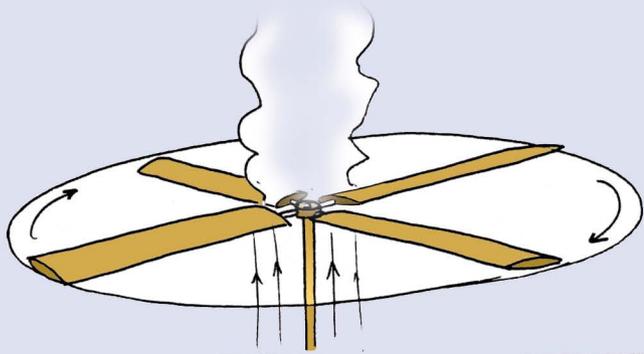


In A und in B „reißt die Strömung ab“: Das Blatt erzeugt starke Wirbel. In C legt sich die Strömung wieder an das Profil an. Die resultierende Kraft treibt das Blatt nach vorne (grau: Antriebsbereich).

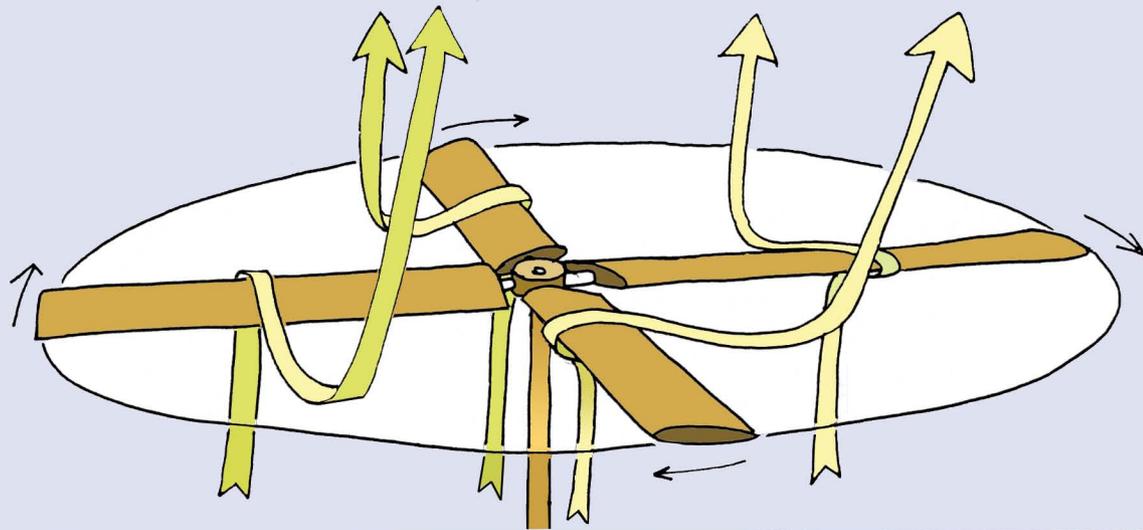
In E neigt die aerodynamische Kraft, die immer noch nach oben gerichtet ist, dazu, die Bewegung des Rotorblattes zu bremsen. Das Bild D stellt den Grenzfall ($f=0$) dar. In diesem Zustand der **AUTOROTATION** stellt das gestreifte Stück den Antriebsbereich dar, während der äußere Teil des Blattes die Bewegung bremst. Der **EIGENSTABILE** Zustand setzt ein.

Und das alles hat Juan de la Cierva im Windkanal ausgetüftelt.

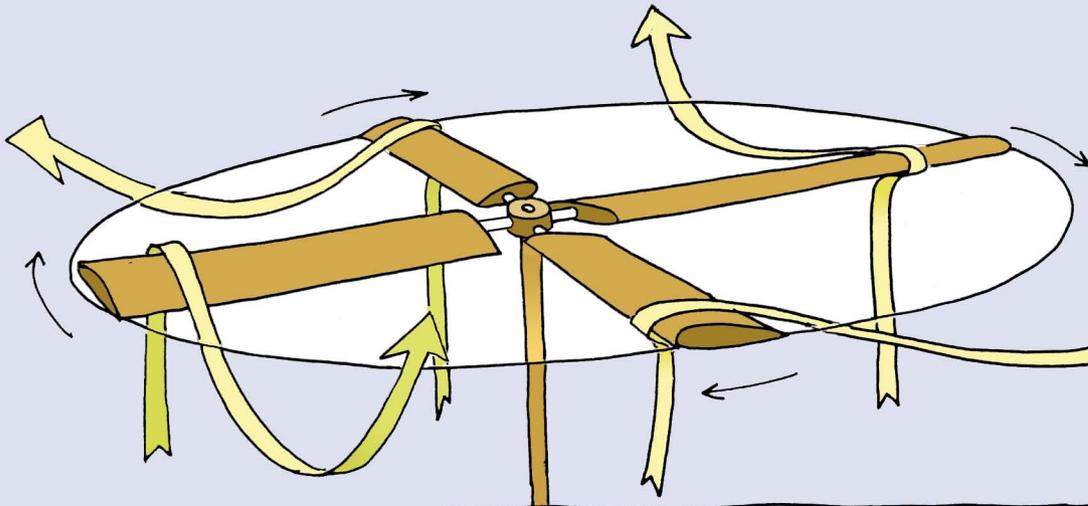




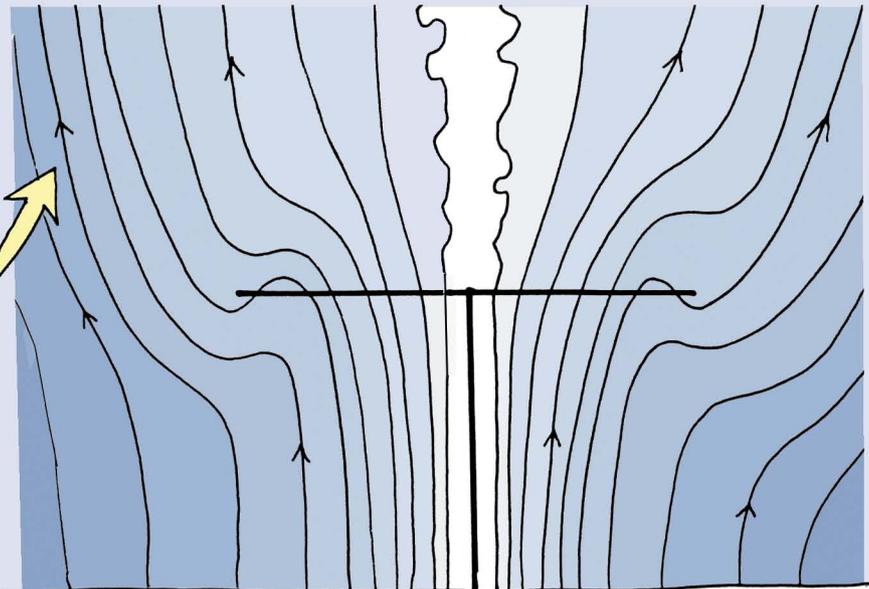
Oberhalb des Zentrums „reißt die Strömung ab“. Es entwickeln sich starke Turbulenzen.



Hier legt sich die Strömung wieder an das Profil der Rotorblätter an.



An der Peripherie wird ein Impuls auf die Luftmasse übertragen und diese wird nach unten abgelenkt (**INDUZIERTER GESCHWINDIGKEIT**). Der Impuls reicht aus, um die Luft aus der Scheibe heraus zu treiben, die durch den Rotor gezeichnet wird.



Für die Gesamtströmung ergibt sich also obiges, seltsam anmutendes Bild.

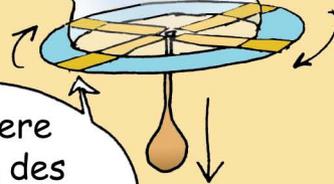
Schauen Sie mal, Meister Panglos. Ich lasse dieses kleine Modell aus dem Fenster fallen, nachdem ich ihm einen kleinen Impuls mitgegeben habe.



Einen kleinen Impuls... warum?

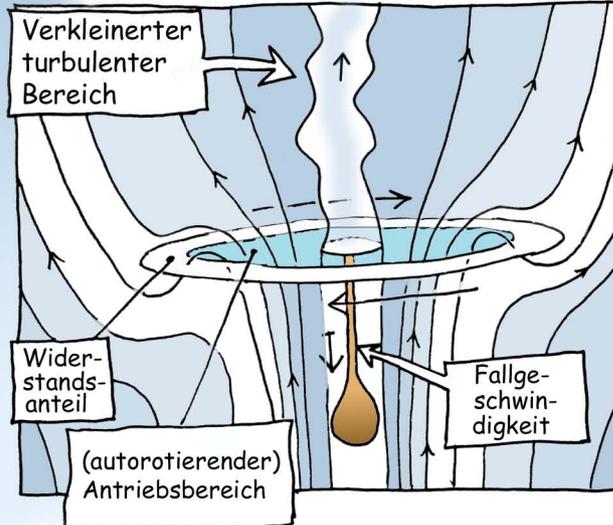
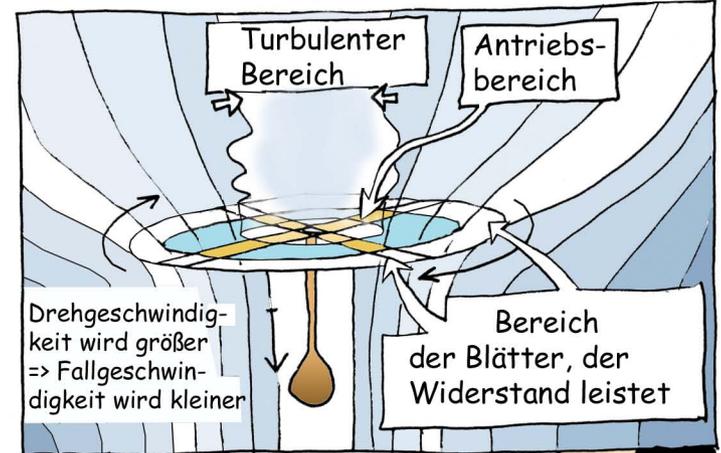
Nun ja, um sicherzustellen, daß sich der äußere Teil des Rotors schnell genug dreht, damit die Strömung wieder dem Profil der Blätter folgt. Dann wirkt dieser Bereich wie ein Motor und die Drehung wird beschleunigt.

Turbulenter Bereich
(Strömung ist „abgerissen“)



Der äußere Bereich des Rotors wirkt als Antrieb.

Der turbulente, bremsende Bereich wird umso kleiner, je größer die Drehgeschwindigkeit wird. Am äußeren Rand der Blätter erscheint dann ein Bereich, der die Bewegung bremst.



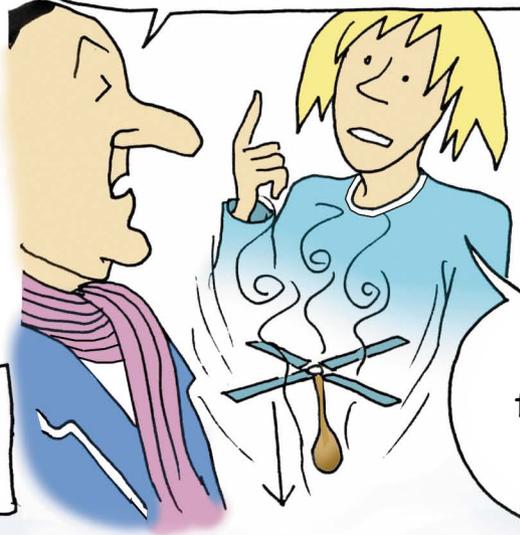
Die Drehgeschwindigkeit stabilisiert sich, wenn sich beide Drehmomente die Waage halten. Die Autorotation ist dann voll im Gange und die Fallgeschwindigkeit ist minimal.

• Eine ähnliche Strömung würde man bekommen, wenn man eine sich nicht drehende, gelochte Scheibe fallen lassen würde, deren Löcher vom Zentrum zum Rand hin immer kleinere Durchmesser hätten, was also Bereiche mit unterschiedlichen Durchlässigkeiten definieren würde.

Die Geschäftsleitung



Was wäre geschehen, wenn Sie anfangs nicht genügend Drehimpuls gegeben hätten?



Dann wäre die Geschwindigkeit am Rande der Blätter zu klein geblieben, als daß die Strömung deren Profil hätte folgen können. Daher hätte sich kein Antrieb und keine Autorotation ergeben: Das Modell wäre wie ein Stein herunter gefallen!

Einen Augenblick lang dachte ich, Fräulein Kunigunde hätte vielleicht so fliehen können. Aber ich glaube eher, dies wäre der beste Weg, sich alle Knochen zu brechen!



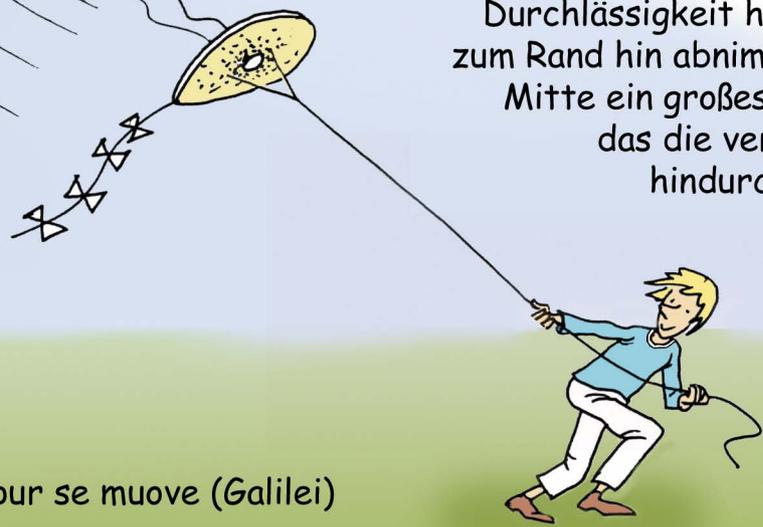
Und der Autogiro?



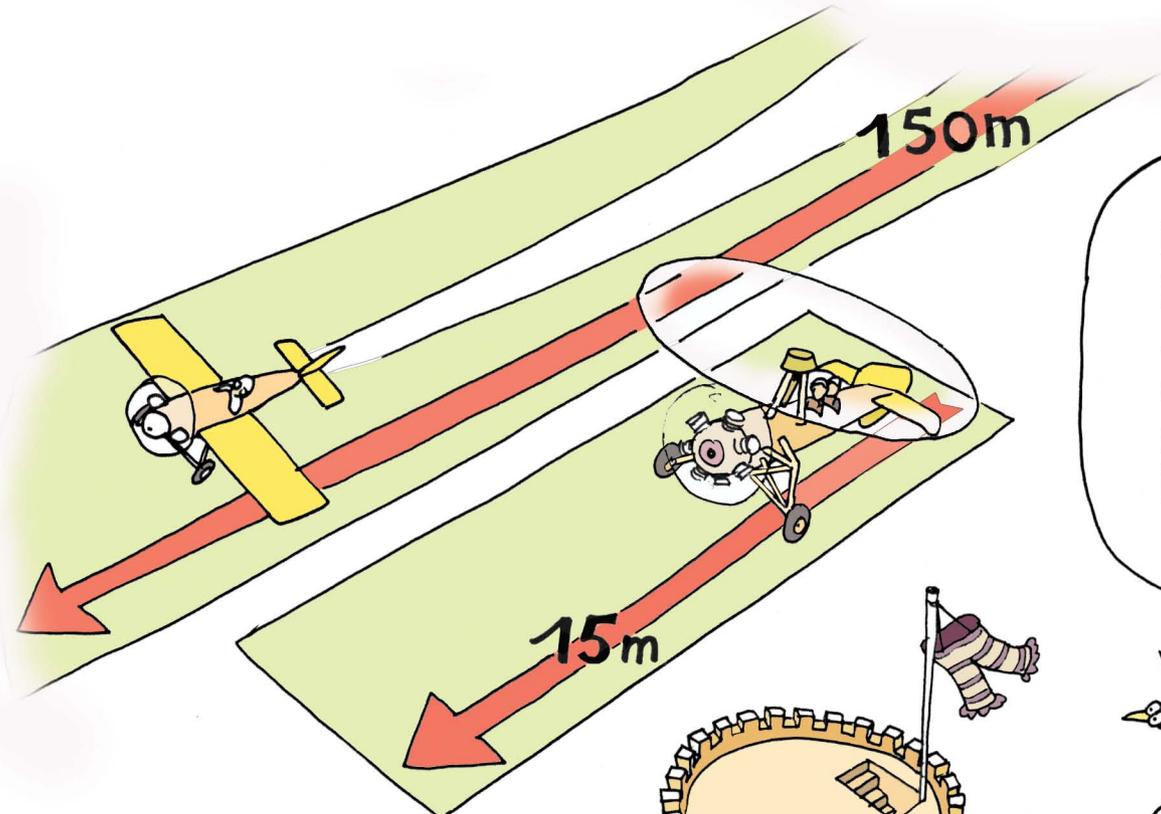
Und er dreht sich doch. (*)

Nun, da das Rätsel der Selbstdrehung seines Rotors gelüftet ist, bleibt nur, diesen in eine etwas schräge Lage zu versetzen: Der Rotor verhält sich dann wie eine Scheibe mit vom Zentrum zum Rande hin abnehmender Durchlässigkeit.

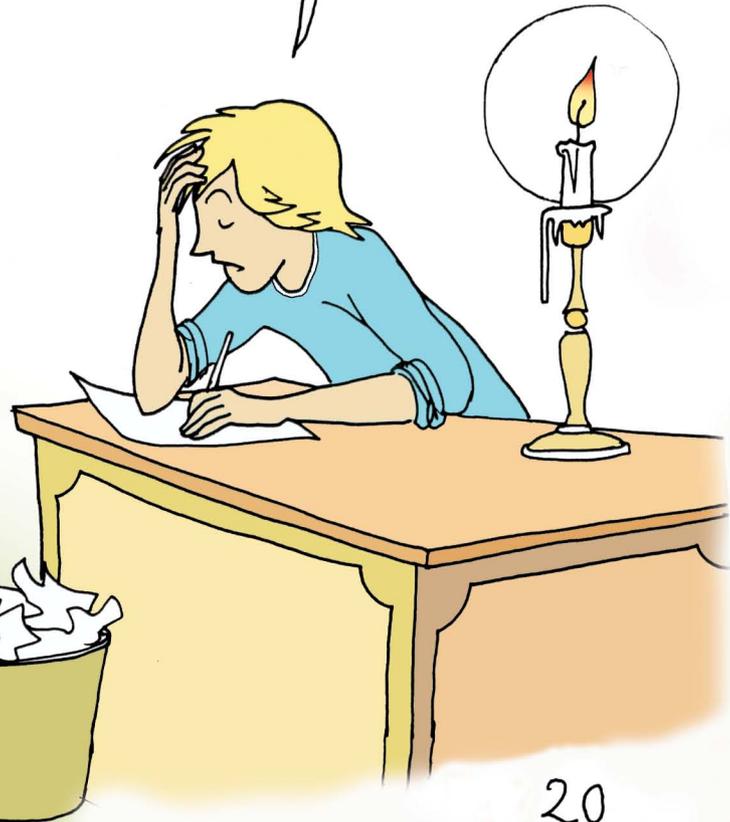
Alles in Allem ähnelt der Autogiro einem Drachen, dessen Bespannung eine Durchlässigkeit hat, die vom Zentrum zum Rand hin abnimmt und der in der Mitte ein großes Loch hat, durch das die verwirbelte Luft hindurchströmen kann.



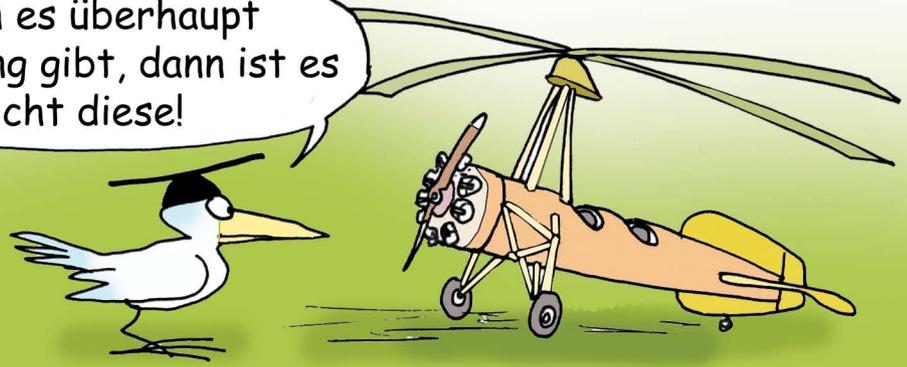
(*) Et pur se muove (Galilei)



Fassen wir zusammen: Ein Flugzeug braucht 150 Meter, um zu landen. Für ein Drehflügelflugzeug reichen 15 Meter aus. Aber die Terrasse des Turmes ist so klein, daß man wirklich senkrecht herunterkommen muß, um darauf landen zu können. Welche Flugmaschine könnte so etwas möglich machen?



Wenn es überhaupt eine Lösung gibt, dann ist es nicht diese!





Kommen Sie schnell,
im Turm passiert etwas!

Wie? Was
passiert denn nun
schon wieder!?



Ich glaube, Kunigunde
macht alles kaputt...



Passen Sie auf,
Sie treten auf
meine Schleppe!

Aber, warum tragen Sie denn solch lange Sachen?



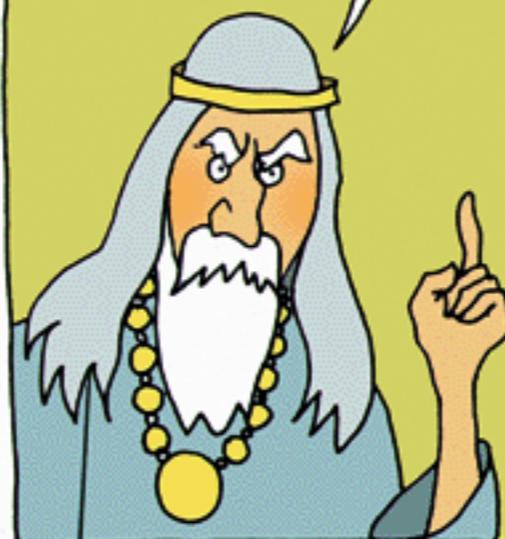
Mein lieber Freund,
von Mode verstehen
Sie nichts!



Ich
WILL Kandidate
heiraten!



Das kommt nicht in Frage!
Nie wird meine Tochter einen
einfachen Bürgerlichen
heiraten!



Aber Kandidate ist kein
Bürgerlicher! Er ist der Sohn
einer Ihrer Verwandten!



...und von achtzig Jägern!...
Jedenfalls von einem von ihnen!



Aber Vater, diese achtzig Jäger
waren alle guter Abstammung!



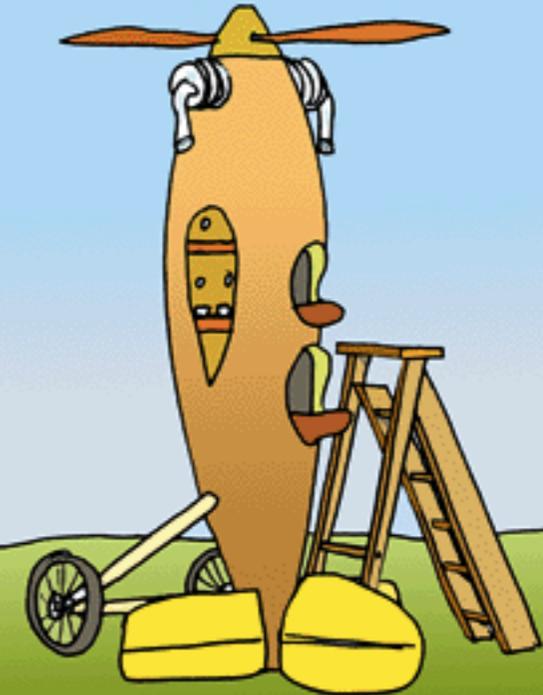
Hmm... Die Stunde der
Diplomatie hat noch nicht
geschlagen...



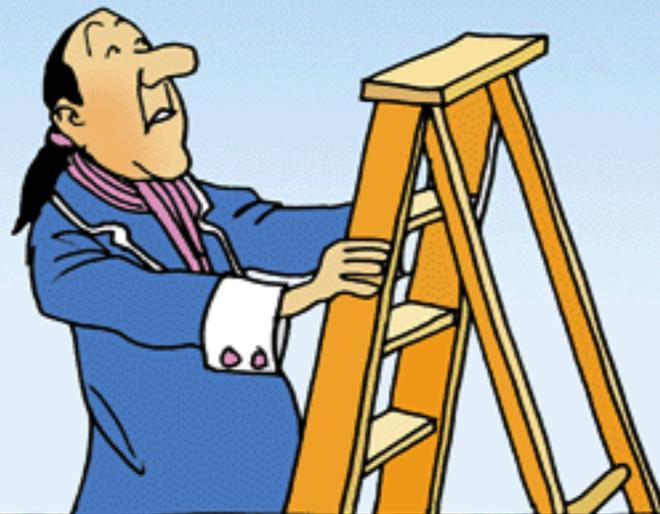
Nun ja, dieser Flugzeugführer hatte nicht Unrecht, sein Flugzeug hochziehen zu wollen. Aber besser wäre es, wenn man seinen Propeller für den Vortrieb in eine Vorrichtung für den Auftrieb umwandeln würde. Und wenn schon, dann könnte man gleich die Flügel ganz weglassen.



Na, Meister, was sagen Sie dazu?



Sie können die Leiter wegnehmen. Ich werde nun Vollgas geben.

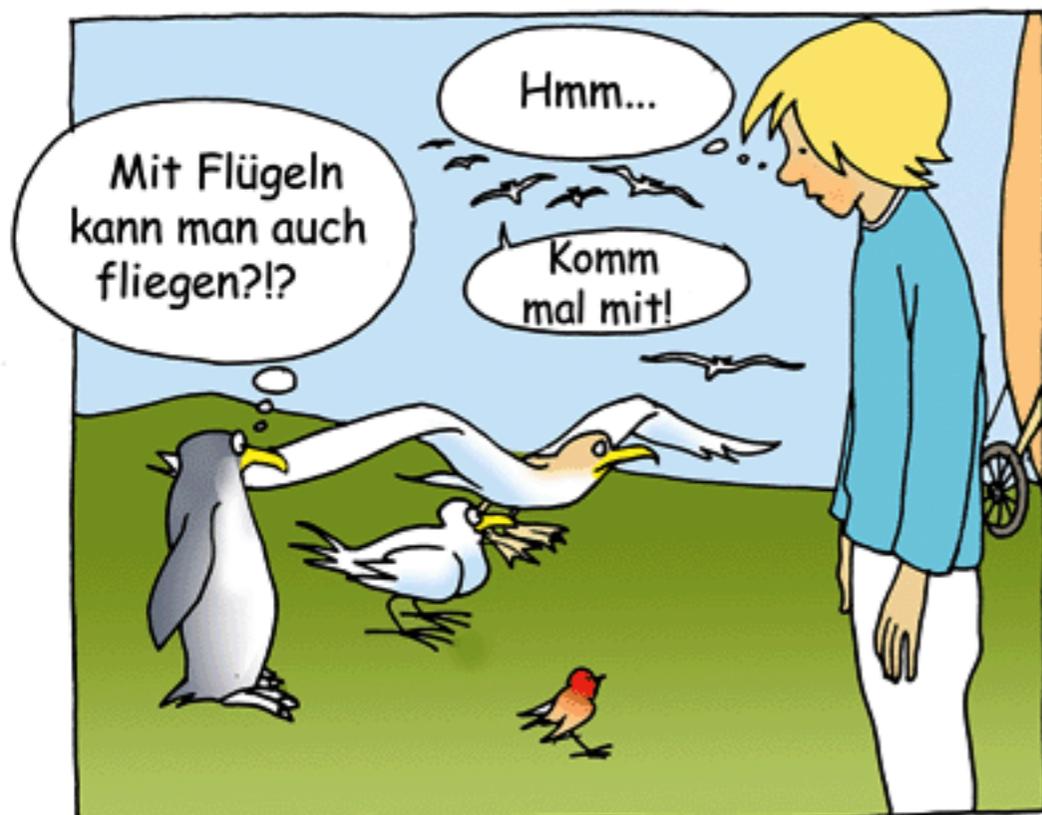


WROOAR

NICHTS !?!



Fallen Sie nicht auf die Nase!
Ich bringe die Leiter zurück...



Mit Flügeln kann man auch fliegen?!?

Hmm...

Komm mal mit!



Was ist das, eine induzierte Geschwindigkeit?

Hör mal, was er zu sagen hat!

Stimmt das, daß sie uns Propeller verpassen wollen?

Ääh...

Fliegen? Absurd!

Wird dieses Ding auch rückwärts fliegen können?



Wenn ich die Flügel eines Albatrosses verkürze, kann er nicht mehr fliegen. Wenn ich umgekehrt die Flügel eines Pinguins verlängere...

Waas?!?

Lassen Sie mich sofort los!



Vielleicht hat auch mein eigener „Pinguin“ zu kurze „Flügel“. Die Motordrehzahl kann ich auch nicht unbegrenzt hochtreiben, um die Geschwindigkeit der Rotorblätter zu erhöhen. Dabei steigt der Auftrieb im Quadrat der Geschwindigkeit. Einzige Lösung: Die gesamte Tragfläche vergrößern und dabei die Streckung der Blätter beibehalten. Ein Albatros fliegt ja besser, als eine Taube. Ich werde also die Blätter meines Propellers verlängern. Ich nenne das einen Rotor.

IAARHH!!

DAS DREHMOMENT



(*) Das Folgende gilt für 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8... Blätter.



Dies ist ein sich selbst stabilisierender Hubschrauber mit zwei gegenläufigen Rotoren, wobei einer der Rotoren an dem sich drehenden Rumpf befestigt ist.



Freibewegliches Blatt aus Büttenpapier

Kugel Scheibchen

Klaviersaite (Stahl 5/10)

Balsastangen mit quadratischem Querschnitt 6x6

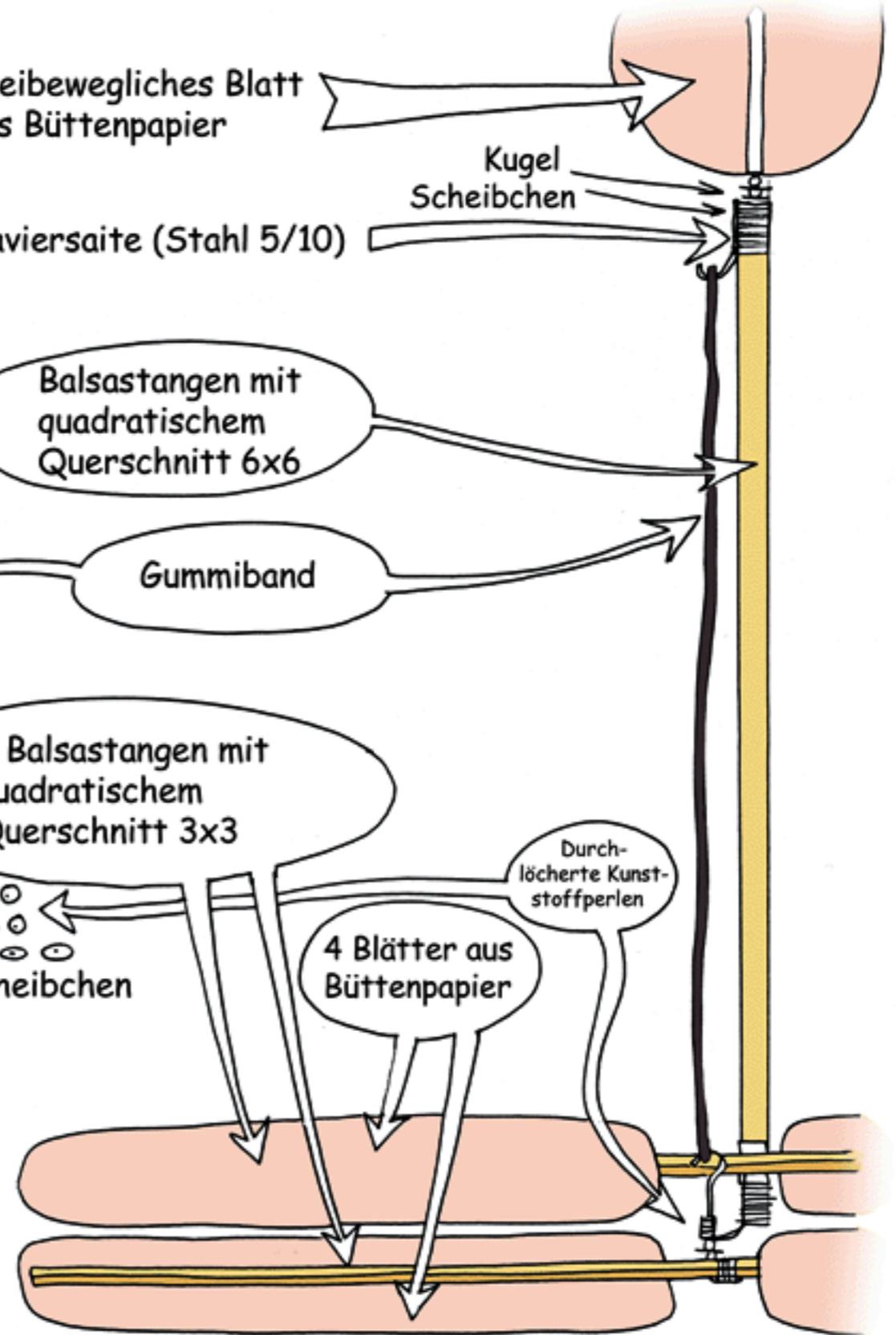
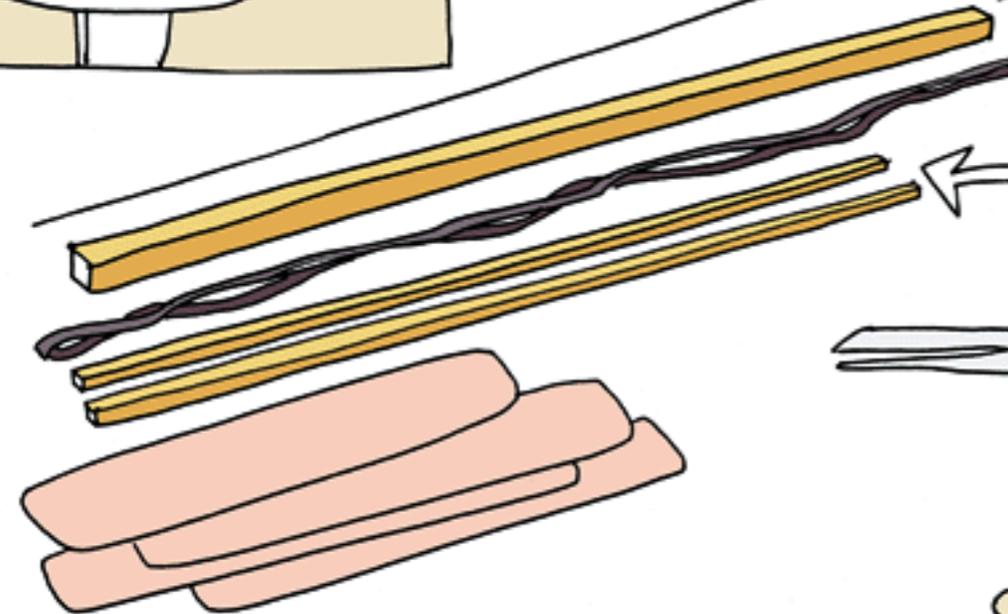
Gummiband

2 Balsastangen mit quadratischem Querschnitt 3x3

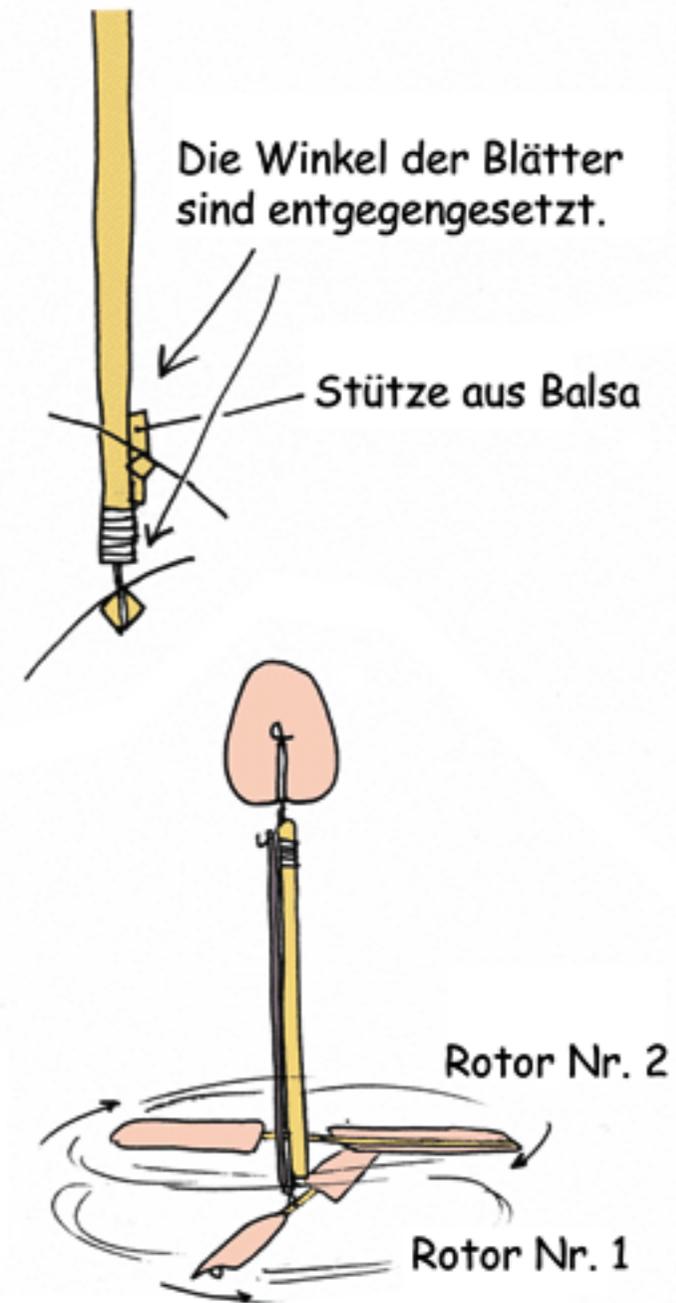
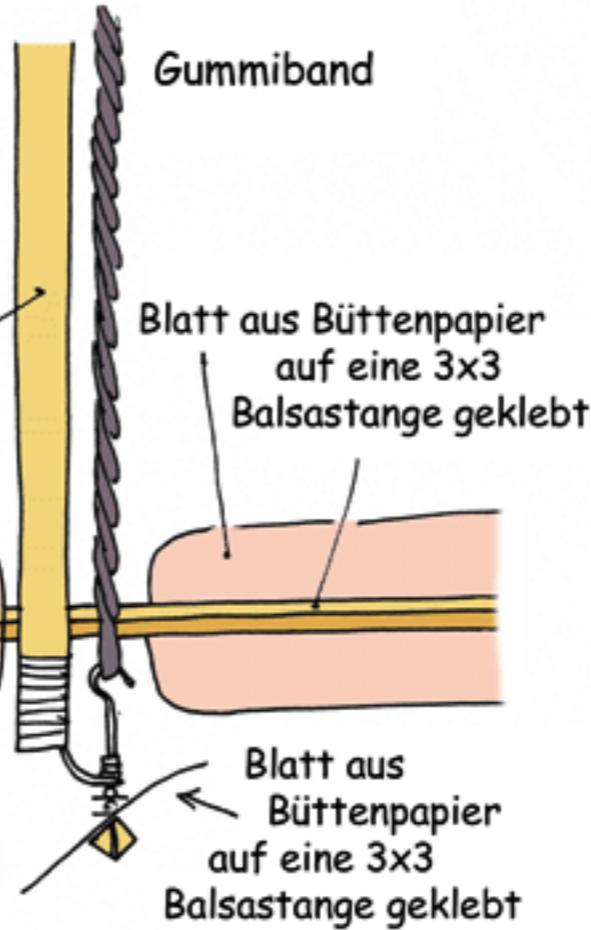
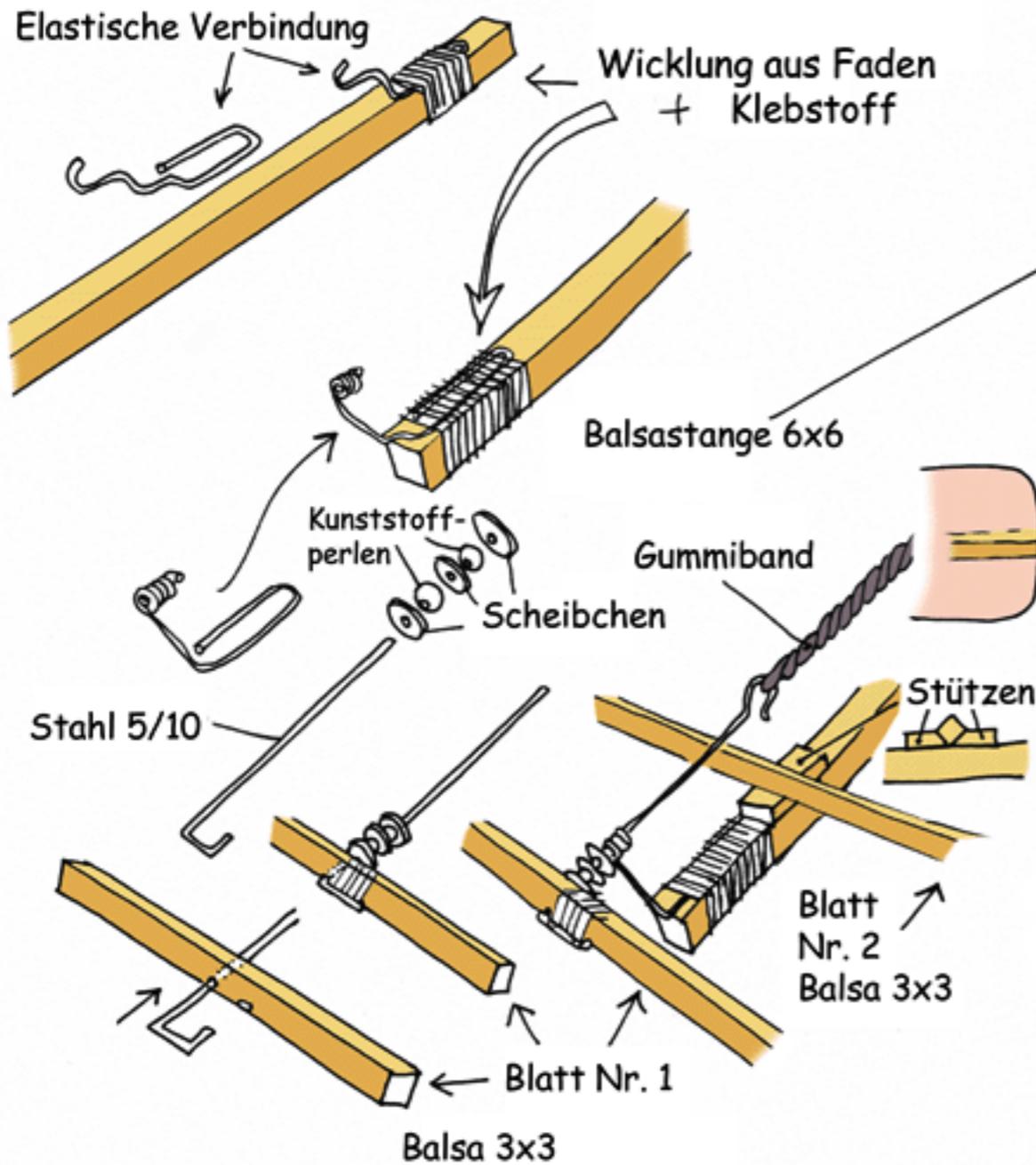
+ Scheibchen

4 Blätter aus Büttenpapier

Durchlöchernte Kunststoffperlen



Der schwierige Teil besteht darin, eine Wicklung aus Draht herzustellen, indem man zwei Klammern benutzt, so daß folgende Elemente entstehen:

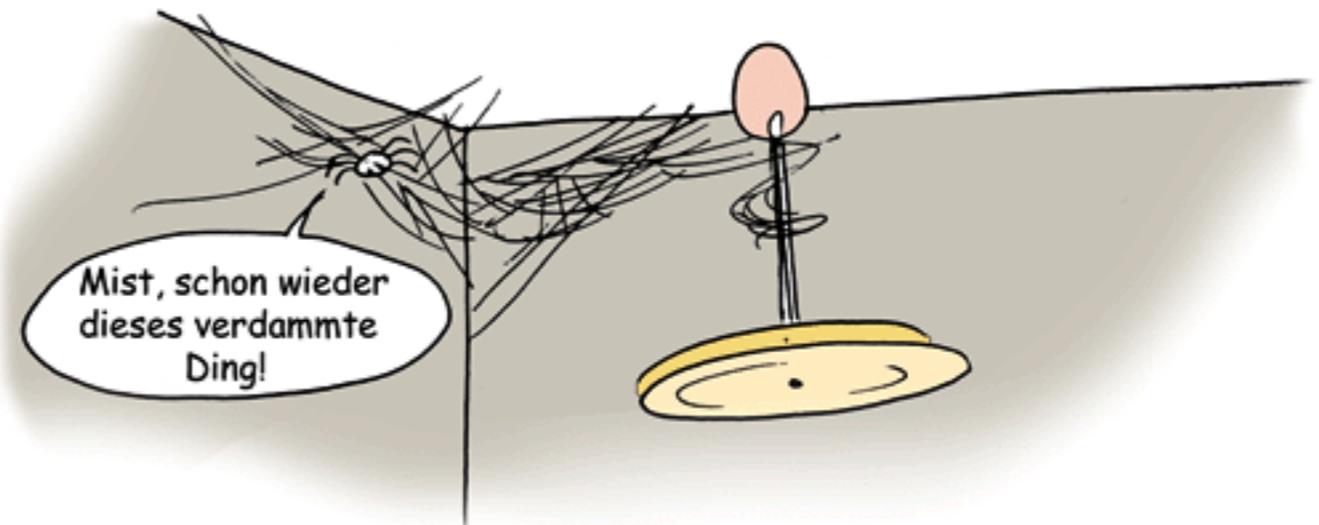
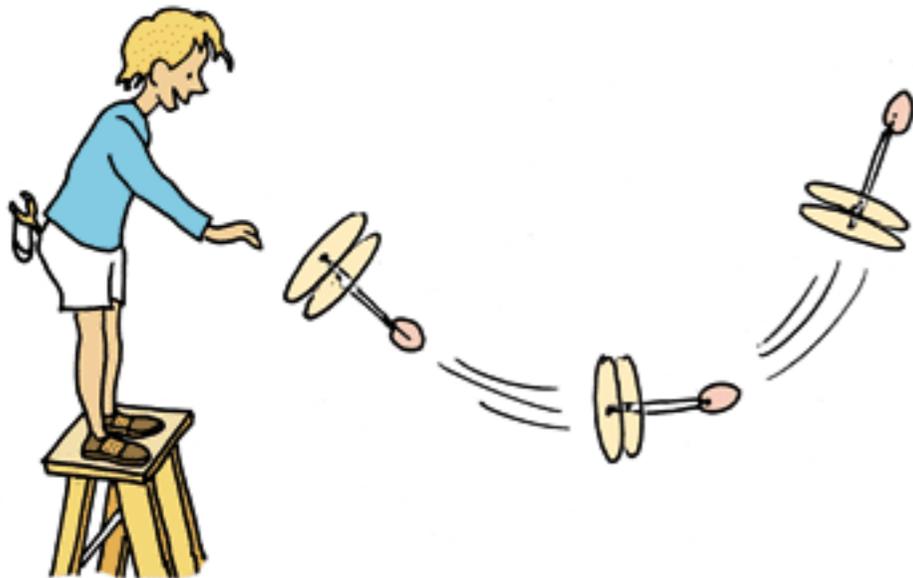
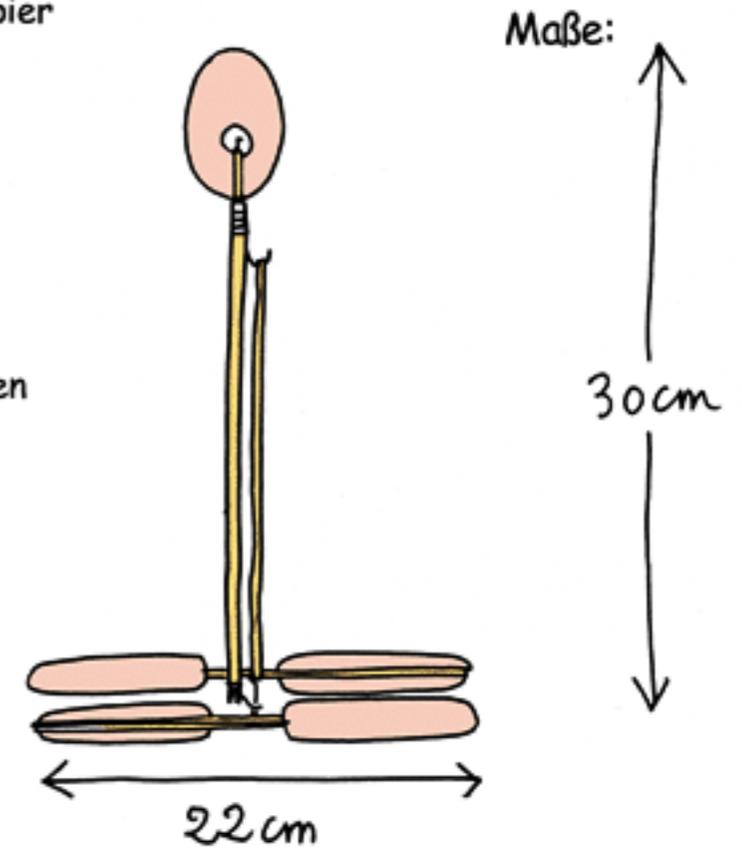
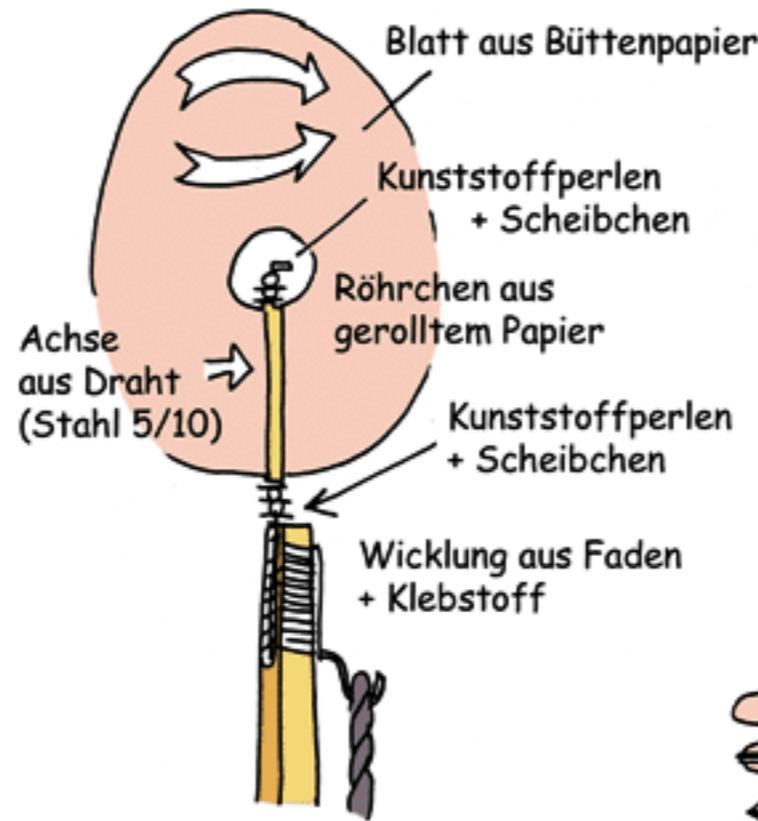


Das Gummiband setzt den unteren Rotor (den Rotor Nr. 1) in Bewegung. Wegen des Drehmoments fängt der am Rumpf (Stange) befestigte Rotor Nr. 2 an, sich in die entgegengesetzte Richtung zu drehen.

Montage des oberen Blattes, welches das Gerät eigenstabil macht.



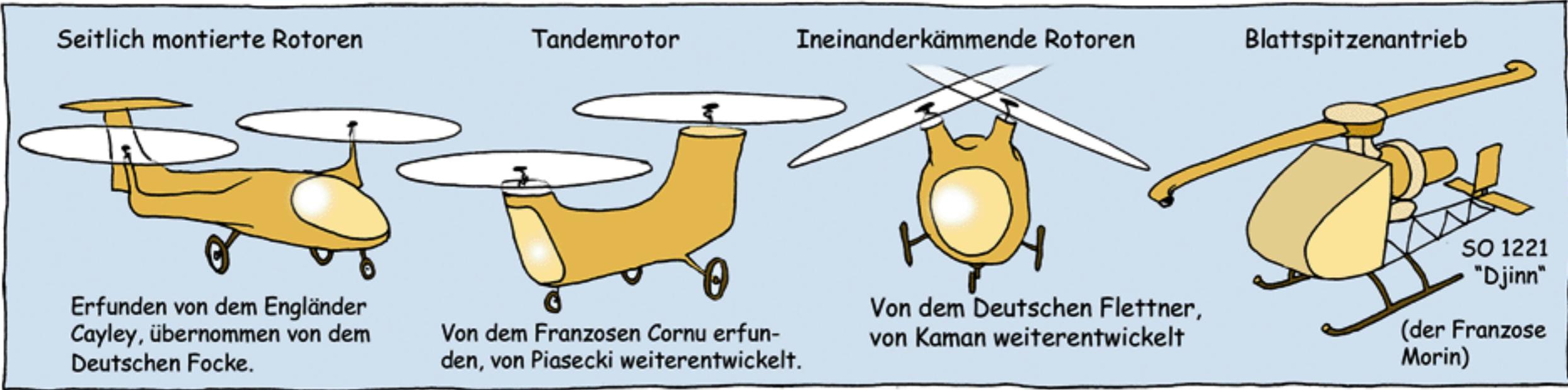
Wenn der Hubschrauber etwas kippt, bricht er aus. Die Wirkung auf das obere Blatt richtet ihn aber sofort wieder auf. Und so eiert er empör, wenn man ihn losläßt.



(*) Als Kind benutzte ich dieses Gerät, um Spinnweben von den hohen Decken des Schlosses von Thiors (Département Deux-Sèvres, Frankreich) zu entfernen.



Kandide zog mehrere Möglichkeiten in Betracht.



Yves le Bec hat ein mit exzellenten Zeichnungen bebildertes Buch geschrieben: „Die wahre Geschichte des Helikopters, von 1486 bis 2005“, erschienen bei Ducretet SA in CH-1022 Chavannes-près-Renens, ISBN 2-8399-0100-5. Dort finden Sie ALLE vom Menschen erfundenen Helikoptermodelle.

Ich werde am Ende des Rumpfes einen Heckrotor anbringen, den ich mit dem Hauptrotor mechanisch verbinde. Somit wird der Heckrotor in der Lage sein, das Drehmoment des Hauptrotors zu kompensieren, wenn ich dessen Drehzahl erhöhe.



Panglos, das isses! Ich hab' s geschafft!

Komm sofort zurück, sonst wirst Du angesaugt und in Salamischeiben verwandelt!



(**) Wird auf Deutsch auch „gekapselter Heckrotor“ und auf Neudeutsch „Fantail“ genannt. (Anm. d. Ü.)

Der dem Drehmoment entgegenwirkende Heckrotor wurde von dem Russen Juriew erfunden und von Igor Sikorski weiterentwickelt.

(*) Das Fenestron wurde von dem Franzosen Mouille eingeführt.

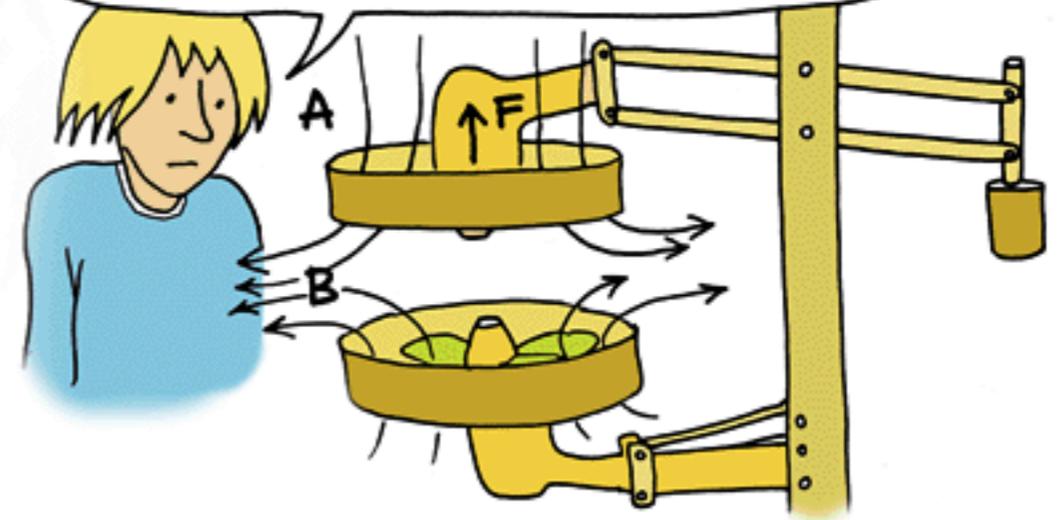
All das zeigt offensichtlich, daß es alles zum Besten steht in dieser besten aller möglichen Luftfahrtwissenschaften.

BODENEFFEKT

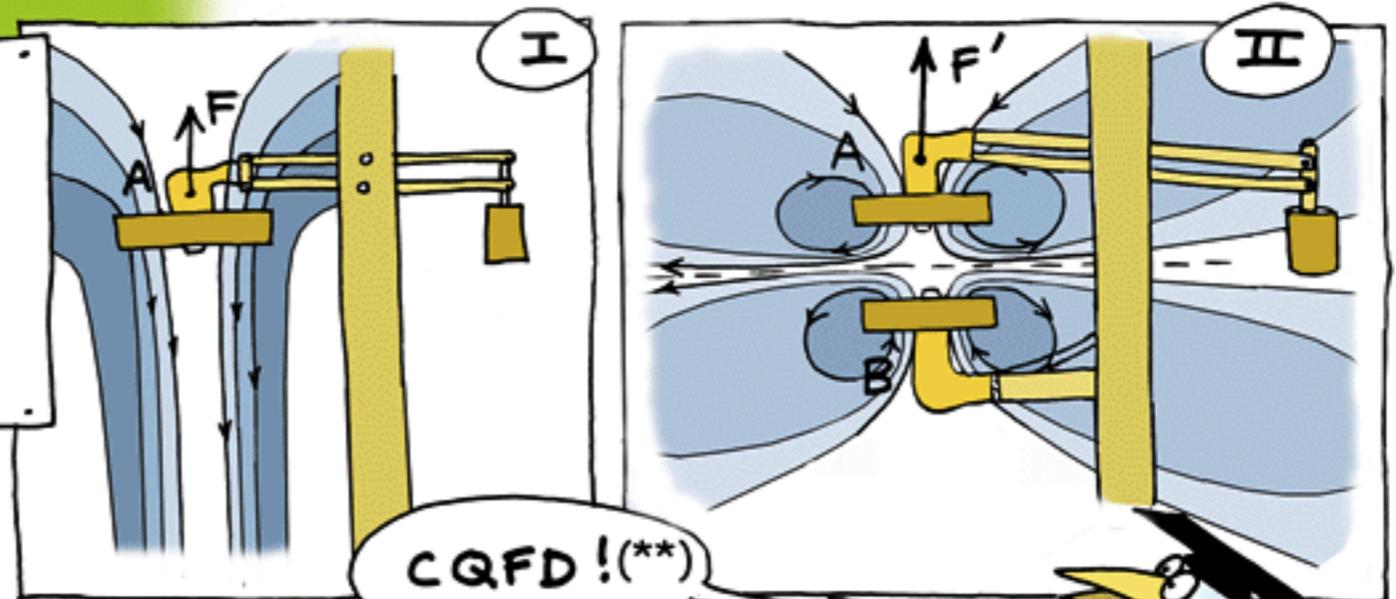
Das ist ja seltsam... In Bodennähe schaffe ich es, bei deutlich geringerer Motorleistung im Schwebeflug zu bleiben. (*)



Diese Maschine ist nichts anderes als ein großer Ventilator. Ich werde zwei davon gegeneinander arbeiten lassen.



Bei gleicher Drehzahl wird der auf den Ventilator A wirkende Auftrieb größer, wenn er gegen den Ventilator B gerichtet ist. Denn letzterer preßt die Luft entgegengesetzt der Richtung, die Ventilator A alleine vorgeben würde.



CQFD! (**)

(**) Quod erat demonstrandum (= Was zu beweisen war) (Anm. d. Ü.)

Die Strömung II wäre dieselbe, wenn Ventilator A auf den Boden gerichtet würde.

(*) Der Bodeneffekt wird deutlich spürbar, wenn sich der Rotor in einer Entfernung von bis zu einem halben Rotordurchmesser über dem Boden befindet.

Die Motordrehzahl erhöhen

Mein Rotor hat einen festen Anstellwinkel. Aber wie groß sollte ich ihn wählen? Je größer der Steuerwinkel, der Einstellwinkel des Blattes, desto größer wird auch der Widerstand, der die Drehung bremst.



Wenn aus welchem Grund auch immer mein Motor an Leistung verliert, wird der Luftwiderstand die Rotation abbremsen. (*) Wenn aber die *Geschwindigkeit der relativen Anströmung* kleiner wird, dann wird die Strömung entlang des ganzen Blattes abreißen. Und wenn das geschieht, dann gute Nacht Freunde. Um das zu vermeiden und die Drehgeschwindigkeit des Rotors beizubehalten, müßte man sofort den Anstellwinkel reduzieren und Vollgas geben.



Was sagt er denn da?



Das gilt doch nicht für Dich. Du hast doch keine rotierende Tragfläche, oder?

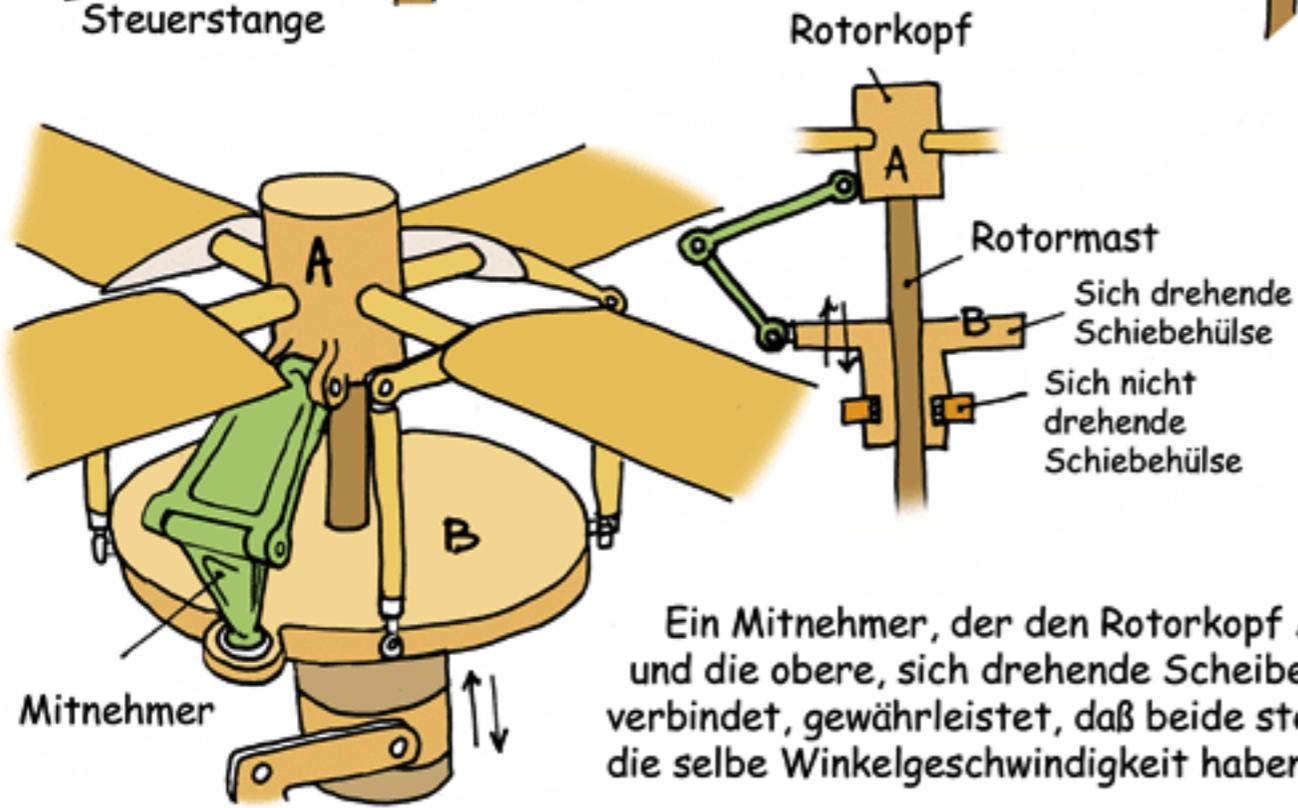
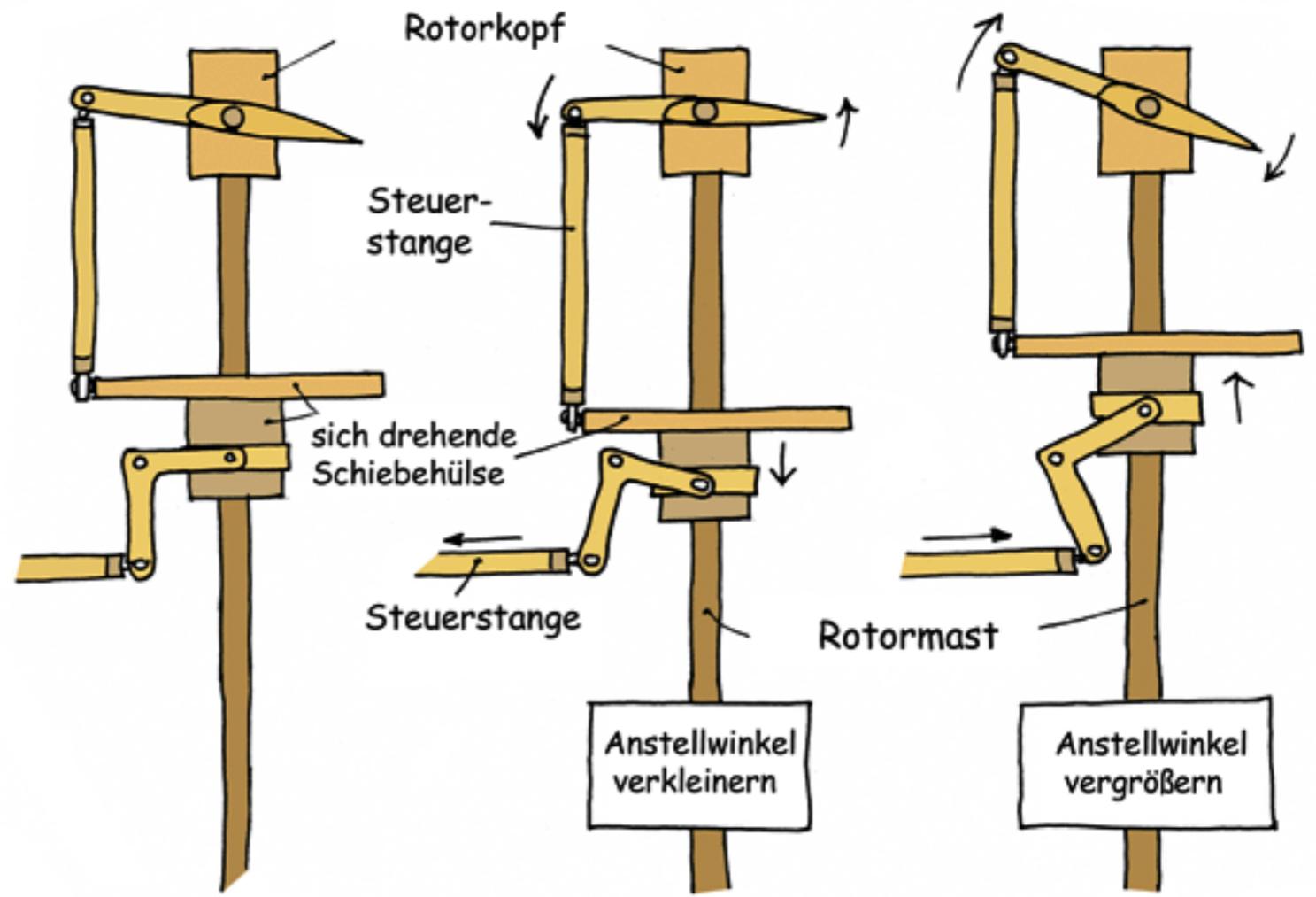
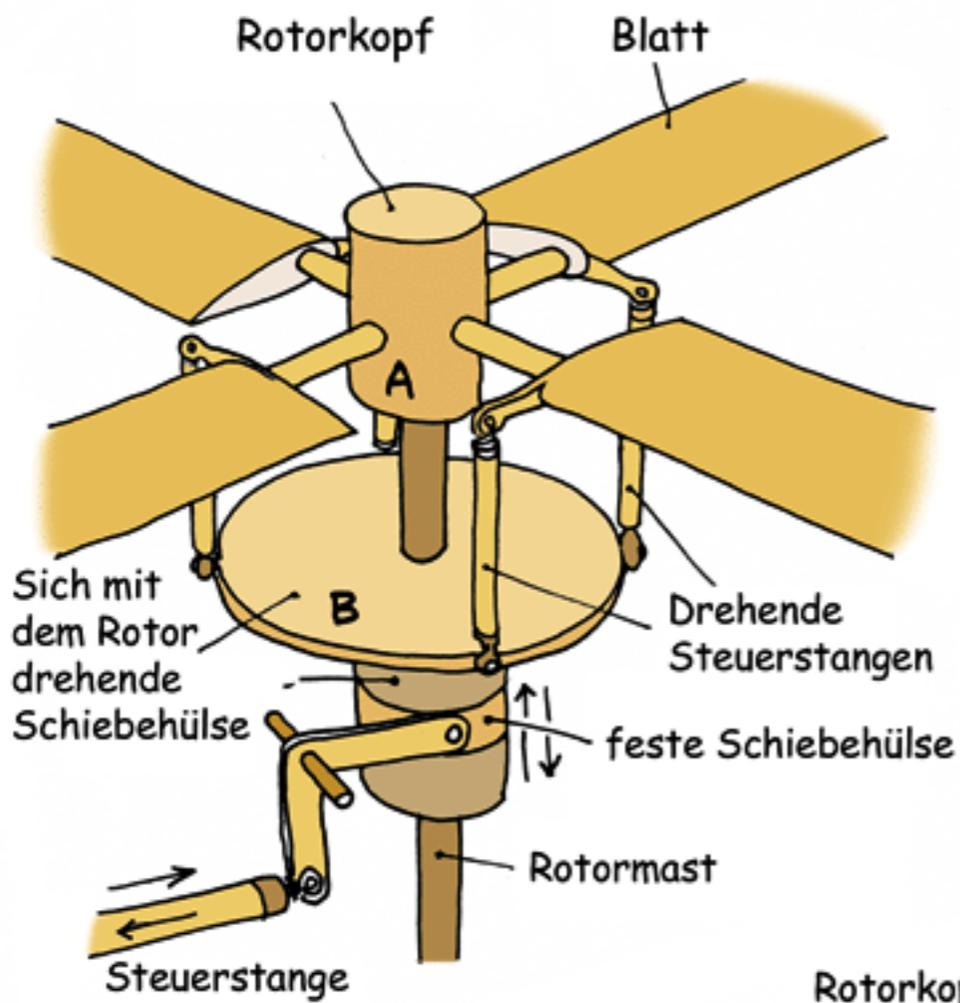
Ääh, ich glaube nicht...



Ich muß also in der Lage sein, während des Fluges den Steuerwinkel, d.h. den Anstellwinkel der Rotorblätter zu ändern.



(*) Ein Rotor, dessen Antrieb (Motor) plötzlich seine Arbeit einstellen sollte, würde gefährlich schnell abgebremst und das innerhalb... einer Sekunde!



Ein Mitnehmer, der den Rotorkopf A und die obere, sich drehende Scheibe B verbindet, gewährleistet, daß beide stets die selbe Winkelgeschwindigkeit haben.

Mit einem solchen System kann man gleichzeitig den Anstellwinkel aller Rotorblätter um jeweils den selben Wert ändern. Hierfür bedient man sich eines Kugellagers zwischen der unteren, festen Scheibe C und der oberen, sich drehenden Scheibe B, welches die Steuereingaben mittels Stangen auf die Rotorblätter überträgt.

Die Geschäftsleitung

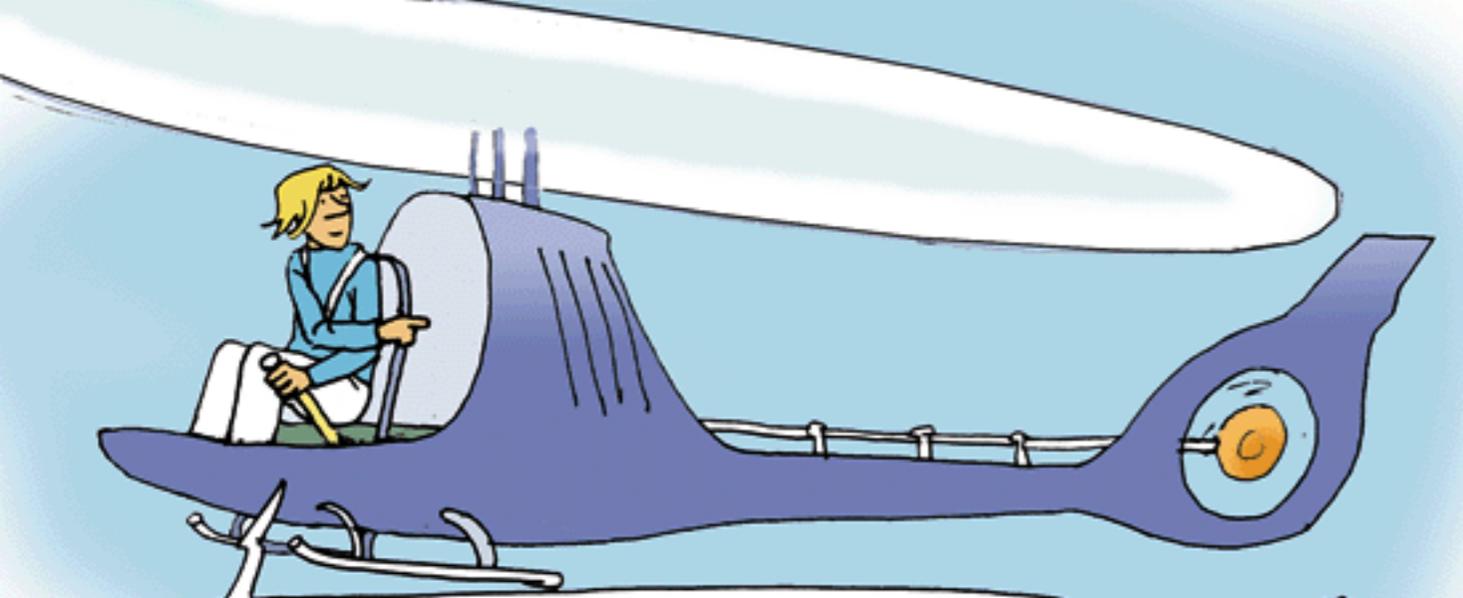
Ich habe ein Steuergestänge so angepasst daß ich von der Kanzel aus den Anstellwinkel der Rotorblätter über einen Hebel (*) steuern kann.

Darauf habe ich oben die Gassteuerung angebracht.

Drehbarer Griff:
Gassteuerung

Hebel nach oben: Anstellwinkel vergrößern
Hebel nach unten: Anstellwinkel verkleinern

(*) Dieser Hebel heißt „Kollektivhebel“. (Anm. d. Ü.)



Das gleiche System benutze ich für den Heckrotor, um zu vermeiden, daß die Maschine wegen des Drehmoments ausbricht, wenn ich den kollektiven Blattstellwinkel ändere. Und ich habe ein Fußpedal für die Seitwärtsbewegung hinzugefügt, das es mir ermöglicht, mich auf der Stelle zu drehen.

Was?
Ich kann nichts hören!

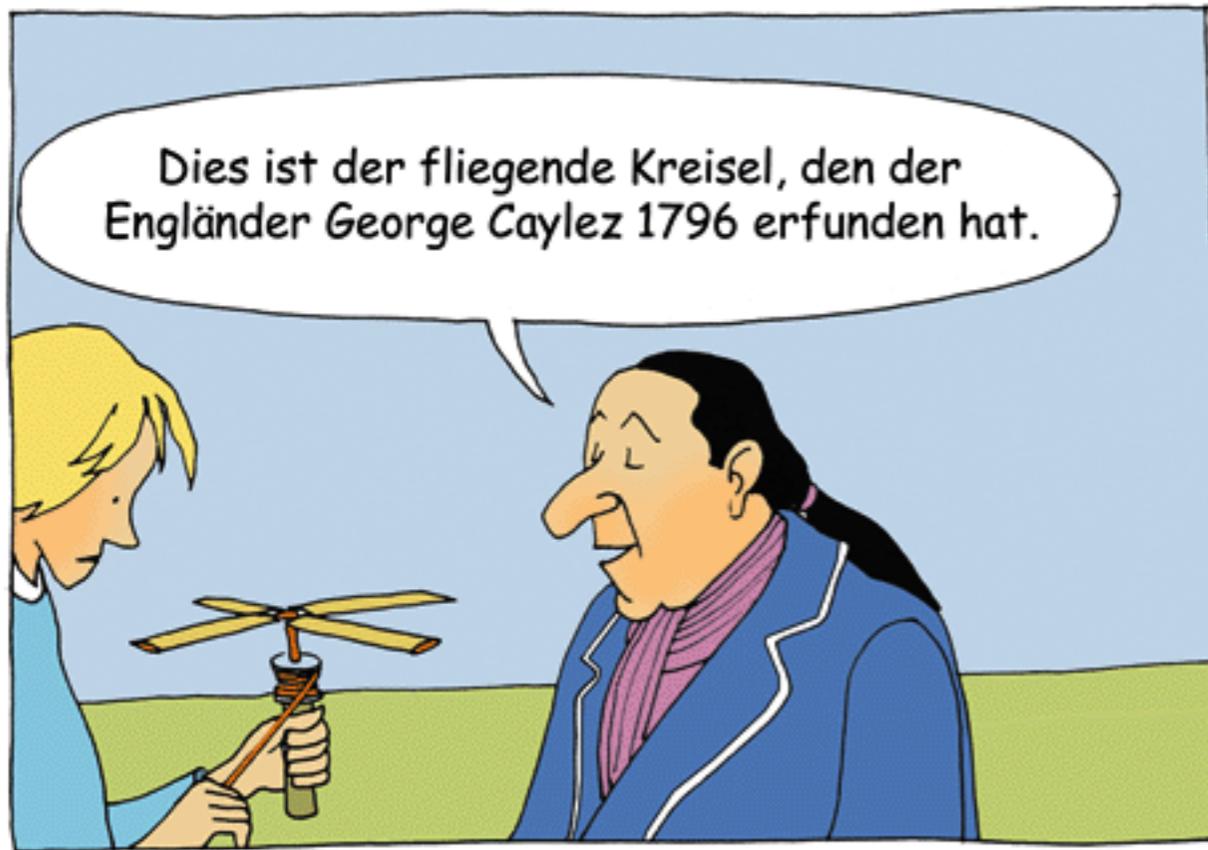
Nun gut. Ich habe eine Flugmaschine entworfen, die uns fortbringen kann, Kunigunde und mich. Ich kann steigen und sinken und mich um die eigene Achse drehen. Bleibt aber eine Frage: Wie kann man mit dieser Flugmaschine vorwärts fliegen?



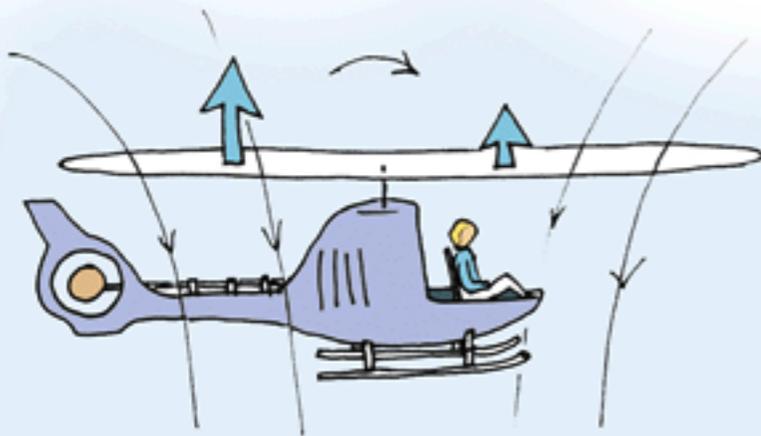
Warum nicht einen Propeller und Ruder dazutun?

Hmm, es scheint mir eine ziemlich komplizierte Lösung zu sein...

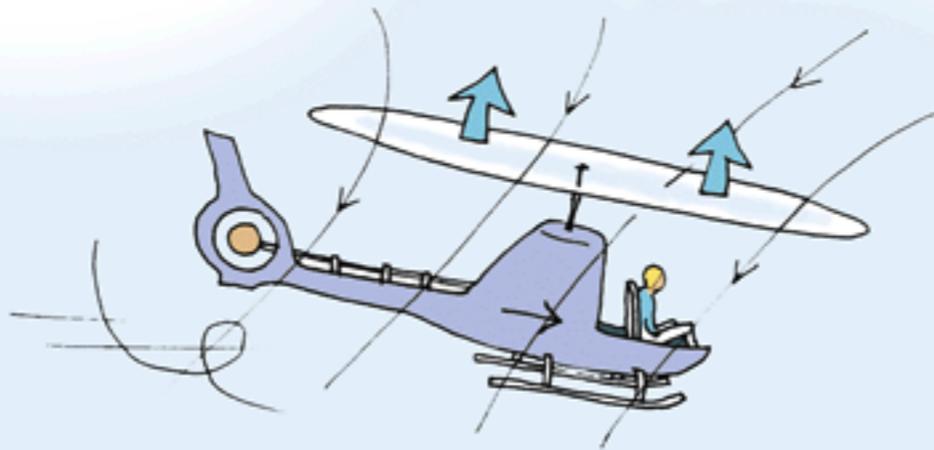




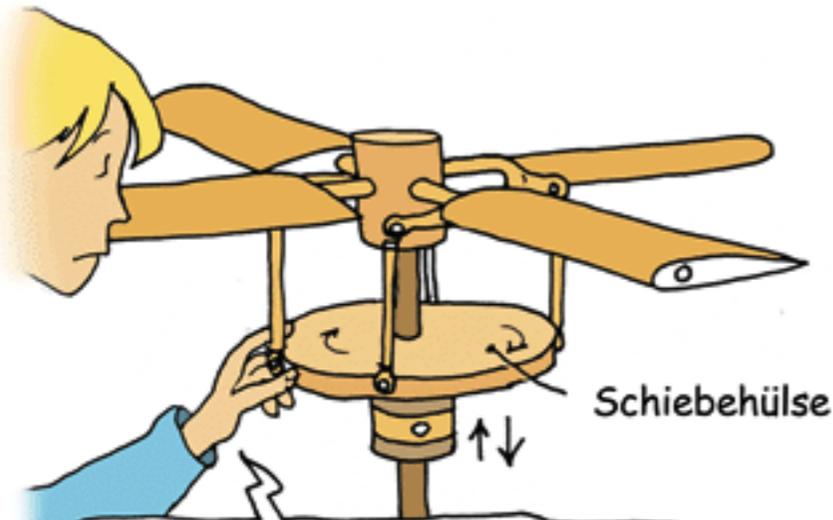
SCHWEBEFLUG



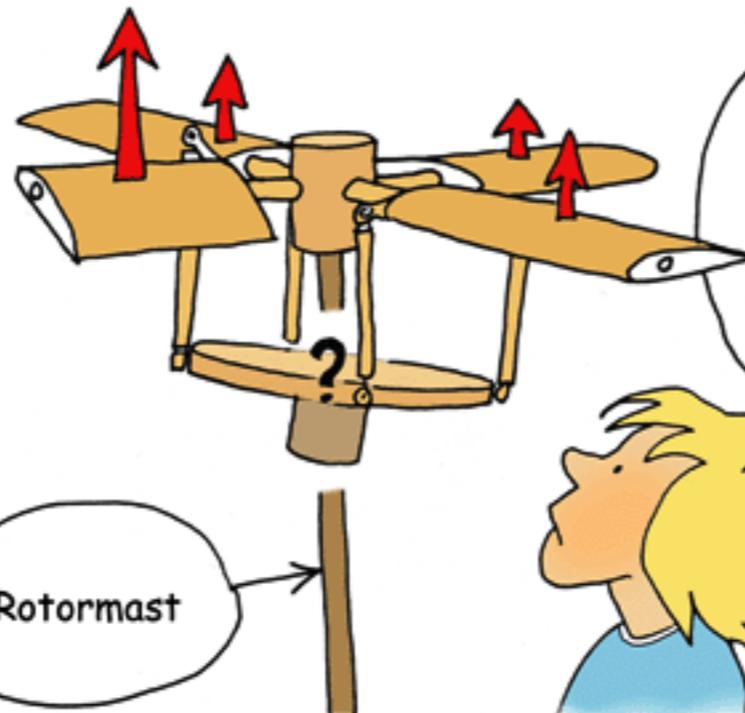
VORWÄRTSFLUG



Wenn ich es mittels einer **ZYKLISCHEN BLATTVERSTELLUNG** schaffen würde, gleichzeitig den Auftrieb der rücklaufenden Blätter zu erhöhen und den Auftrieb der vorlaufenden Blätter zu verringern, würde ich die Maschine nach vorne kippen können und diese könnte somit in den **VORWÄRTSFLUG** übergehen.



Die Blattverstellung wird mittels einer Schiebehülse gesteuert; das ist eine sich drehende Scheibe, welche an der Rotorwelle entlang gleitet.



Rotormast

Wenn ich es schaffen würde, daß diese Schiebehülse kippt, so könnte ich die zyklische Blattverstellung (*) realisieren. Wie kann ich aber dieses ganze Ding beweglich halten und steuern!?!

(*) Die zyklische Blattverstellung wurde von dem Spanier **PESCARA** erfunden, der auch den Begriff der **AUTOROTATION** einführte.

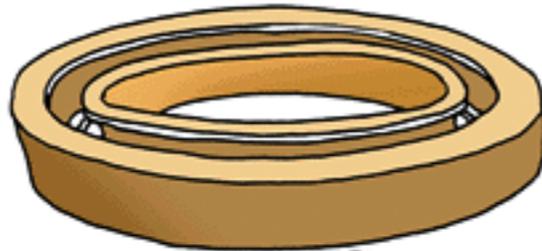


Eines der Teile endet in einer Kugel. Diese wird durch ein Gehäuse umschlossen, das eine gewisse Beweglichkeit ermöglicht.

Das Leben eines Hubschrauberpiloten hängt von einer komplexen Mechanik ab, bei der Stangen, Kugellager und Getriebe eingesetzt werden, die alle sehr präzise hergestellt, sorgfältig gewartet und regelmäßig ausgetauscht werden müssen. Die Herstellungs- und Wartungskosten sind i.d.R. höher als für ein Flugzeug. Seit den 70er Jahren werden aber neue Materialien eingesetzt: Verbundwerkstoffe, Elastomere und selbstschmierende Bauteile. Diese haben dazu beigetragen, Komplexität, Gewicht, Herstellungskosten und Wartungsintervalle zu reduzieren und dabei die Zuverlässigkeit zu erhöhen. Aber dies sprengt den Rahmen dieses Büchleins.

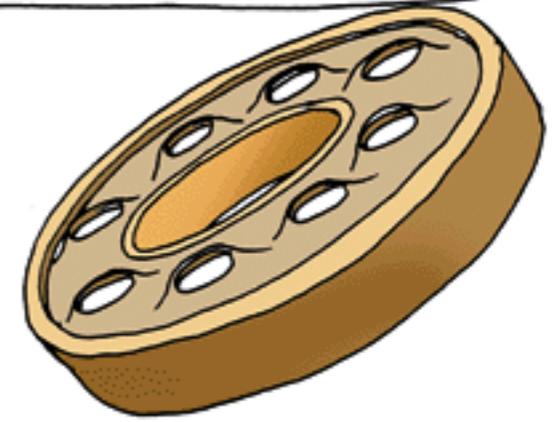
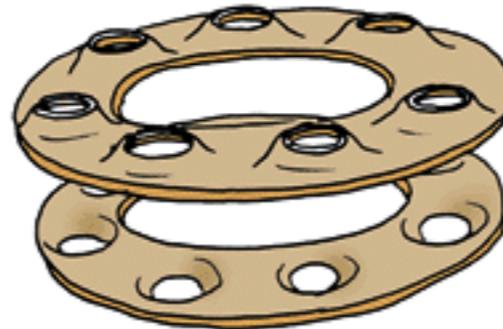


Ein wichtiges Bauteil ist das Kugellager.



Aber wie schafft man es, diese verdammten Kugeln darin unterzubringen?

Wenn man die Ringe exzentrisch versetzt hält, kann man darin eine gewisse Anzahl von Kugeln unterbringen.



Diese werden dann von einem „Käfig“ zusammengehalten, dessen zwei Teile geschweißt, geklebt oder gefalzt werden.

Gewinde

Einkerbungen für Spanschlüssel

Kugellager

R

P

B

P

B

P

B

Das Kugellager macht es möglich, daß sich zwei Scheiben gegenläufig bewegen lassen, wobei eine Scheibe P sich dreht, während B die andere Scheibe, coaxial fixiert bleibt.

Mein lieber Freund, ich möchte nicht gehässig werden, aber was die Mechanik anbetrifft, ist Ihr Flugzeug ein Witz.

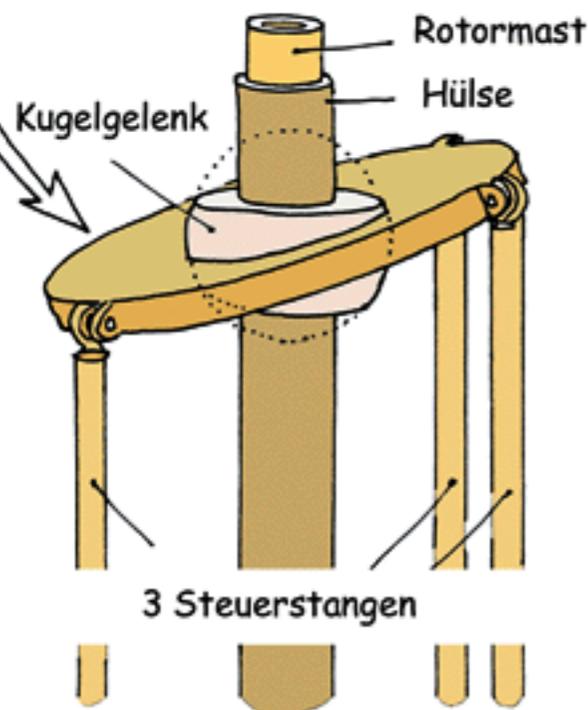


Ein **KUGELGELENK**, das ist die wahre Lösung, um etwas sauber in Drehung zu versetzen, das schief steht.

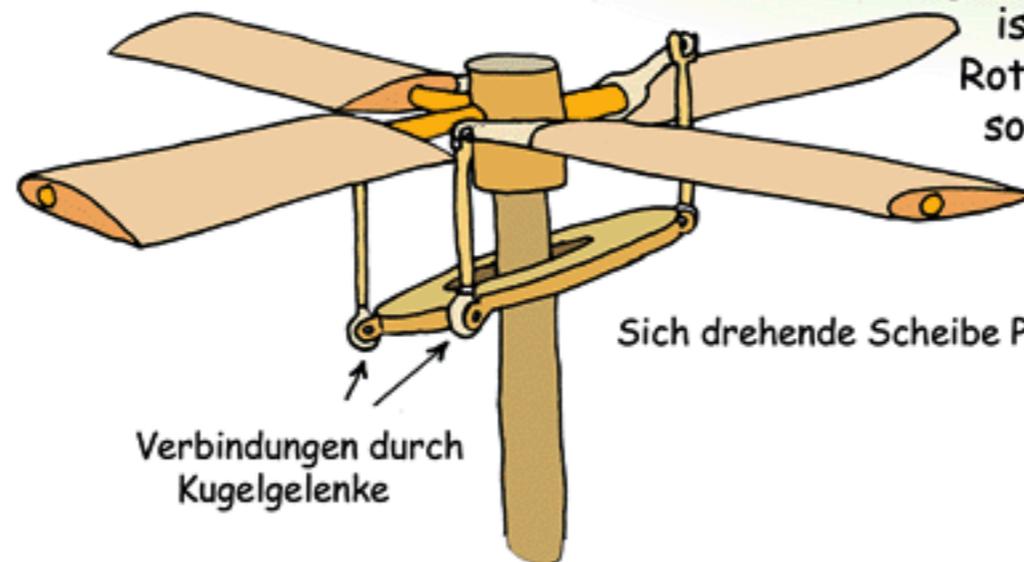


Ein Kugelgelenk, das auf der Oberfläche einer **HÜLSE** gleiten kann, innerhalb derer sich die **ROTORACHSE** dreht.

An diesem Kugelgelenk wird eine sich nicht-drehende Scheibe **B** befestigt, deren Lage im Raum durch die Steuerstangen bestimmt wird.



Die sich nicht-drehende Scheibe **B** wird mittels eines Kugellagers mit der sich drehenden Scheibe **P** verbunden (s. vorherige Seite). Die sich drehende Scheibe ist durch Stangen mit jedem Rotorblatt verbunden und steuert so die Blattverstellung.

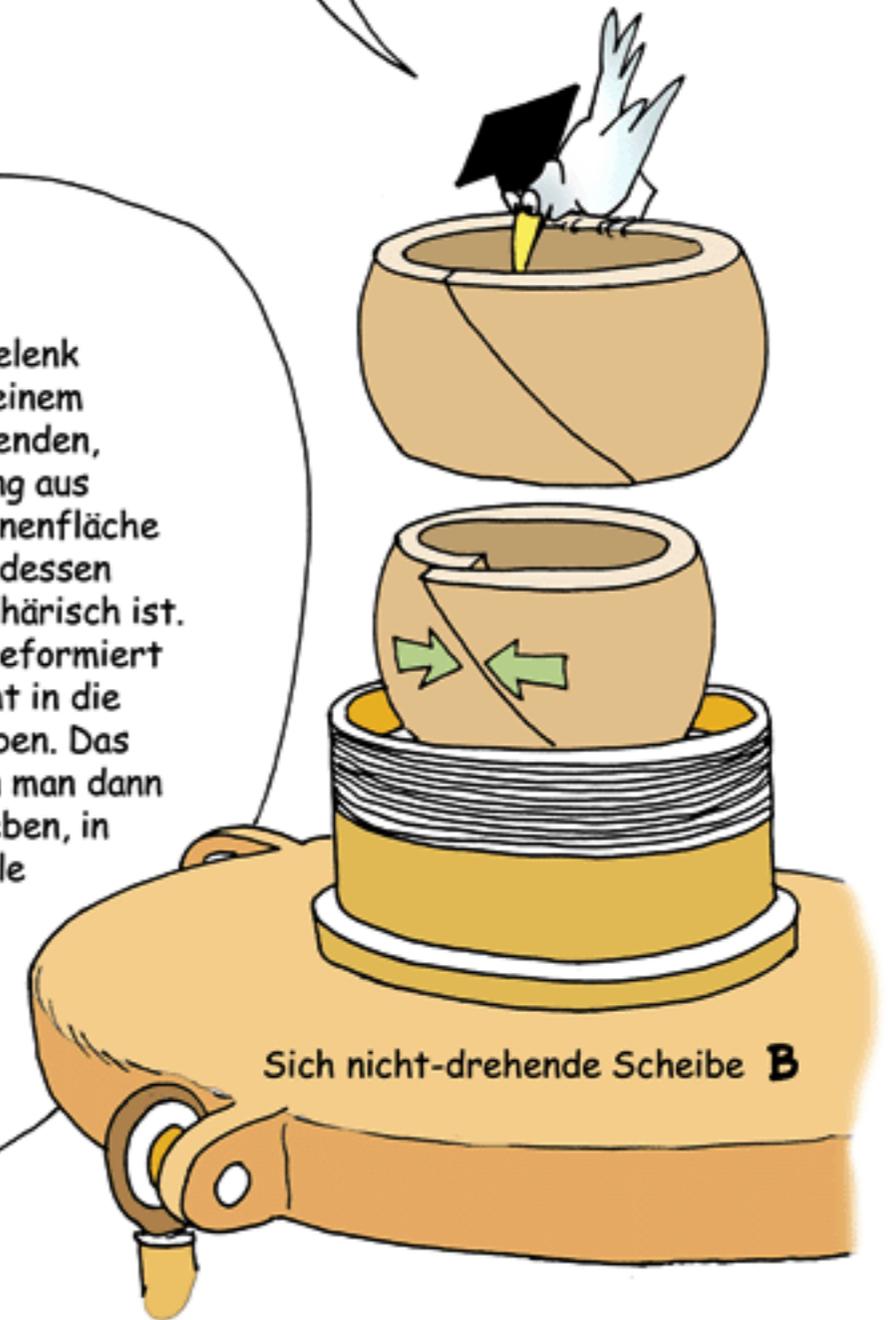
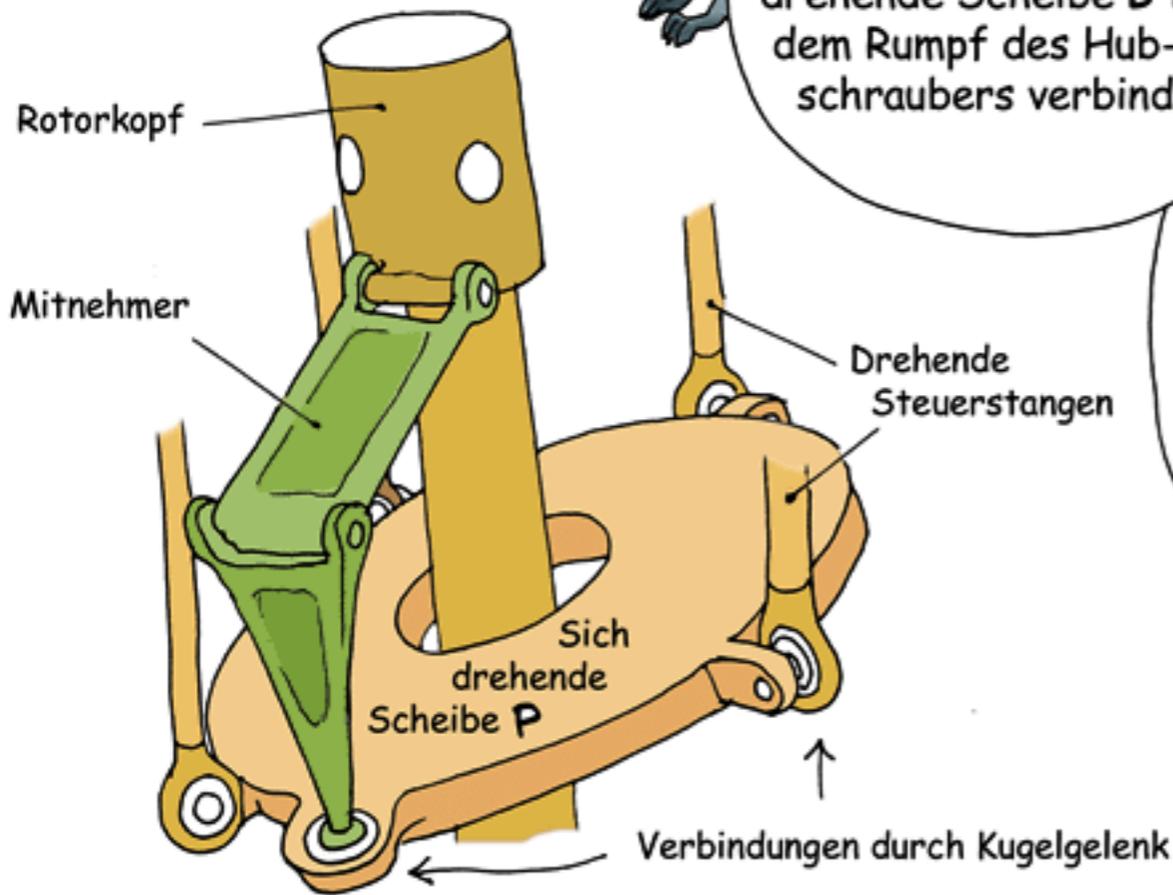


Bevor diese Studie über die zyklische Blattverstellung abgeschlossen wird, müssen wir noch einige Probleme lösen. Erstens: Wie kann man die sich drehende Scheibe P mit dem Rotorkopf verbinden? Man wird diese Verbindung doch nicht den filigranen Stangen anvertrauen?

Zweite Frage: Wie kann man das Kugelgelenk an dem vorgesehenen Platz auf der Scheibe B befestigen?

Nein, diese Aufgabe übernimmt ein Mitnehmer. Ein zweites, gleiches System wird auch die sich nicht-drehende Scheibe B mit dem Rumpf des Hub-schraubers verbinden.

Das Kugelgelenk besteht aus einem selbstschmierenden, geschlitzten Ring aus Teflon, dessen Innenfläche zylindrisch und dessen Außenfläche sphärisch ist. Entsprechend deformiert kann man es leicht in die Lagerschale schieben. Das ganze Gebilde kann man dann über die Hülse schieben, in der sich die Rotorwelle befindet.



ZUSAMMENFASSUNG SIEHE NÄCHSTE SEITE →

DIE TAUMELSCHIBE

Aufnahme der drehenden Steuerstangen

Flansch

Steuerstangenaufnahme

Rotormast

Hülse

Rotormast

Befestigungsschelle des Mitnehmers 1

Gewinde

Mitnehmer 2

Klemmring

Schraubflansch

Sich drehende Scheibe

Sich nicht-drehende Scheibe

Mitnehmer 1

Aufnahme der drehenden Steuerstangen

Steuerstangenaufnahme

Aufnahme des Mitnehmers 2

Geschlitzter Ring aus Teflon mit sphärischer Außenfläche (Kugelgelenk)

Einkerbungen für Spannschlüssel

Sphärische Lauffläche

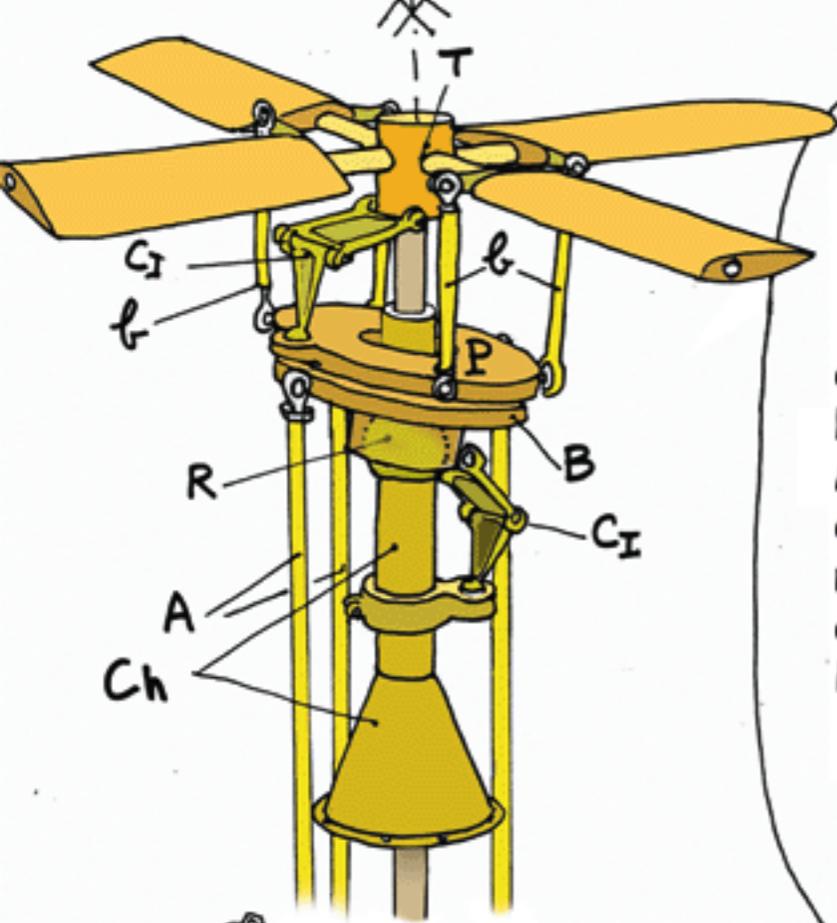
Gewinde für den Spannring

Aufnahme des Mitnehmers 1

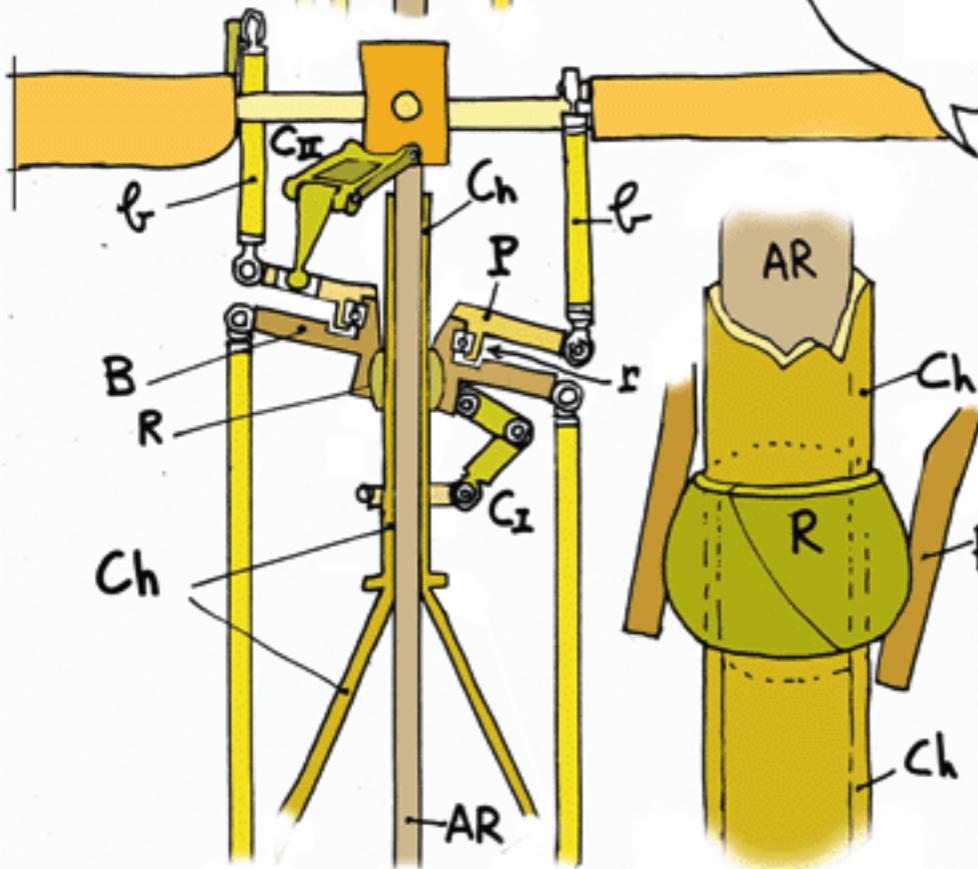
Hülse

Die Mechanik eines Hubschraubers enthält wahre Schätze an Intelligenz, um einen möglichst einfachen, soliden, leichten und strapazierfähigen Aufbau zu verwirklichen, der noch dazu aus möglichst wenig Teilen bestehen sollen.

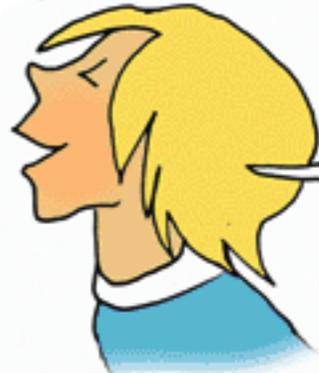




Und nun eine vielleicht leichter zu verfolgende Beschreibung des Prinzips: Mittels dreier Steuerungsstangen **A** kann man die sich nicht-drehende Scheibe **B** hoch- und hinuntergleiten lassen oder sie in alle Richtungen kippen. Dies geschieht dank des Kugelgelenks **R**, welches frei entlang der Hülse **Ch** gleiten kann, die mit dem Hubschrauberrumpf fest verbunden ist. Ein erster, mit der Hülse **Ch** fest verbundener Mitnehmer **C_I** verhindert die Drehung der Scheibe **B** bezüglich des Rumpfes. Der drehende Teil der Taumelscheibe **P** ist durch ein Kugellager **r** mit der dem sich nicht-drehenden Teil **B** verbunden. Die Stellung der Scheibe **B** wird vom Piloten über das Steuergestänge **A** vorgegeben. Die Scheibe **P** überträgt seine Befehle auf die Blätter mittels der drehenden Steuerstangen **b**. Ein zweiter Mitnehmer **C_{II}** verbindet den Rotorkopf **T** mit dem drehenden Teil der Taumelscheibe **P**. Ohne diesen Mitnehmer würde die einzige Verbindung zwischen beiden aus den drehenden Steuerstangen **b** bestehen, die leicht brechen könnten. (*)



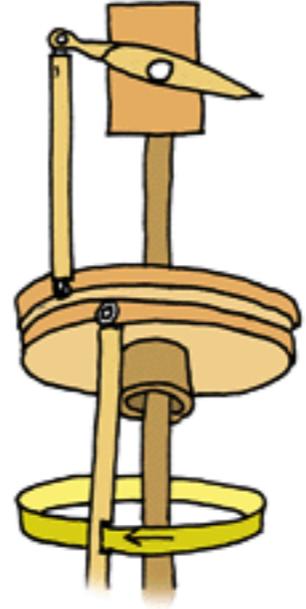
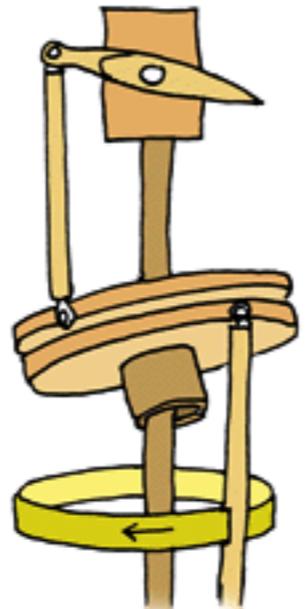
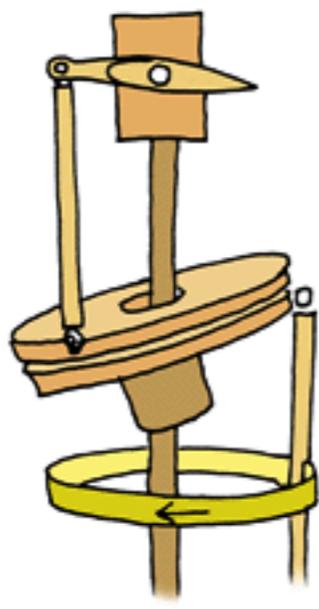
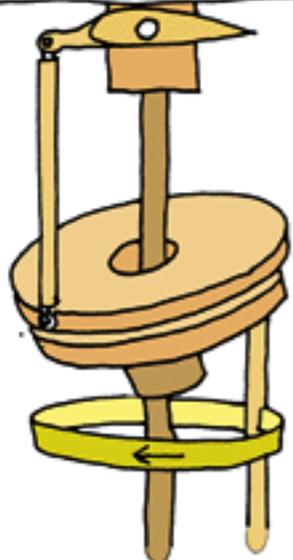
Nun muß ich noch eine praktische **STEUERUNG** entwerfen, mit der ich die drei senkrechten Steuerungsstangen benutzen kann...



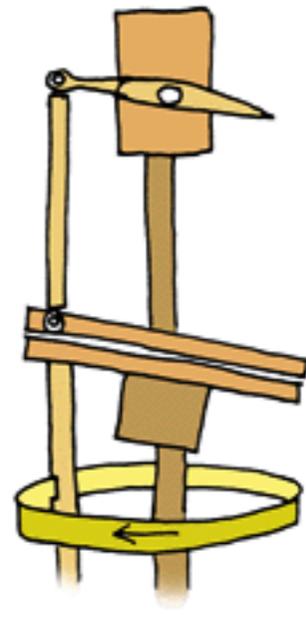
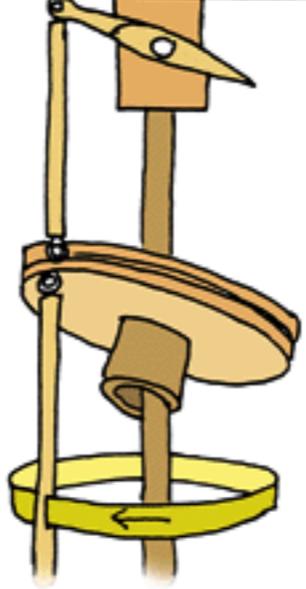
...und dann bin ich fertig!

(*) Es hat schon mal einen Fall gegeben, wo die Stangen das überlebt haben. (Anm. d. Eurocopter- Rezensentin.)

Min. Anstellwinkel



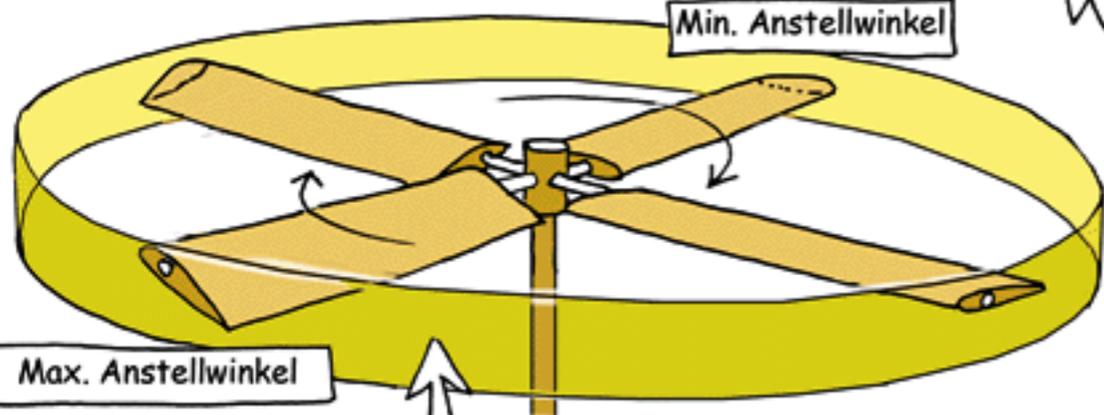
Max. Anstellwinkel



Usw...

Unten sieht man die Bewegung einer der drei Steuerstangen.

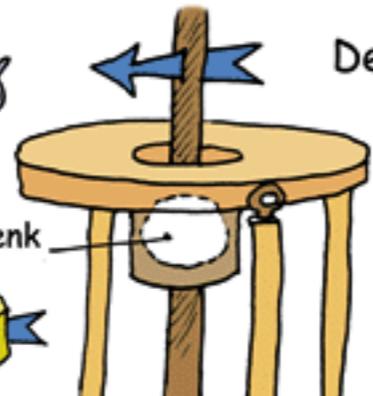
Min. Anstellwinkel



Max. Anstellwinkel

Oben folgt man der Bewegung eines Blattes. Sein Anstellwinkel variiert periodisch zwischen einem minimalen und einem maximalen Wert.

Hier haben alle vier Blätter unterschiedliche Anstellwinkel.



Der Pfeil zeigt jeweils nach vorne.

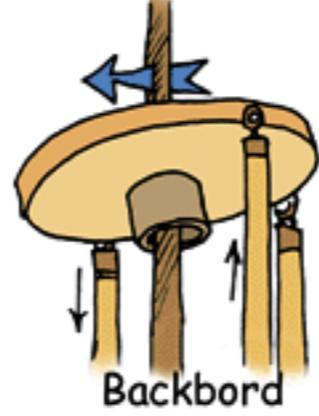
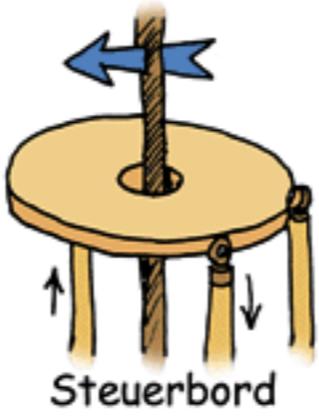
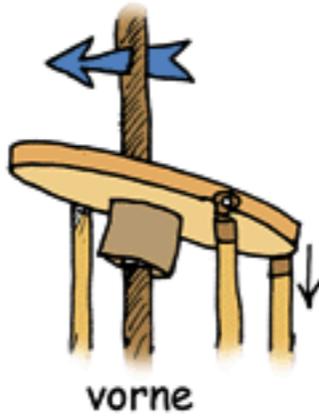
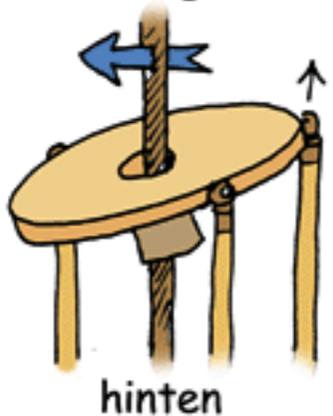
Kugelgelenk

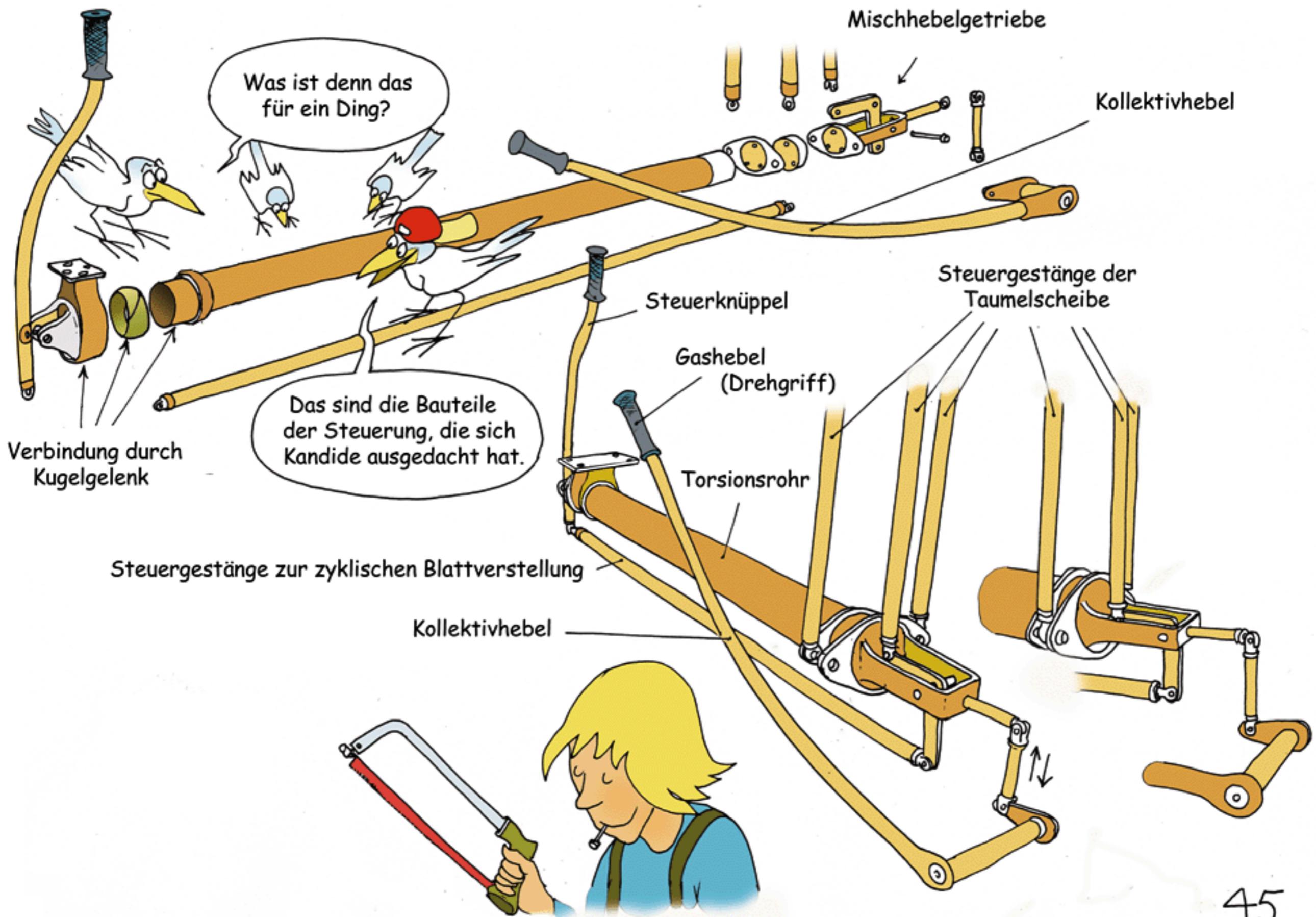
Steuerbord

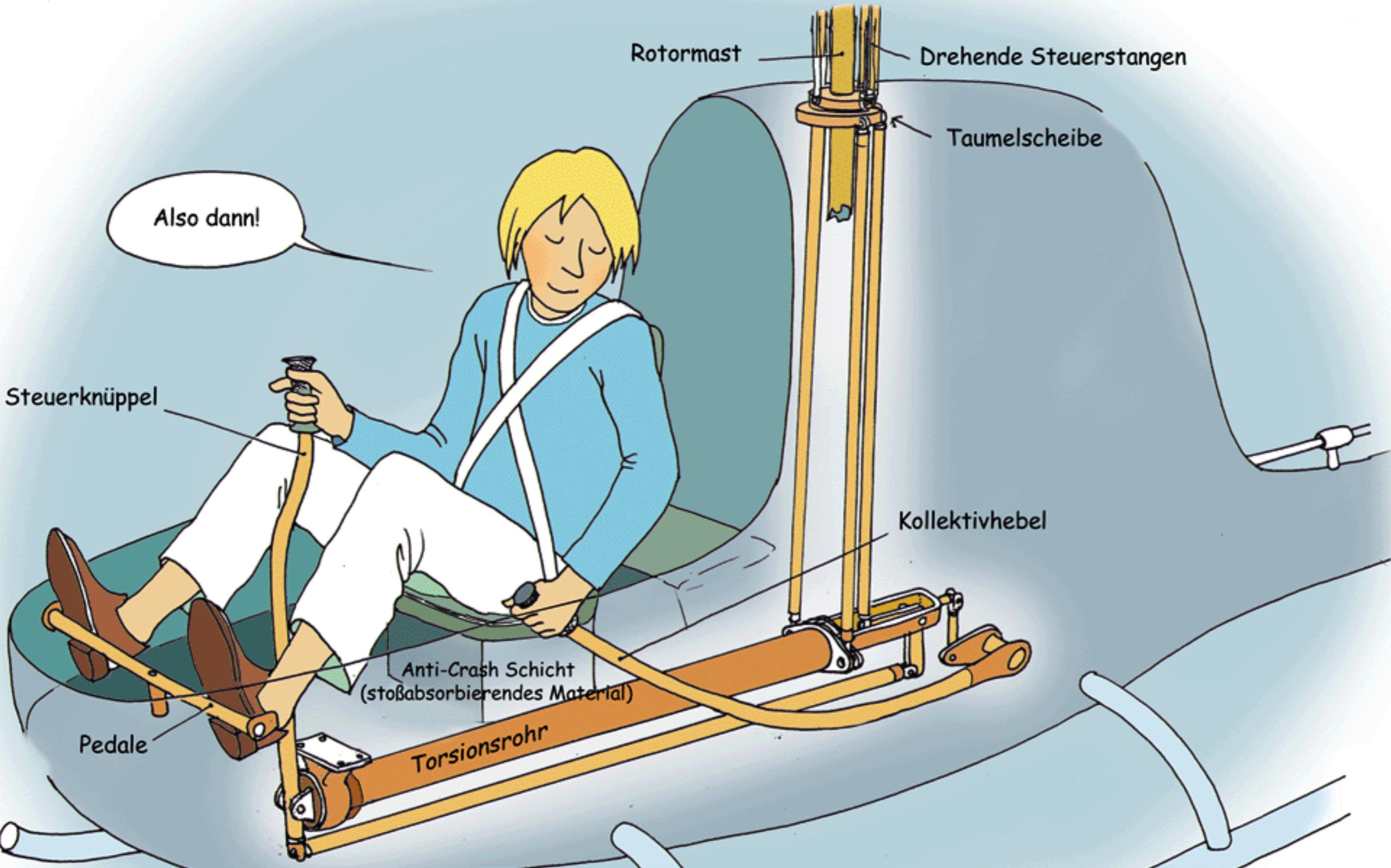
Backbord

Drei Stangen reichen aus, um die Neigung der sich nicht-drehenden Scheibe zu kontrollieren.

Einen Hubschrauber fliegt man, indem man den Anstellwinkel der Blätter ändert:







Rotormast

Drehende Steuerstangen

Taumelscheibe

Also dann!

Steuerknüppel

Kollektivhebel

Anti-Crash Schicht
(stoßabsorbierendes Material)

Torsionsrohr

Pedale





Ich habe deutlich gespürt, wie die Maschine erschüttert wurde, sobald ich die zyklische Blattverstellung betätigt habe. Es war, als ob eine unsichtbare Hand den Rotorkopf geschüttelt hätte. Aber, wenn ich darüber nachdenke, fällt mir glaube ich ein einleuchtender Grund dieses Phänomens ein.



Wenn man bei zwei gegenüberliegenden Blättern den Anstellwinkel des ersten erhöht und den Anstellwinkel des zweiten verringert, so unterscheiden sich die aerodynamischen Kräfte sowohl in ihrer Richtung als auch in ihrer Intensität. Und dies erklärt diese schrecklichen Vibrationen.



Ich habe wirklich gespürt, daß mein Rotor gebrochen wäre, wenn ich nicht aufgegeben hätte.



Warum sollte man nicht den Blättern die Freiheit geben, sich nach oben und unten sowie nach vorne und hinten zu bewegen, und überlassen wir der Zentrifugalkraft die Aufgabe, sie zu stabilisieren.



Panglos, es funktioniert, es funktioniert! Zwar vibriert die Maschine immer noch, aber es ist noch tolerierbar. Dagegen bleiben mir ihre Flugeigenschaften immer noch unverständlich. Knüppel nach vorne: Sie bricht nach rechts aus. Knüppel nach rechts: Sie bäumt sich auf und fliegt rückwärts. Knüppel nach links: Die Nase geht runter und die Maschine fliegt nach vorne. Knüppel zurück: Sie bricht nach links aus!

Nun ja, es bedeutet, daß die Maschine Ihren Vorgaben folgt... nur um 90° versetzt!

Es ist zwar unglaublich, aber Sie haben Recht!

Nun, da liegt doch die Lösung auf der Hand! Ändern Sie die Steuerung entsprechend!

Nein, mein lieber Meister, ich will mich nicht in eine Maschine setzen, deren Verhalten mir dermaßen unbegreiflich ist.

Ach, mein lieber Kandidat! Wie viele Dinge scheinen uns alltäglich zu sein, obwohl uns deren wahre Natur verborgen bleibt? Schauen Sie mal: Die Sonne dreht sich um die Erde, und wir wissen nicht warum. Auch kennen wir nicht den Grund für die Angst vor der Leere (horror vacui), welche in einem Barometer die Quecksilbersäule steigen läßt. Eine einleuchtende Erklärung der berüchtigten dunklen Energie, welche die beschleunigte Ausdehnung des Kosmos verursacht, bleibt uns ebenfalls verborgen. Ist das aber Grund genug, auf die Beobachtung aller Naturerscheinungen sowie auf deren Messung zu verzichten?

Und, mein lieber Kandidat, was ist mit der Liebe und mit all den zarten Gefühlen, die Sie für Fräulein Kunigunde hegen?

Ojeh, wenn diese Flugmechanik die beste aller möglichen Flugmechaniken ist, wie mögen dann die anderen sein?

PHASENVERSCHIEBUNG DER ZYKLISCHEN STEUERUNG



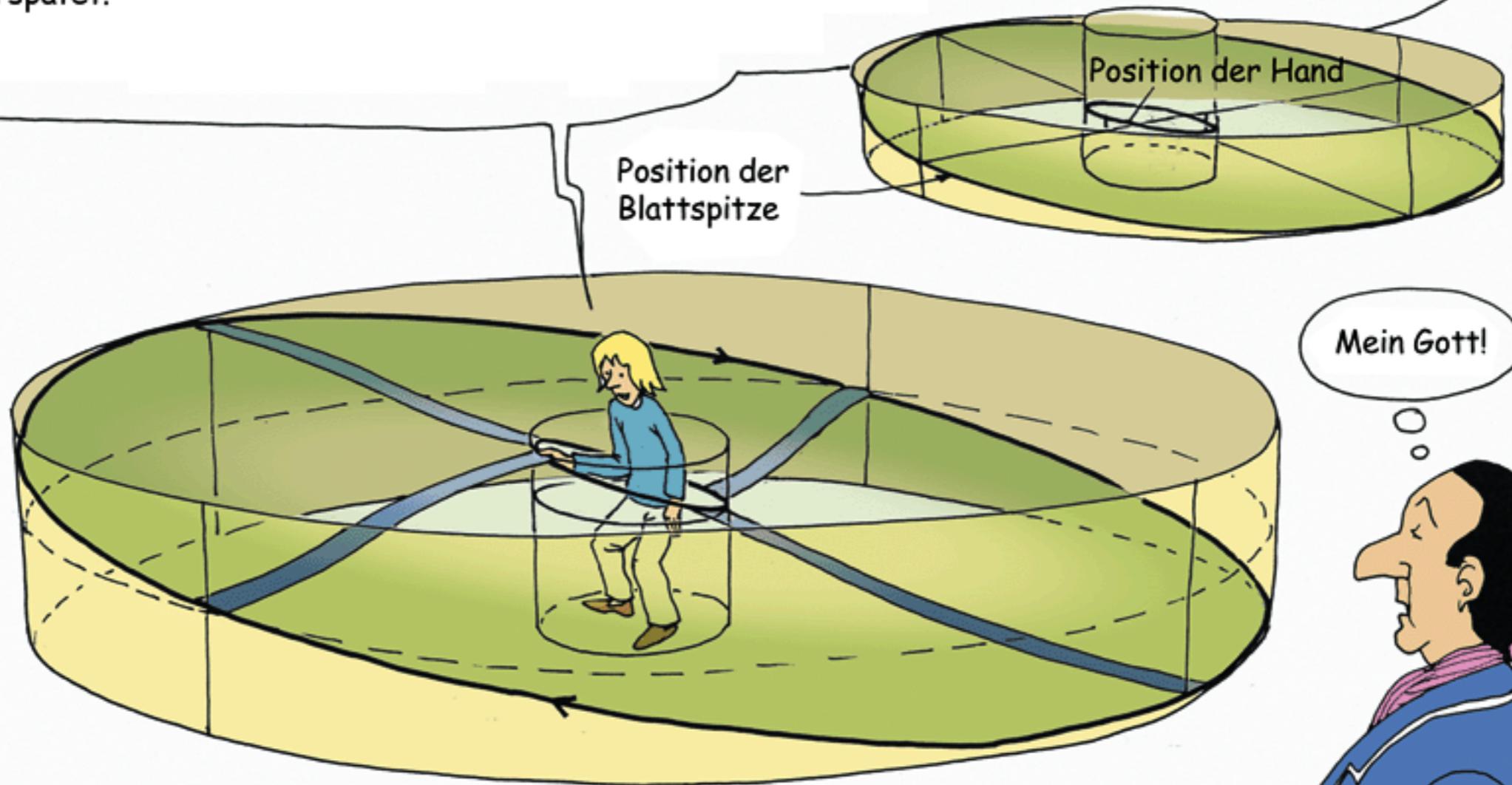
Oder wie man verstehen kann,
daß die Mechanik eines Hubschraubers viel
komplexer ist als die eines Flugzeuges...

Diese ganze Wissenschaft,
diese ganze Technik und am Ende
dieses idiotische Phänomen, das ich
nicht verstehe...

Das nervt, das nervt...

Doch gibt es keine
Wirkung ohne Ursache.
Ich muß eine einleuchtende
Erklärung für dieses Rätsel
finden.

Meister Panglos, ich glaube, ich habe verstanden! Angenommen, ich bewege dieses Rotorblatt an seiner Basis mit derselben Frequenz auf und ab, mit der ich mich gleichzeitig um meine eigene Achse drehe, dann pflanzt sich diese Schwingung entlang des Blattes fort. Durch das Zusammenwirken von Trägheit und Elastizität erfolgt dies um 90° verspätet.



Mein Gott!

Die Gelehrten sagen, so verhält sich ein **SYSTEM ZWEITER ORDNUNG**.

Ich muß zugeben, dass diese hinreichende Erklärung meine Vorstellungskraft übersteigt...

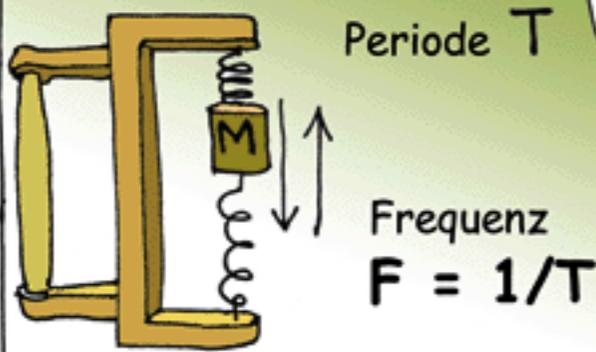
Fragen Sie sich nicht, wozu ein solches Gerät gut sein könnte: Sein einziger Zweck besteht darin, das sonderbare Verhalten der Rotorblätter eines Hubschraubers zu erklären.

Meister, dank dieses Geräts namens **ELASTOTRON** werden Sie gleich verstehen.

Ich dachte, wir würden hier Strömungsphysik betreiben?

Ich erklär' s Ihnen: Wenn ich die Masse **M** aus ihrem Ruhezustand bringe, dann schwingt sie mit einer Frequenz die man **EIGENFREQUENZ DES SYSTEMS** nennt.

Wenn ich nun das Gerät eben mit der **FREQUENZ F** auf und ab schüttele, dann „antwortet“ die Masse **M GEGENPHASIG**.



Inwiefern geht Sie Strömungsphysik überhaupt etwas an?

Sie schwimmen bestimmt wie eine Bleiente, nicht wahr?

Schwimmen?



Komm, Liebling. Wir wollen uns doch nicht mit diesem Pinguin anlegen. Dieses Buch ist ohnehin schon kompliziert genug!

Nun schwingt auch die Halterung **GEGENPHASIG!**

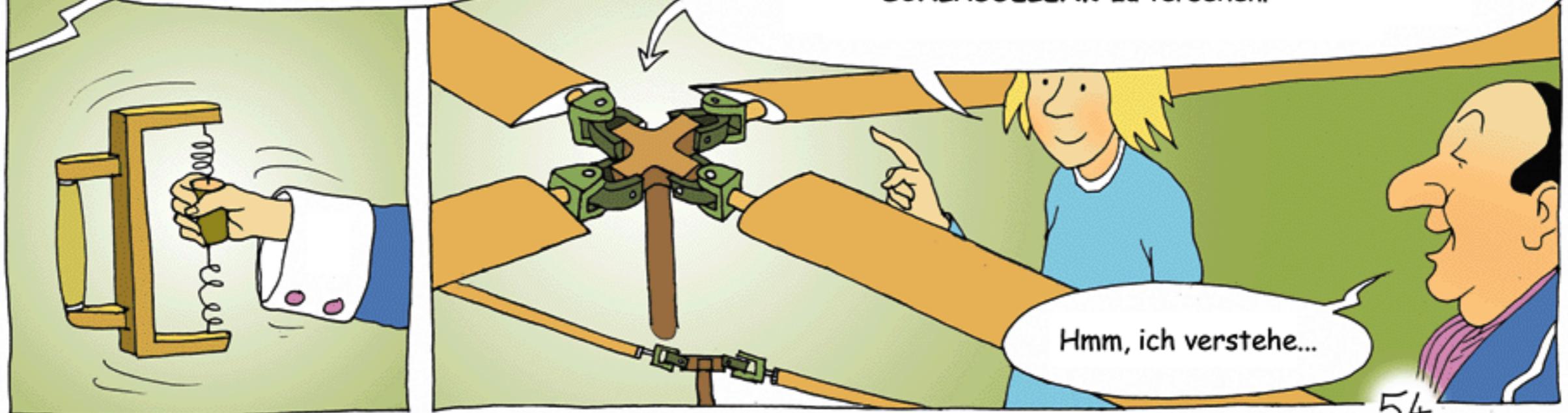
Packen Sie nun das Elastotron an seiner schwingenden Masse M und schütteln Sie es mit seiner Eigenfrequenz F .



Gut, dann fasse ich es so an und schüttele es mit seiner... Eigenfrequenz...

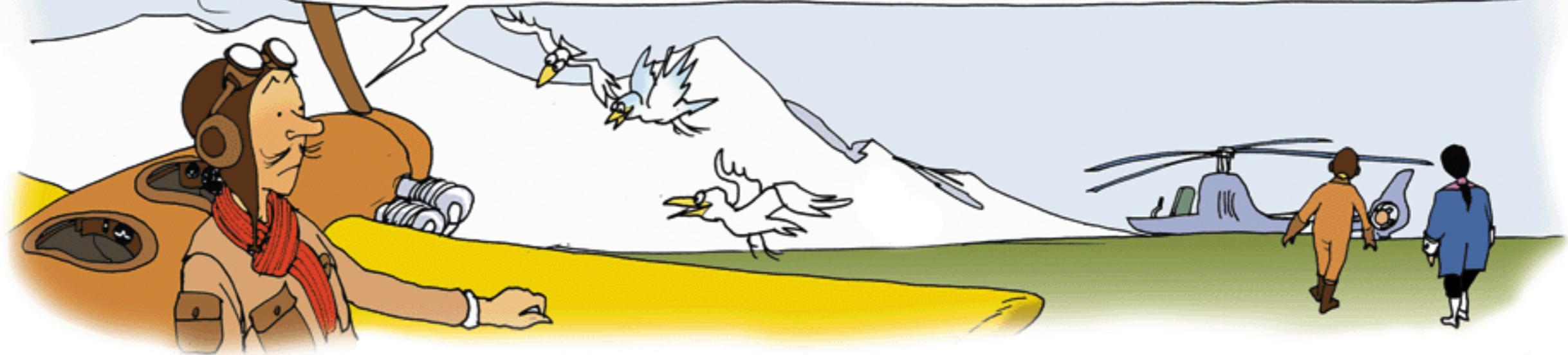
Übertragen Sie das auf einen Hubschrauber. Zuvor habe ich das Rotorblatt **GLEICHPHASIG** mit meiner Drehbewegung in Schwingung versetzt. Im Fluge sind das aber die Rotorblätter, welche die Maschine schütteln. Daher ist es notwendig, jedes von ihnen mit einem **SCHLAGGELENK** zu versehen.

Hmm, ich verstehe...





Habe ich etwa Schwingungsprobleme eines Systems zweiter Ordnung?



(*) Schon bei den ersten Flügen seines **AUTOGIROS** mußte der Spanier **DE LA CIERVA** seine Rotorblätter schnellstens mit einem solchen System von gedämpften Gelenken versehen, weil der Rotor zu zerbrechen drohte.

Ich frage mich, was Kandidate wohl gerade tut? Schon seit einer Weile haben wir nichts mehr von ihm gehört. Das macht mich stutzig.

Fragst Du Dich etwa, was er noch alles erfunden haben könnte?

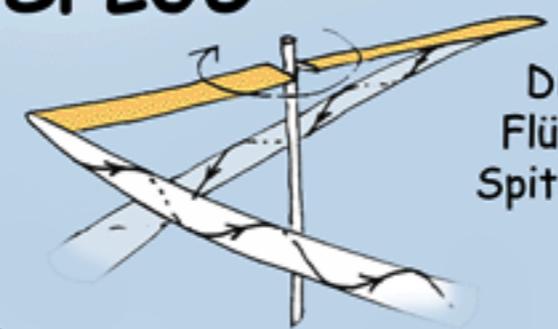
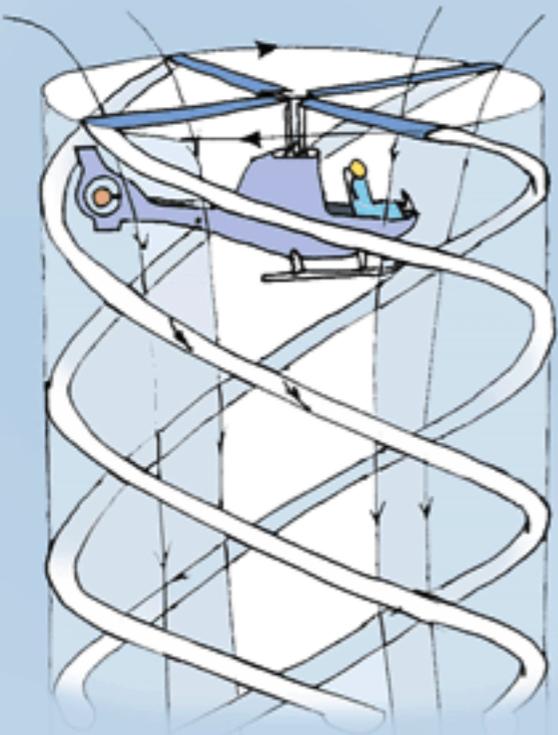
Es hat ihm nie an subversiven Einfällen gefehlt.

Gut, er mag ja ein guter Ingenieur sein...

...aber seine Ideen zu interstellaren Reisen mag ich gar nicht!

Und sowieso: Ob Doktor der Physik oder nicht, meine Tochter wird nie einen gemeinen Bürgerlichen heiraten!

ÜBERGANG ZUM VORWÄRTSFLUG



Die Rotorblätter eines Hubschraubers sind Flügel mit sehr großer Streckung, die an ihren Spitzen **RANDWIRBEL** hinterlassen.

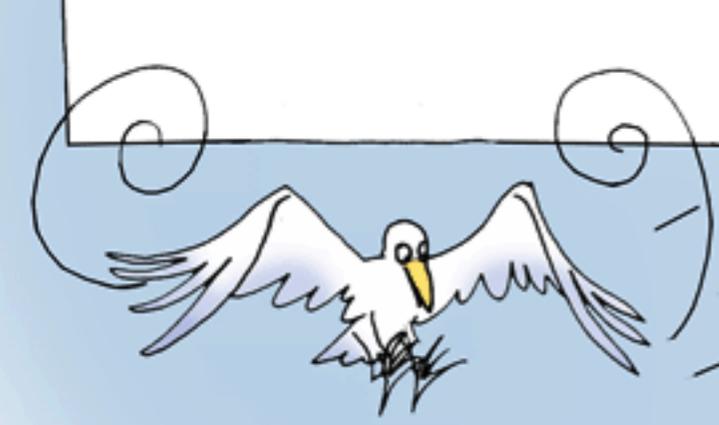


Diese nutzlosen Wirbel stellen einen Energieverlust dar.



Das sind eben diese an den Spitzen der Tragflächen erscheinenden Wirbel, die in großen Höhen den Wasserdampf zum Kondensieren bringen und sog. Kondensstreifen verursachen.

Sobald der Helikopter in den Vorwärtsflug übergeht, kommt es zu einer völligen Veränderung des Strömungsverlaufs. Die Wirbel verlieren ihren Einfluss und die Maschine braucht daher weniger Energie, um fliegen zu können.



Vogel im Schwebeflug: Starke Wirbel



Die Geschäftsführung

Vogel im Vorwärtsflug



Ich muß gestehen, daß ich von dieser Geschichte um den **ÜBERGANG ZUM VORWÄRTSFLUG** nichts verstehe.

Ist doch ganz einfach!
Schau mal an, wie wir abheben...



Um im Schwebeflug zu bleiben, verbrauchen wir durch die Erzeugung von Wirbeln Energie.



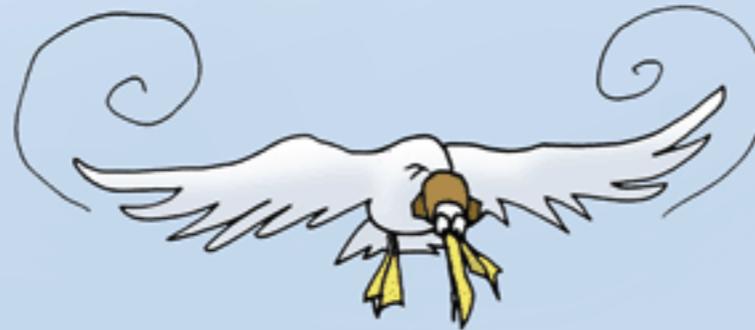
Während des Vorwärtsflugs durchströmt die Luft unser Gefieder mit weniger Wirbeln. Zwar lenken wir immer noch die Luft nach unten, doch brauchen wir hierfür weit weniger Energie.

Und wie ist es beim umgekehrten Übergang?

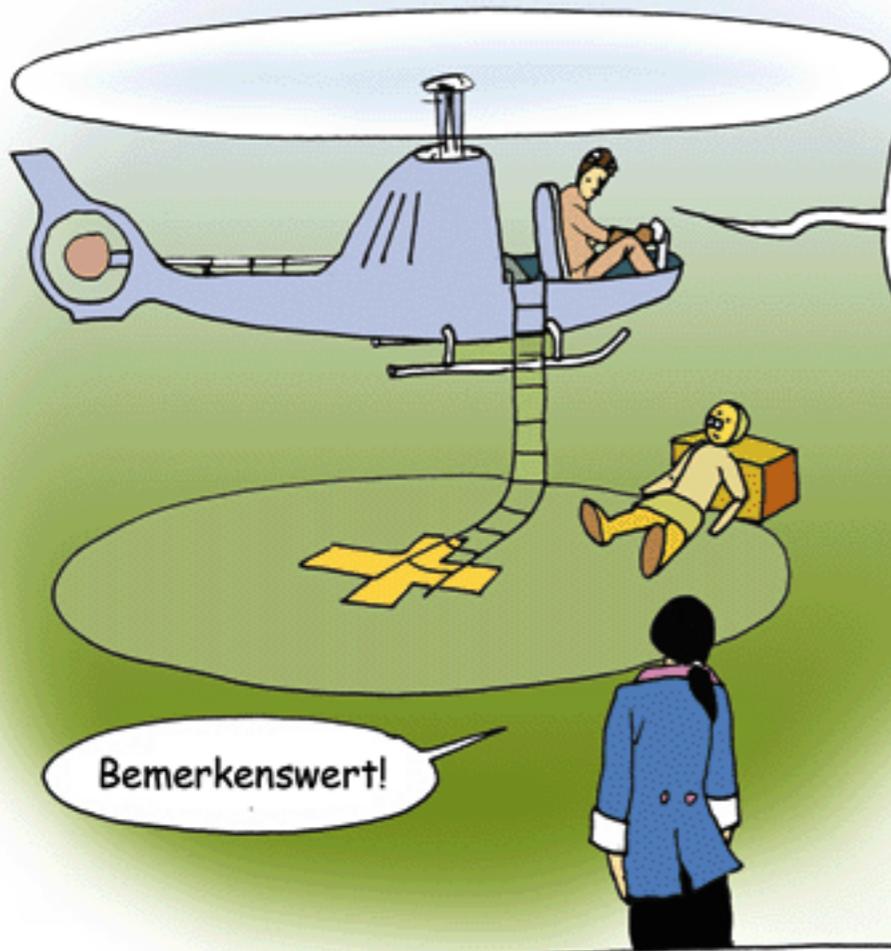
Das ist nicht schwierig! Angenommen,
Du siehst etwas interessantes da unten,
einen Fisch z.B...



...dann ziehst Du hoch, um Deine
Geschwindigkeit zu reduzieren und
in der Luft zu stehen...



...und dann kehrst Du zum Schwebeflug zurück, bei dem Du starke Wirbel
verursachst und daher mehr Energie verbrauchst.



Meister Panglos, nun bin ich wirklich bereit. Meine Maschine ist außerordentlich stabil und wendig. Sobald Kunigunde eingestiegen ist, werde ich mich schnellstens aus der Reichweite der Bogenschützen des Herrn Baron entfernen.

Bemerkenswert!

Für den Anflug brauche nur hoch genug anzukommen. Die Leute schauen nie nach oben. Und dann werde ich schnell zur Terrasse hinunter sinken.





O weia, das ist ja
vollkommen instabil!

Und es
vibriert
noch dazu!



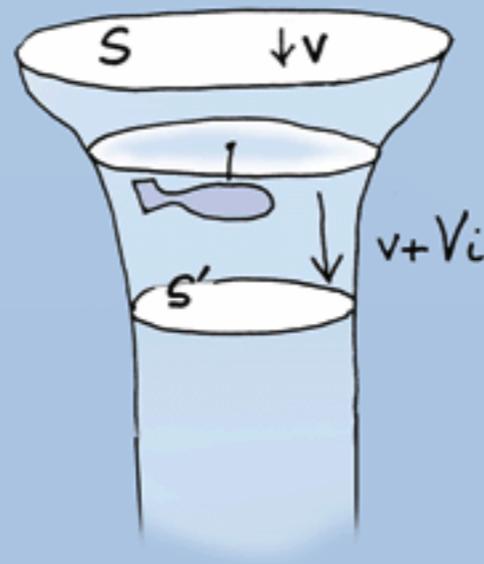
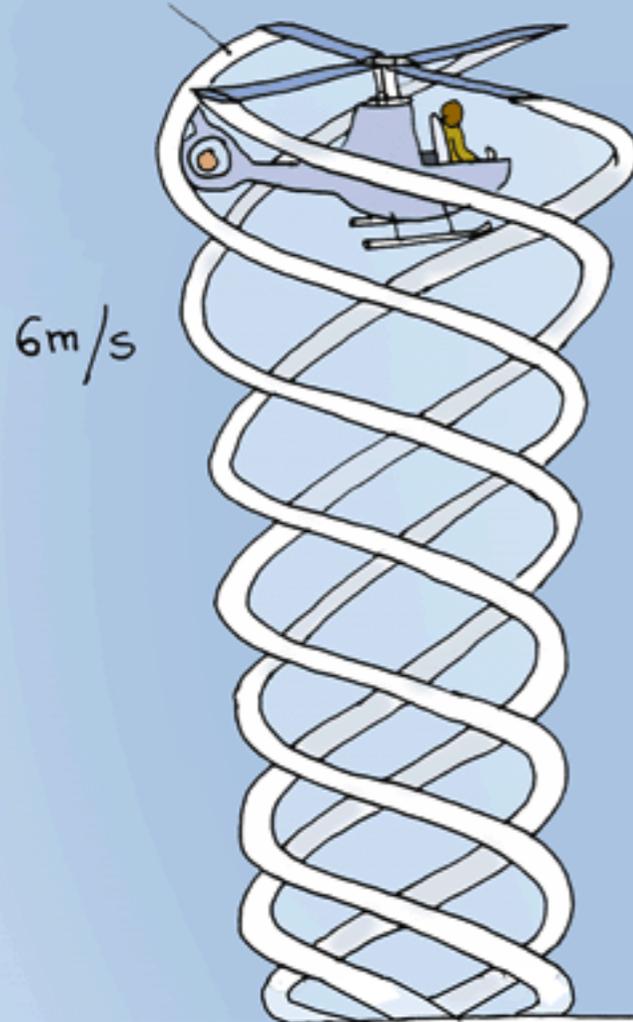
Ich habe den Eindruck, daß mein Hubschrauber
auf einer formlosen, vollkommen instabilen Masse
aufliegt. Ich muß schnellstens da raus! Es scheint
wirklich keine gute Idee zu sein, schnell senkrecht
runterzukommen!



Meister Panglos, ich habe das Ziel verfehlt!
Rein senkrecht zu landen, geht nicht!

INDUZIERTE GESCHWINDIGKEIT

Blattspitzenwirbel



$$\rho v S = \rho (v + v_i) S' \quad (*)$$

Da ein Hubschrauber schwebt, indem er „Luft nach unten“ bläst, wird der Luft eine **INDUZIERTE GESCHWINDIGKEIT** v_i in der Größenordnung von 6 Metern pro Sekunde mitgegeben. Dieses Phänomen könnte man besser sehen, wenn aus den Blattspitzen Rauch entweichen würde.



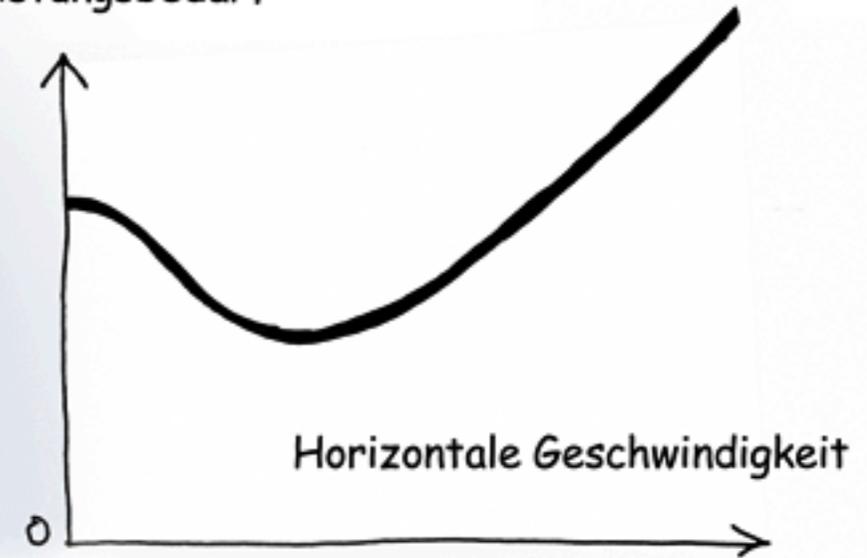
Randwirbel

Auch ein Flugzeug „beschleunigt Luft nach unten“, obwohl dieser Effekt der induzierten Geschwindigkeit weniger ausgeprägt ist.

(*) Diese Gleichung drückt die Erhaltung des Luftstroms bei konstanter Dichte ρ aus. Daraus folgt, daß der Querschnitt S' kleiner als der Querschnitt S ist.

Jegliche **VERWIRBELUNG** bedeutet einen Energieverlust. Der Vorwärtsflug stört die Entstehung des Wirbelgebiets. Daher verbraucht man mit dieser Methode, die Höhe zu halten weniger Energie.

Flugleistungsbedarf

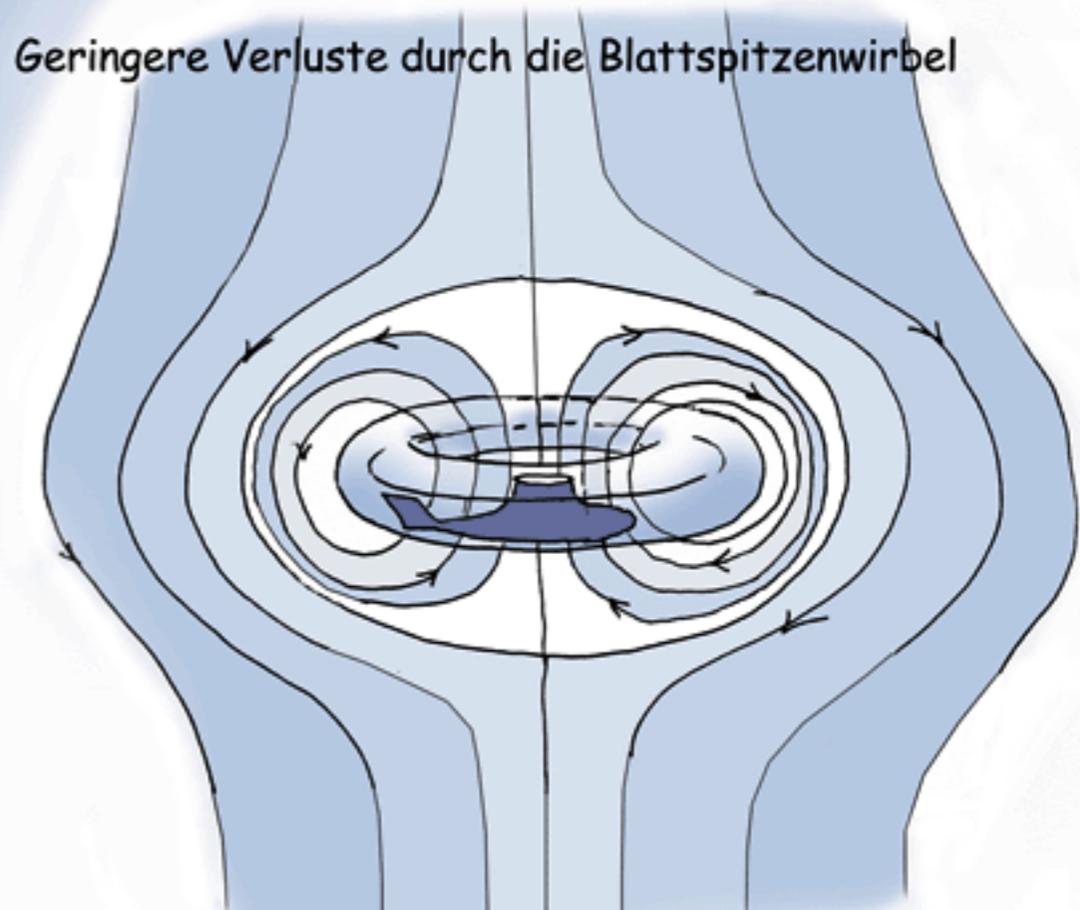


Horizontale Geschwindigkeit

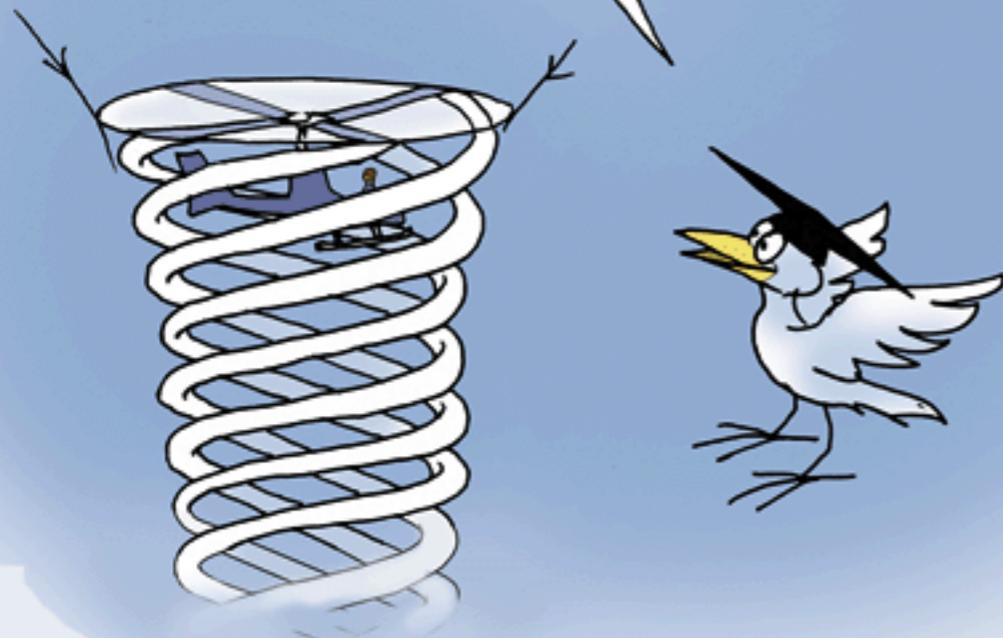
0

Geringere Verluste durch die Blattspitzenwirbel

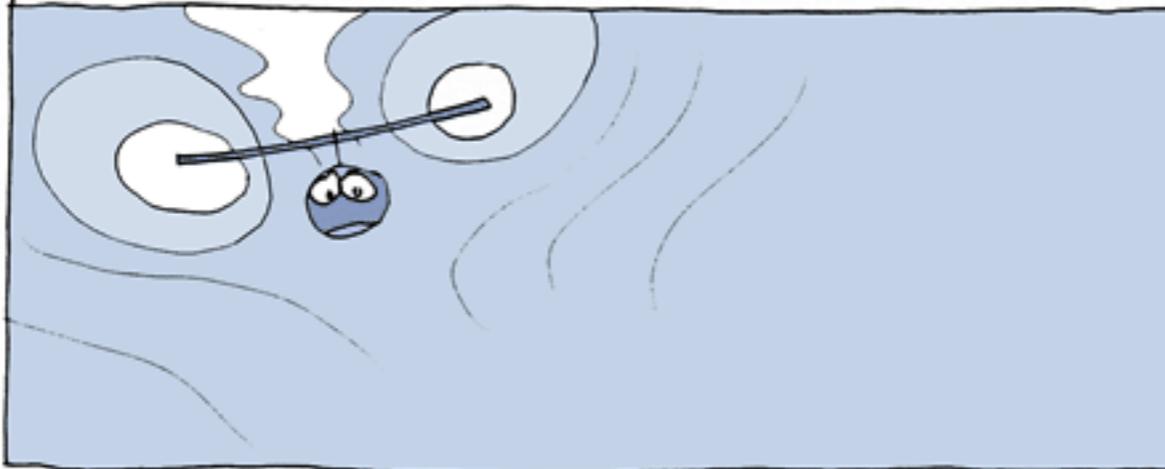
Die Wirbel treten miteinander in Wechselwirkung, wenn der Hubschrauber im vertikalen Sinkflug die Geschwindigkeit von $\frac{1}{4}V_i$ erreicht.



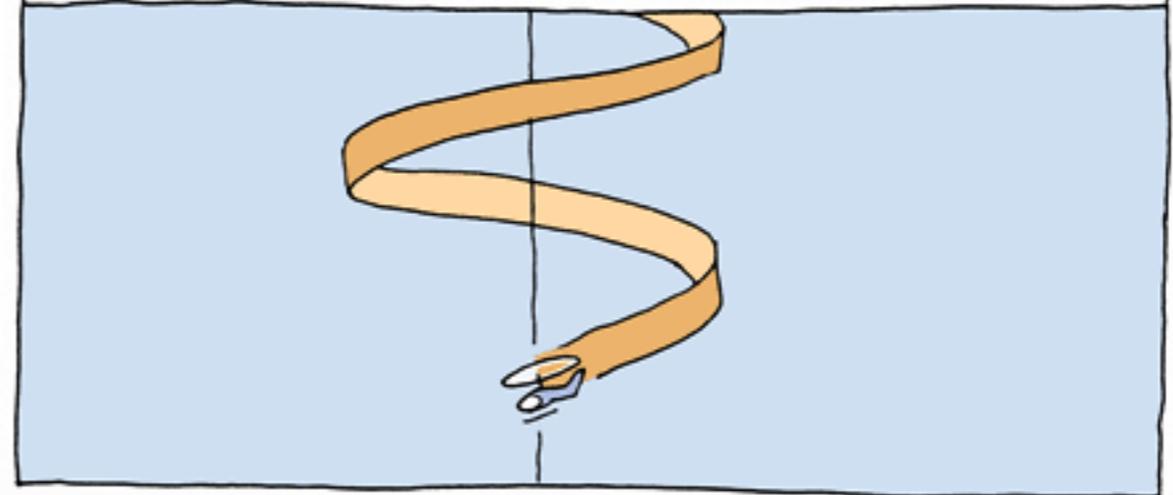
Wenn die Sinkgeschwindigkeit $\frac{3}{4} V_i$ erreicht, verschmelzen die Verwirbelungen zu einem dicken, ringförmigen Wirbel.



Durch den Rotor strömt nun genauso viel Luft aufwärts wie abwärts. Der resultierende Durchfluss ist also unterbrochen. Die Energieverluste steigen. Diese Konfiguration ist sehr instabil.



Auch beim „Hinabstoßen“ auf einen Landeplatz bevorzugen Piloten daher einen spiralförmigen Anflug, um so im Vorwärtsflug zu bleiben.



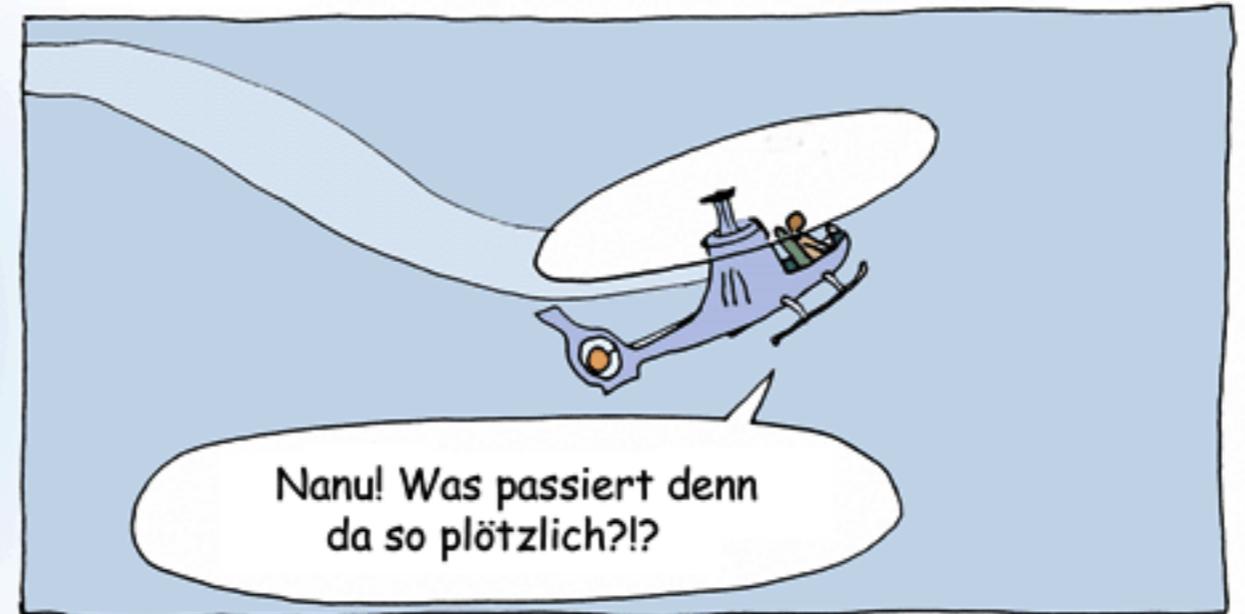
Ergo: Ich werde den Turm im Vorwärtsflug anfliegen. Im letzten Augenblick werde ich meine Geschwindigkeit reduzieren und zum Schwebeflug übergehen und dann mit moderater Sinkgeschwindigkeit, sagen wir mit einem Meter pro Sekunde, sinken.



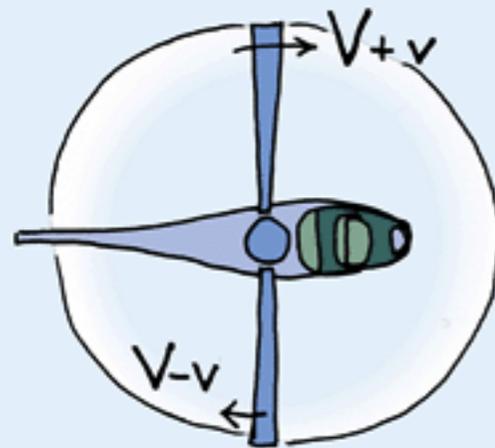
Das alles, um dieses gefährliche **WIRBELRINGSTADIUM** zu vermeiden.

Und nun zurück zu unseren Testflügen!

STRÖMUNGSABRISS AM RÜCKLAUFENDEN BLATT

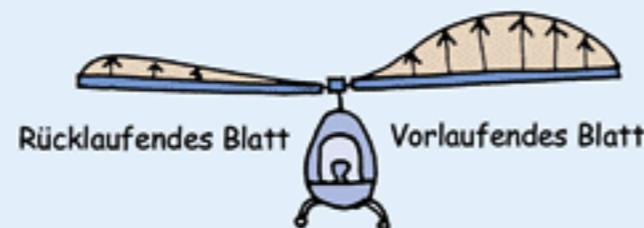


Vorlaufendes Blatt



Rücklaufendes Blatt

Es sei V die Umfangsgeschwindigkeit des Blatts und v die Fluggeschwindigkeit des Hubschraubers. Die **Geschwindigkeit des LUFTSTROMES**, der auf das **VORLAUFENDE BLATT** trifft, ist $V + v$. Für das **RÜCKLAUFENDE BLATT** gilt $V - v$. Daher sind beide Blätter unterschiedlichen Druckkräften unterworfen.

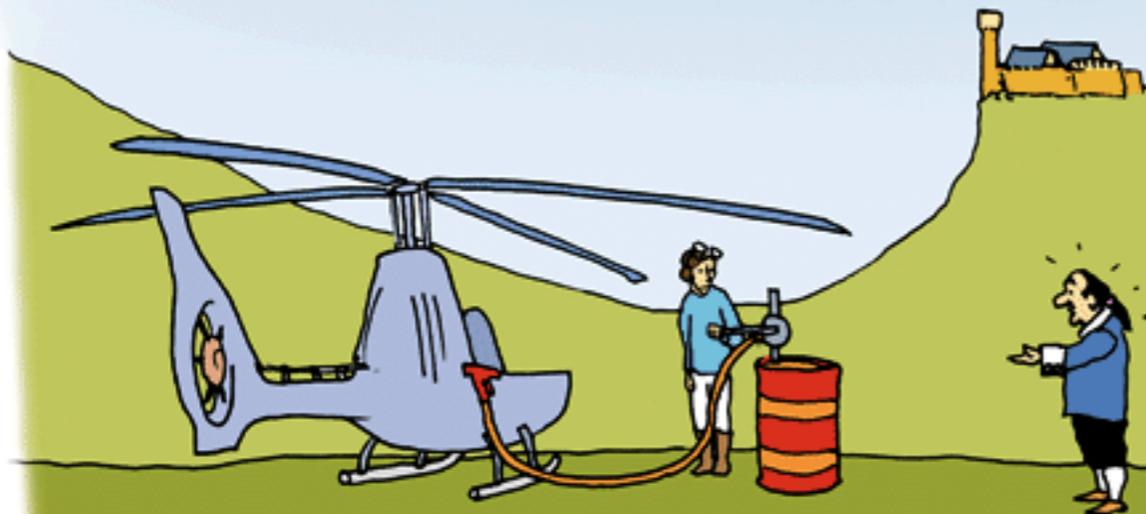


Man wäre versucht zu glauben, daß der Hubschrauber bei großen Geschwindigkeiten dazu neigen könnte, sich auf die Seite zu legen. Aber wegen der 90°-Phasenverschiebung der Reaktionen des Hubschraubers neigt dieser eigentlich dazu, sich aufzubäumen.



Je nach Land ist die Drehrichtung der Rotoren unterschiedlich. So befindet sich in Frankreich das vorlaufende Blatt immer links, auf amerikanische Maschinen ist es rechts (*). Dies ändert aber nichts an dem, was hier gesagt wurde.

Die Geschäftsleitung



Kandidate, mir fällt etwas ein! Von ihrem Vorhaben weiß der Baron nichts, aber Fräulein Kunigunde auch nicht! Wie können Sie wissen, daß sie tatsächlich auf dem Dach sein wird, wenn Sie dort landen werden?

(*) Das vorlaufende Blatt früherer deutscher Maschinen (2. WK) befand sich auch rechts. Die Hubschrauberentwicklungen von Eurocopter sind links- bzw. rechtsdrehend, je nachdem, ob sie auf MBB- oder Aérospatiale-Entwicklungen zurückgehen. (Anm. d. Ü.)

Da haben Sie Recht, Meister Panglos. Was kann ich aber tun?

Heute abend soll ich im Schloß dinieren. Ich werde schon einen Weg finden, ihr Bescheid zu sagen.



Meister Panglos hat ja immer mehrere Pfeile im Köcher...

Meister Panglos, warum erzählen Sie uns nicht eine schöne Geschichte voller Philosophie, die unserer leichtsinnigen Tochter dienlich sein könnte...

Oh ja, Meister! Wir lieben Ihre philosophischen Fabeln so sehr!



Es war einmal...

...und da kam der Prinz, zu der Stunde, als vom Glockenturm die 12 Schläge zu Mittag ertönten, auf seinem fliegenden Teppich herangeschwebt und befreite die Prinzessin, die auf dem höchsten Turm des Schlosses auf ihn wartete.



Das war ja eine nette Geschichte, Meister Panglos, obwohl ich... ähm... alle ihre philosophischen Implikationen nicht wirklich verstanden habe.



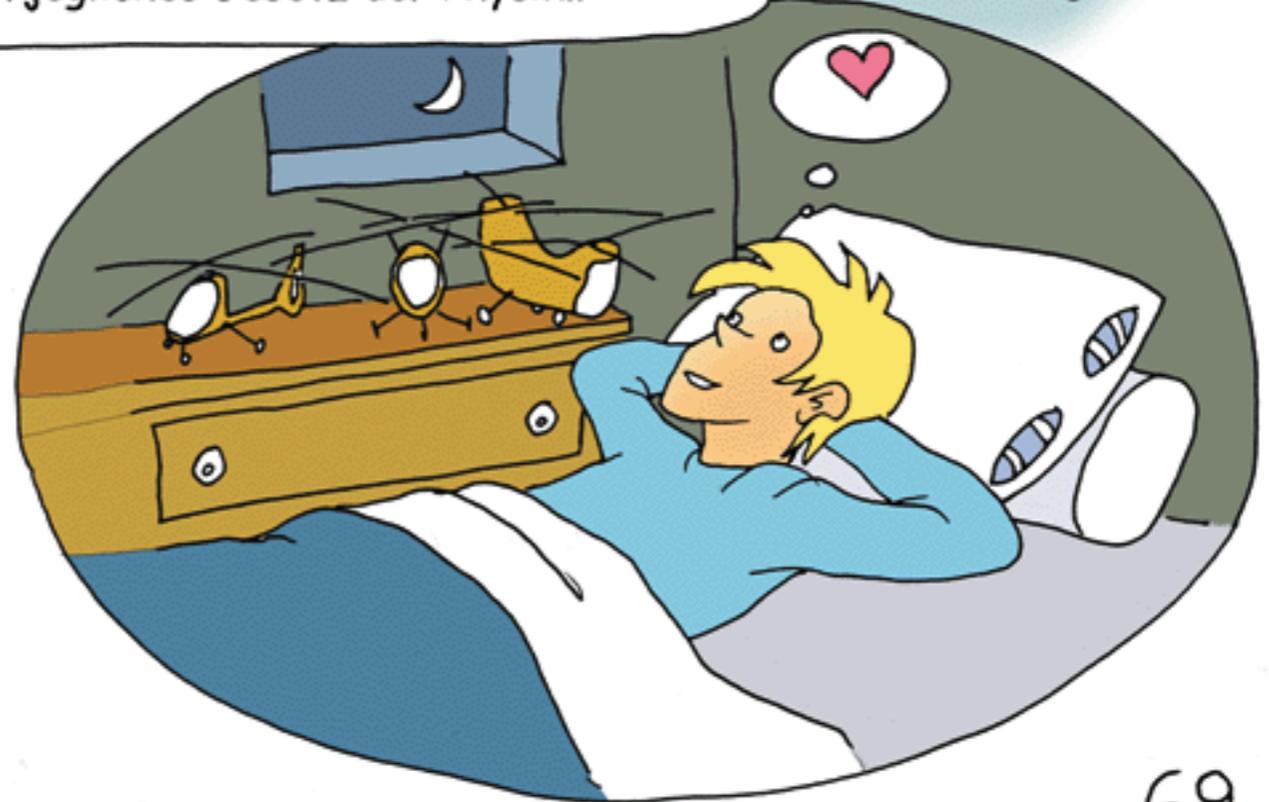


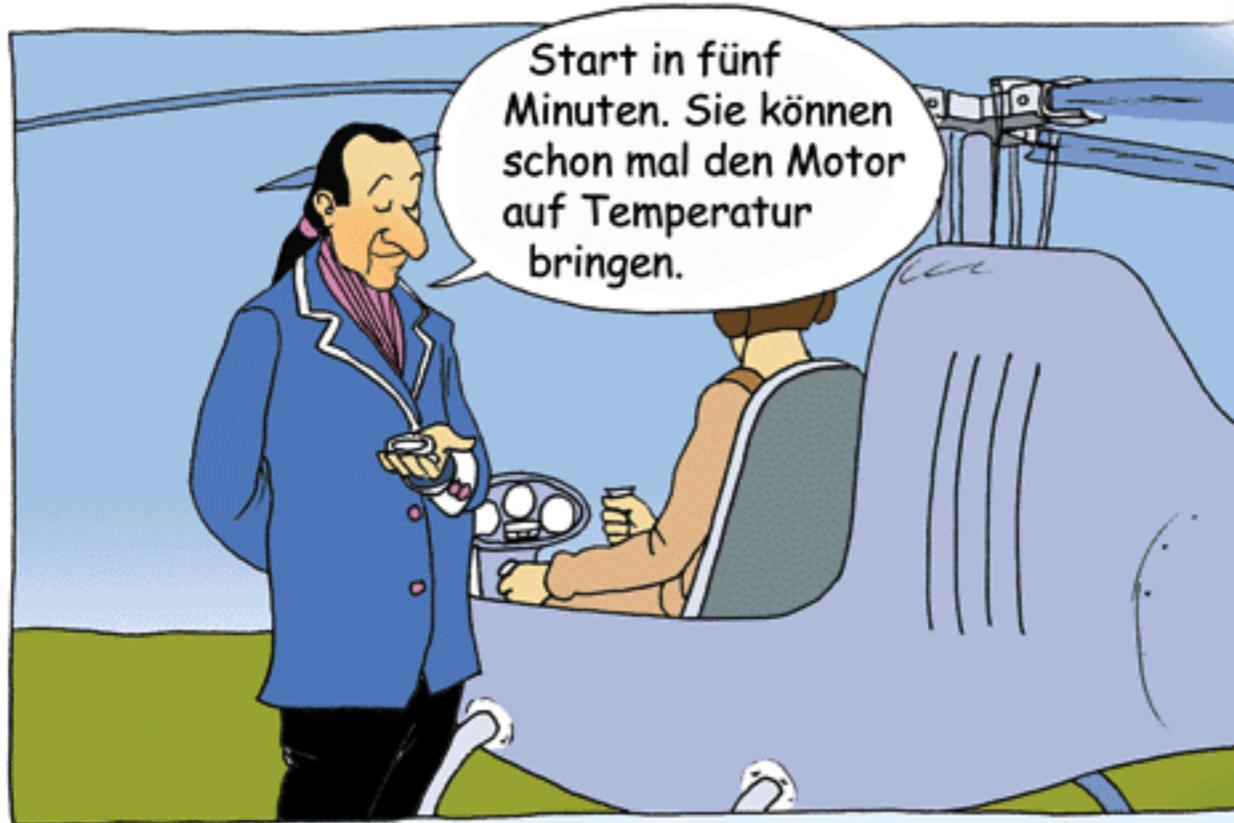
Solche Geschichten hört man doch nur in Märchen. Da kann man gleich an den Weihnachtsmann glauben!



Was für einen Träumer kann er manchmal sein, dieser Panglos!

Prinzen, die auf fliegenden Teppichen daher kommen!
Das ist doch gegen jegliches Gesetz der Physik!!



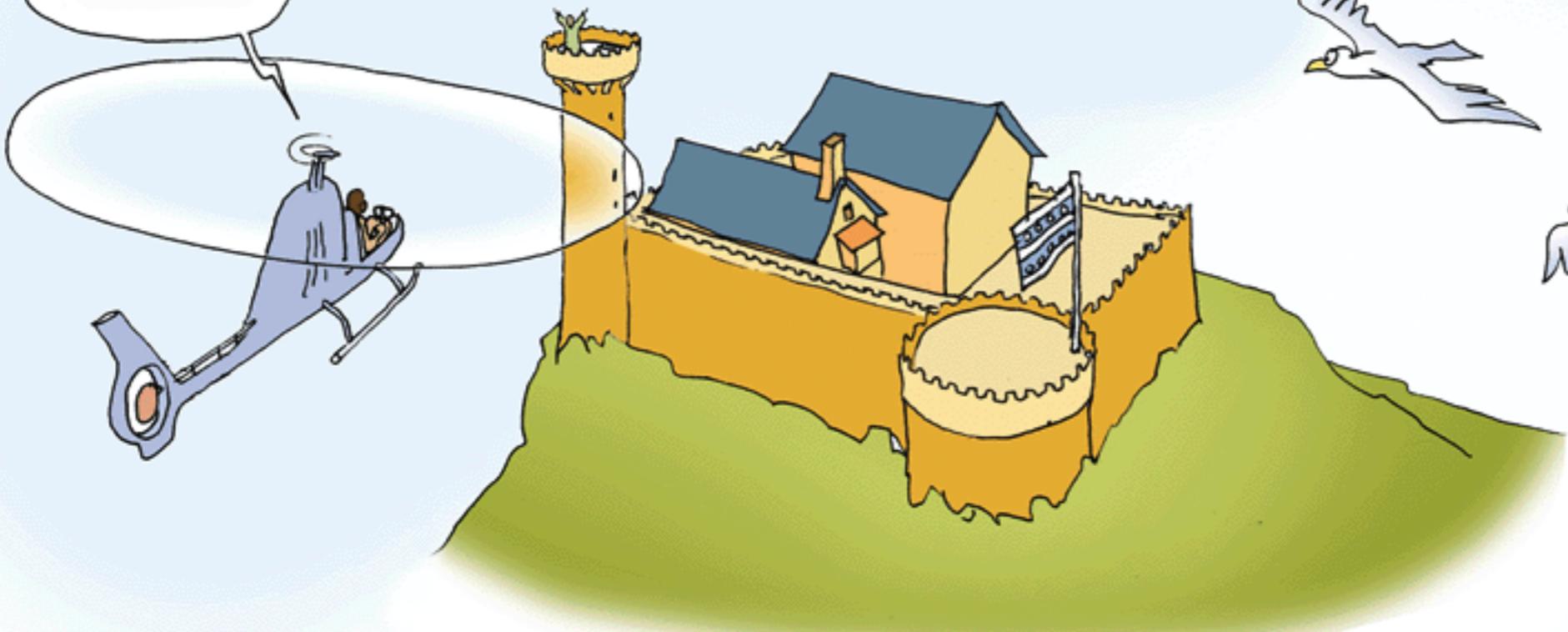


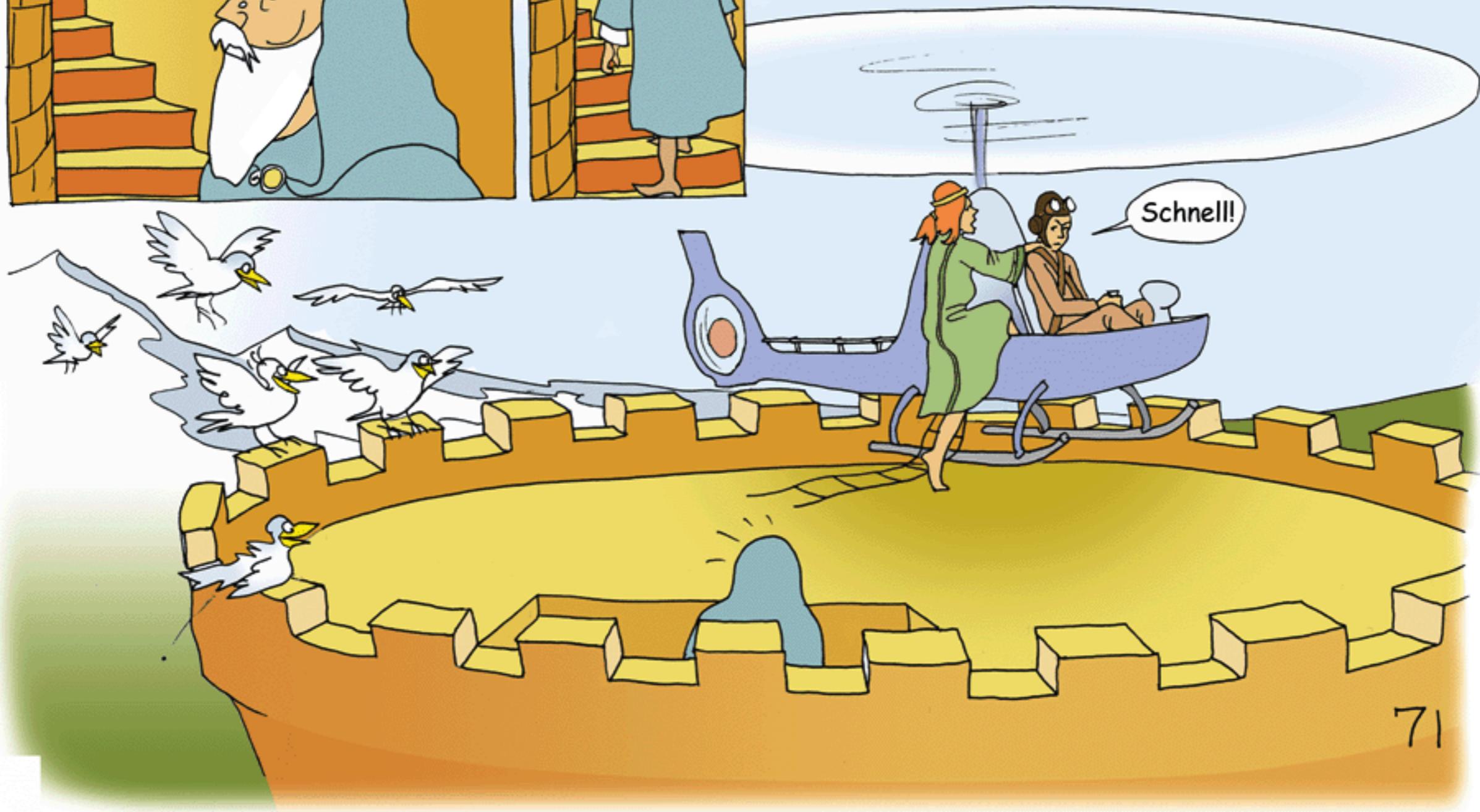
Start in fünf Minuten. Sie können schon mal den Motor auf Temperatur bringen.

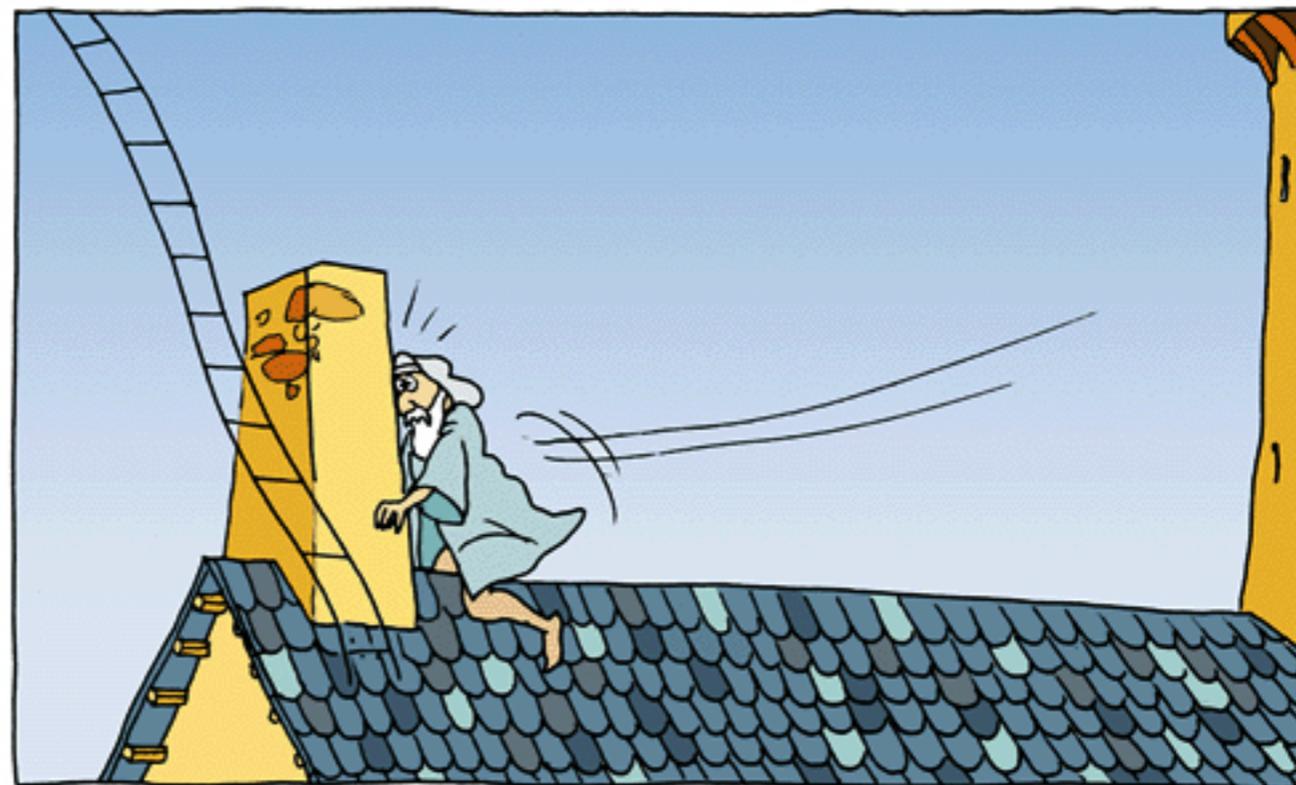


Panglos hat 12 Uhr gesagt, und die Uhr fängt an zu schlagen. Ich muß auf das Dach...

Da ist sie!!!









Das klappt! Der Luftstrom hat sich umgekehrt und fließt nun von unten nach oben. Wir sind in den **AUTOROTATIONSBEREICH** gewechselt: Mein Hubschrauber funktioniert jetzt wie ein Autogiro. Der antreibende Bereich der Blätter zieht den Rest mit.

Ein Hubschrauber kann also... segeln?

Sieht so aus!

Es geht aber verdammt schnell runter: 10 m/s. Nicht ganz wie ein Stein, aber fast.

Im Autorotationsflug besitzt ein Hubschrauber eine Geschwindigkeit von 100km/h, was eine **GLEITZAHL** von 3 entspricht. Eine vertikale Autorotations-Landung hätte eine Sinkrate von 20 m/s und kein Mensch würde den Aufschlag überleben. Um das Ganze zu veranschaulichen: Ein Mensch kann ohne Weiteres eine Landung mit 5 m/s hinnehmen, was einem Sprung von einer Anrichte entspräche (*). Ein Aufschlag mit 10 m/s entspräche einem Sprung aus 5 Meter Höhe.

Die Geschäftsleitung



Aufschlag mit 5 m/s

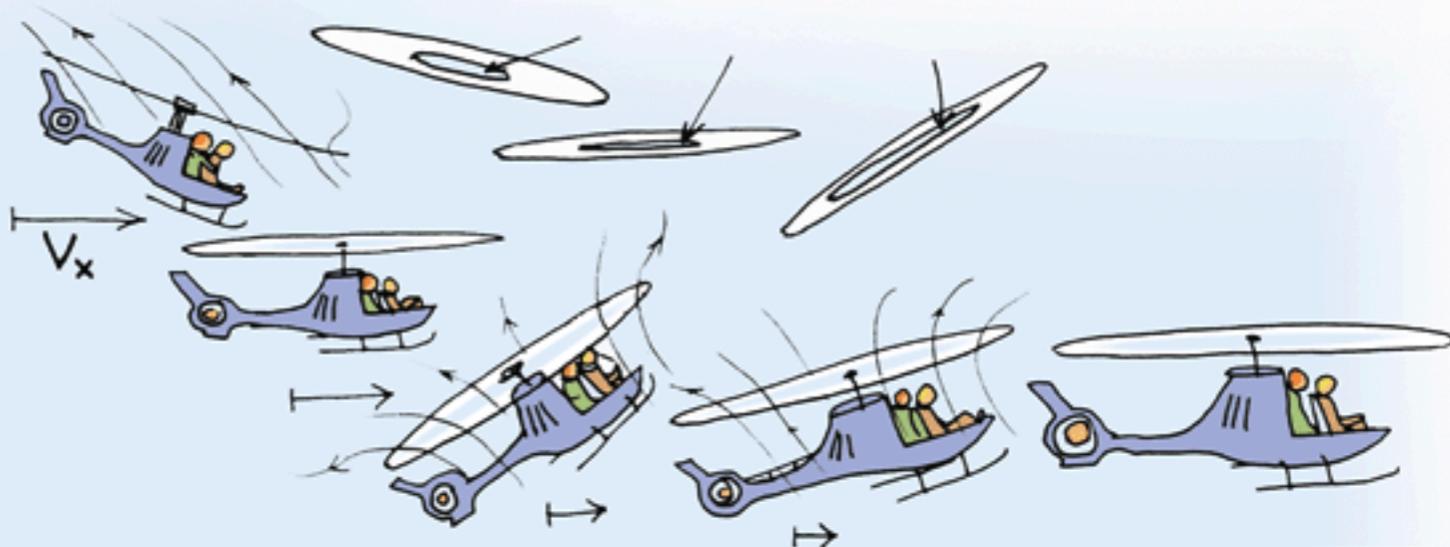
$$(*) V_{(m/s)} = \sqrt{2gz} = \sqrt{20z} \text{ (in Meter)}$$



73

DAS ABFANGEN

Antriebsbereich des Rotors (in Autorotation)

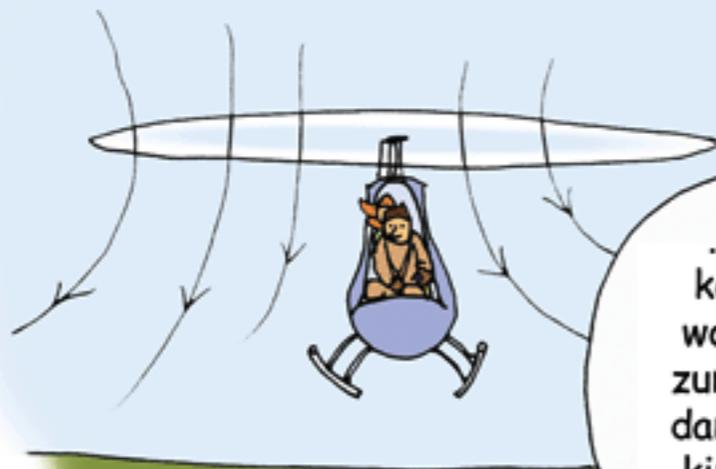


Es wird nötig sein, dass ich im letzten Moment ein Manöver improvisiere...



In zehn Meter Höhe zieht Kandidate beherzt am Steuerknüppel und behält aber den kleinstmöglichen Blattstellwinkel bei. Die Maschine hebt die Nase und die Rotorblätter werden vom Wind in einem viel größeren Einfallwinkel angeströmt, was den autorotativen Antriebsbereich vergrößert. Hierdurch wird die kinetische Energie der Translation $\frac{1}{2} M V_x^2$ in Rotationsenergie umgewandelt. Dann drückt Kandidate den Steuerknüppel nach vorne...

$$\left(\frac{1}{2} M V_x^2 = \text{kinetische Energie entlang } V_x\right)$$



...und zieht den Kollektivhebel. Die Luftströmung kehrt sich um: Die Luft strömt nun nach unten, wodurch der Übergang vom „Drehflügelflugzeugbetrieb“ zum „Hubschrauberbetrieb“ stattfindet. Kandidate nutzt dann den Bodeneffekt und die vom Rotor gespeicherte kinetische Energie (*).



(*) Bei diesem Manöver wird aber auch viel Adrenalin verbraucht...



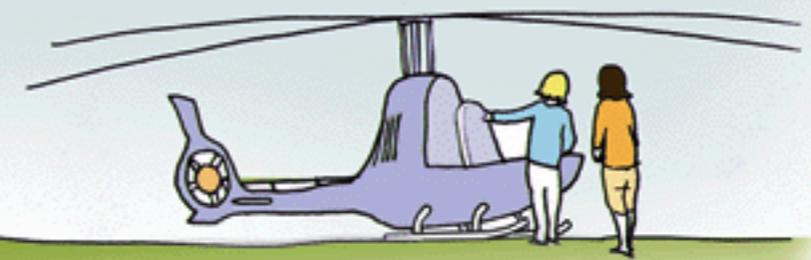
Wie langweilig dieser Baron sein kann! Endlich geschieht etwas Unterhaltsames und er hat nichts anderes im Kopf, als den Erfinder einzusperren. Nun werden wir das in die Hand nehmen. Plissonneau, reichen Sie mir bitte mein Schwert.



Knien Sie nieder, junger Mann. Ich werde Sie zum Marquis von Heliland schlagen. Von nun an werden Sie mein Minister für alle Fortbewegungsmittel sein.

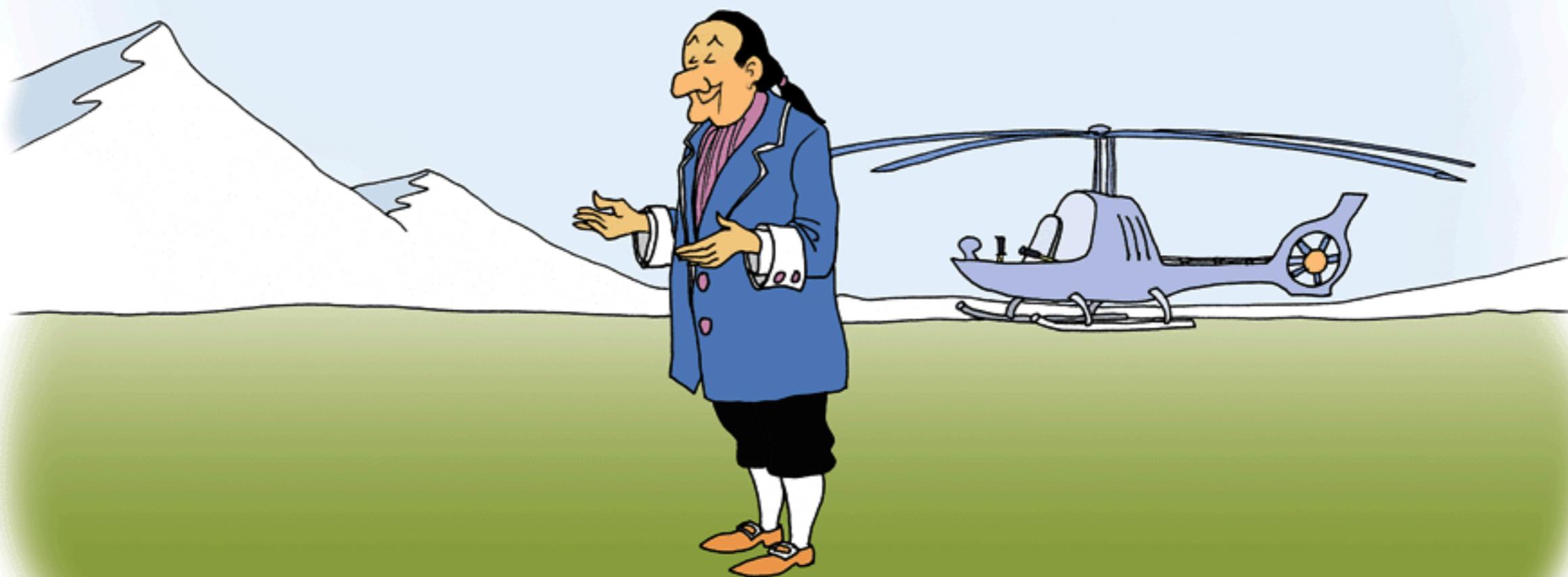


So, Papa, Marquis ist viel besser als Baron. Daher wärest Du gut beraten, uns endlich in Ruhe zu lassen!



ENDE

So, Sie sehen doch, mein lieber Kandidate, daß in dieser besten aller möglichen Welten alles zum Besten ist. Denn Sie hätten den Hubschrauber nicht erfinden können, wenn Sie nicht von dem Herrn Baron mit derben Fußritten in den Allerwertesten zum Schlosse hinaus gejagt worden wären.



Vielen Dank an Pascal Chrétien für seine wertvolle technische Beratung.