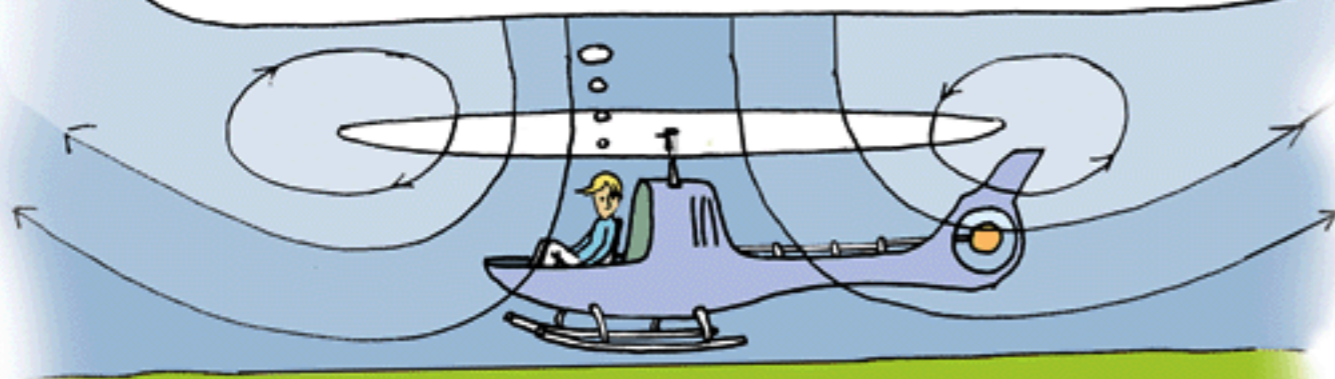
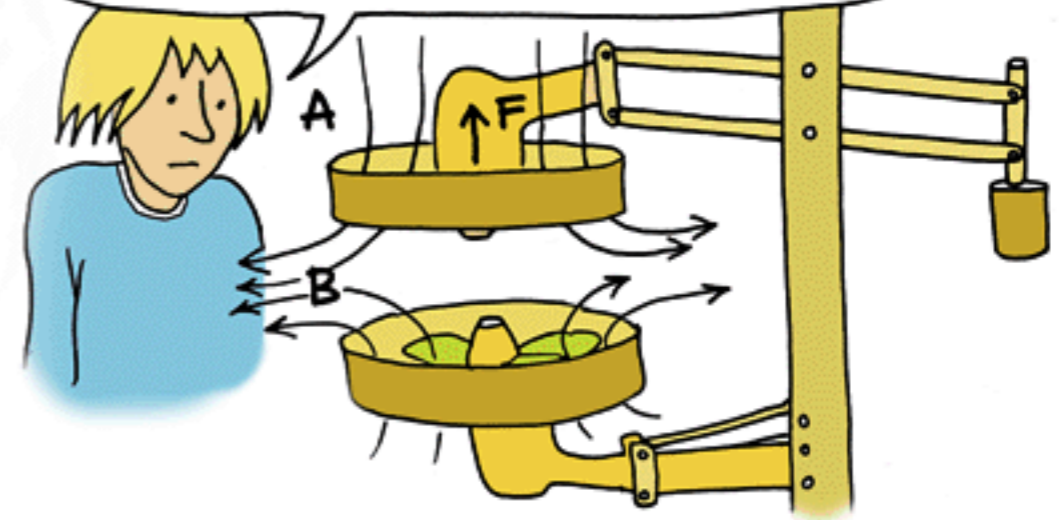


BODENEFFEKT

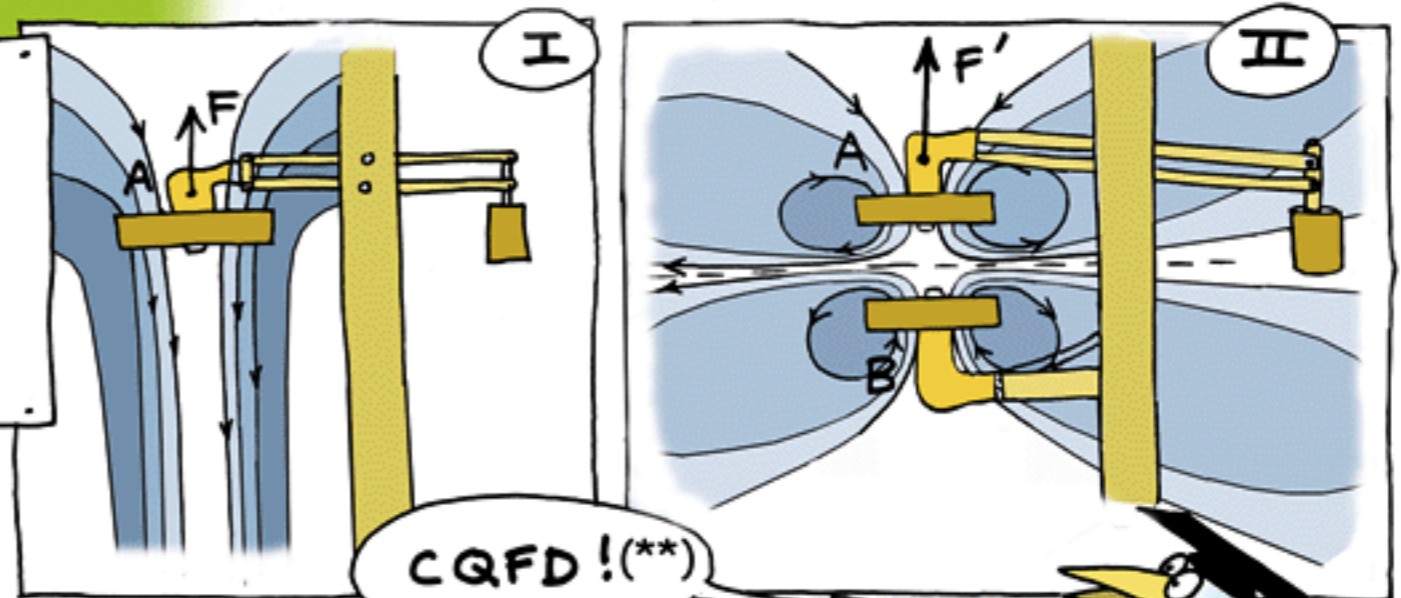
Das ist ja seltsam... In Bodennähe schaffe ich es, bei deutlich geringerer Motorleistung im Schwebeflug zu bleiben. (*)



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.



(**) 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?

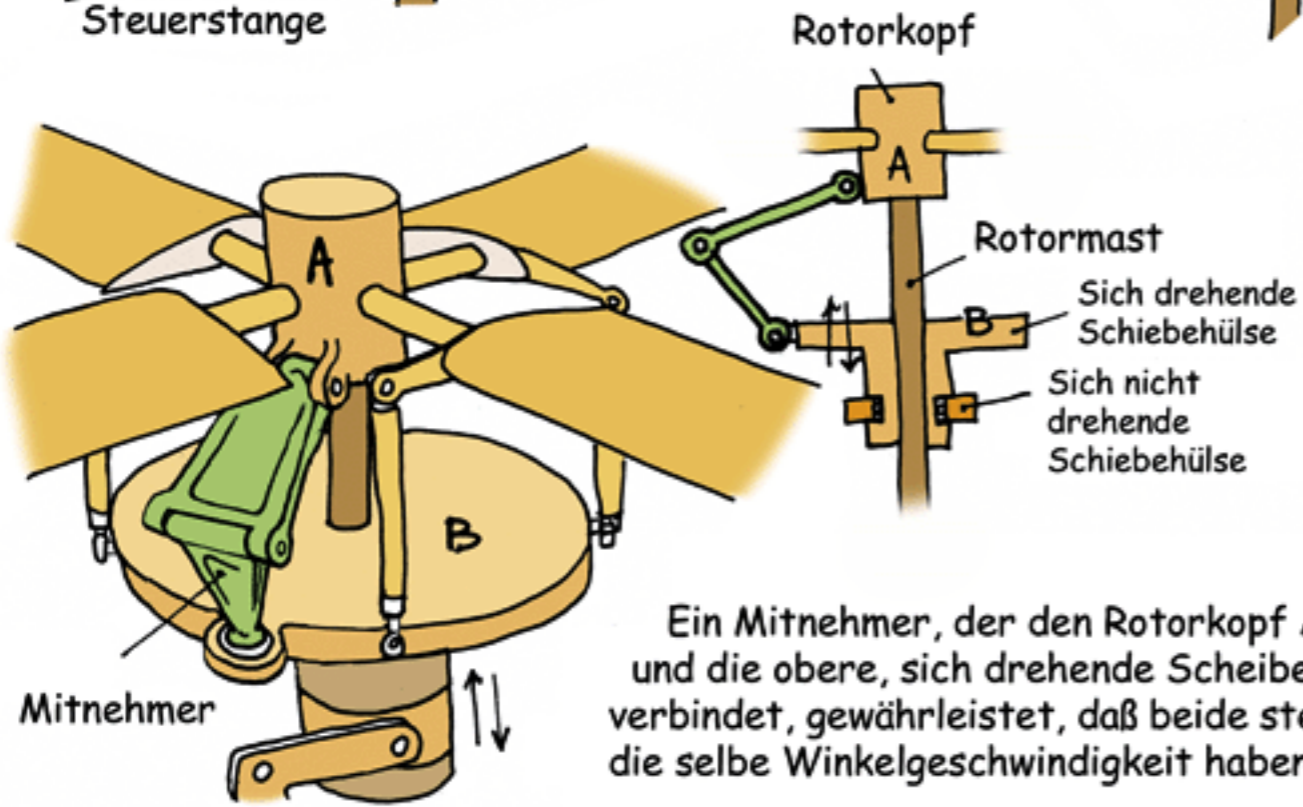
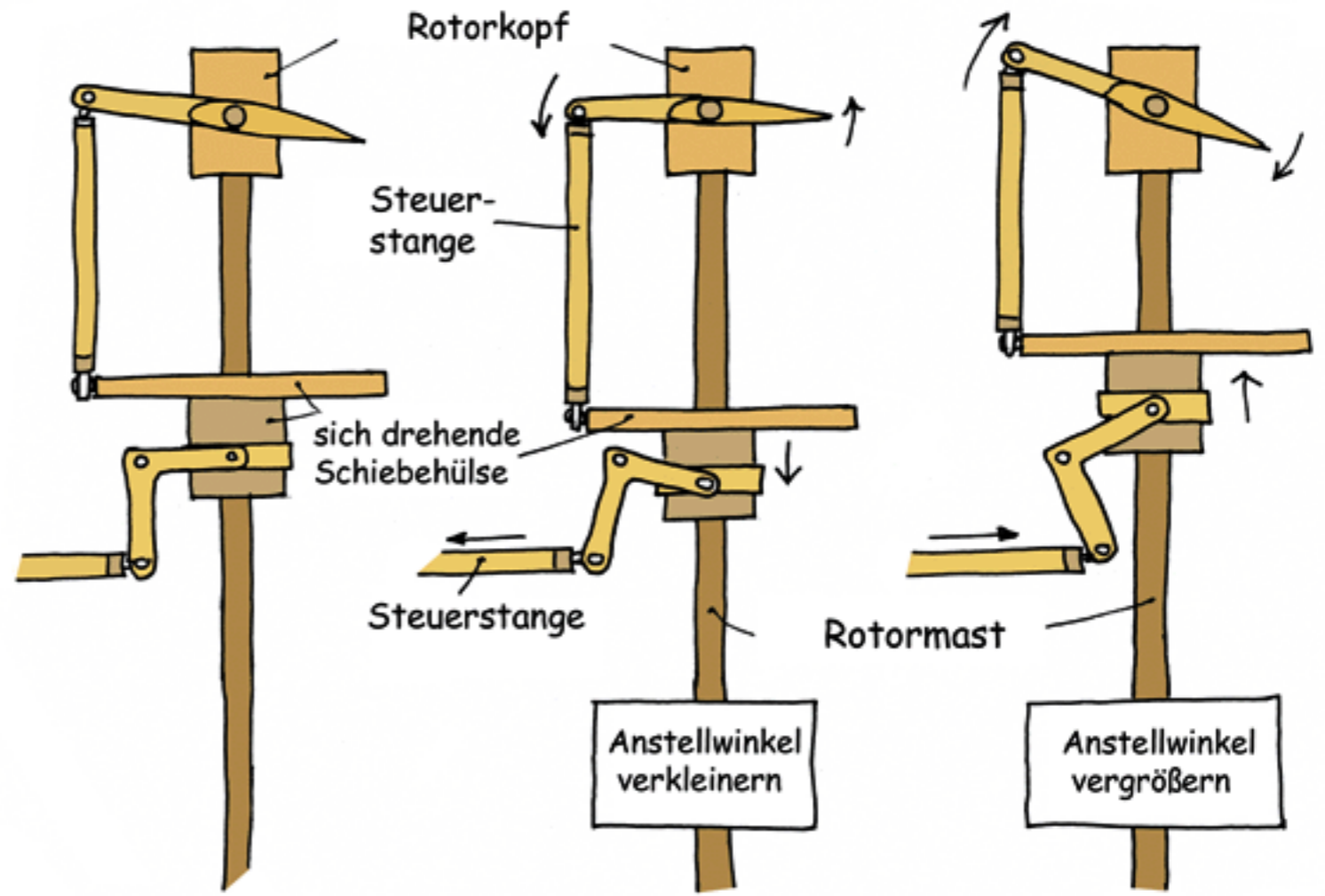
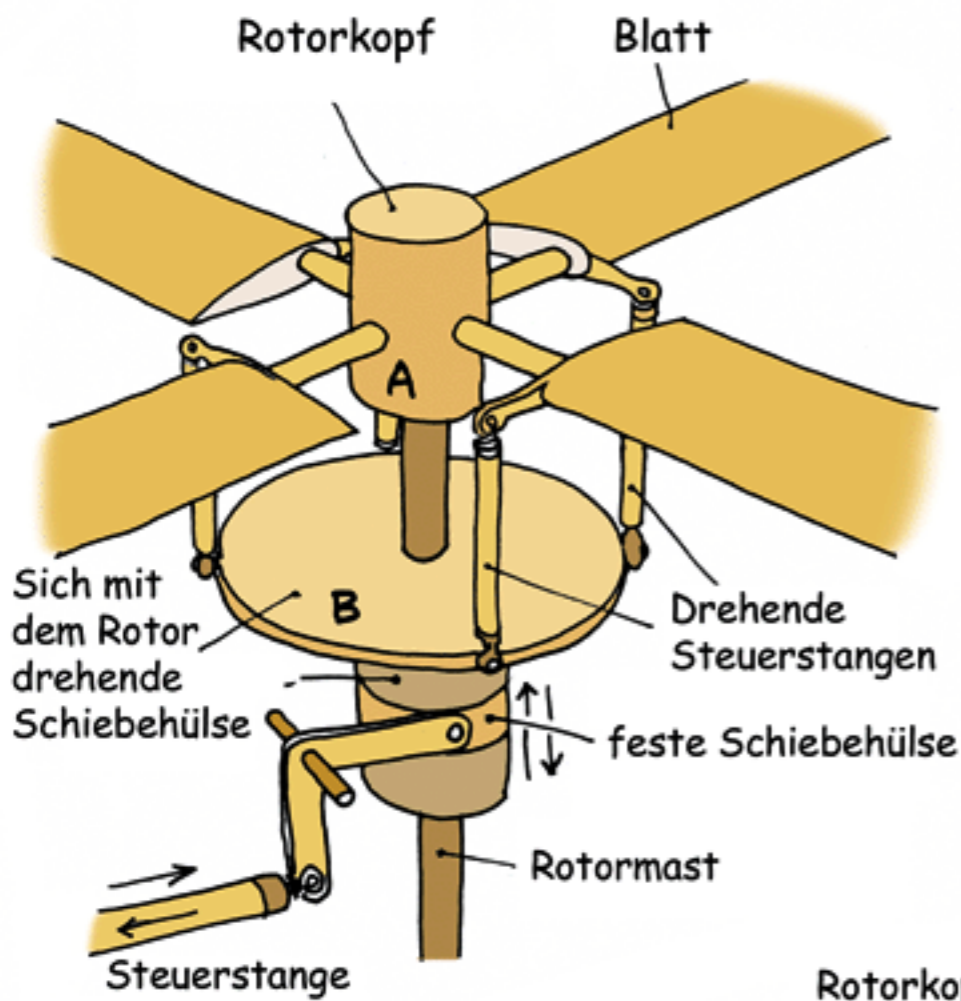
Ääh, ich glaube nicht...



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

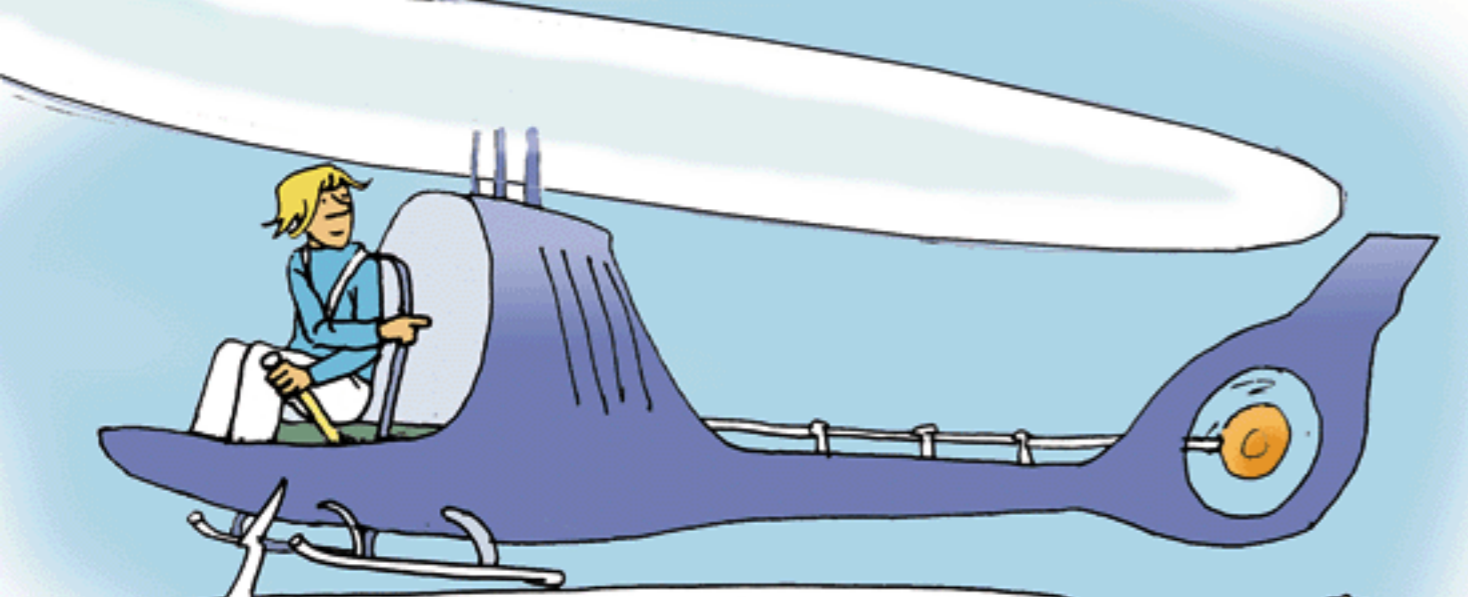
Ich habe ein Steuergestänge so angepasst daß ich von der Kanzel aus den Anstellwinkel der Rotorblätter über einen Hebel (*) steuern kann.

Darauf habe ich oben die Gassteuerung angebracht.

Drehbarer Griff:
Gassteuerung

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

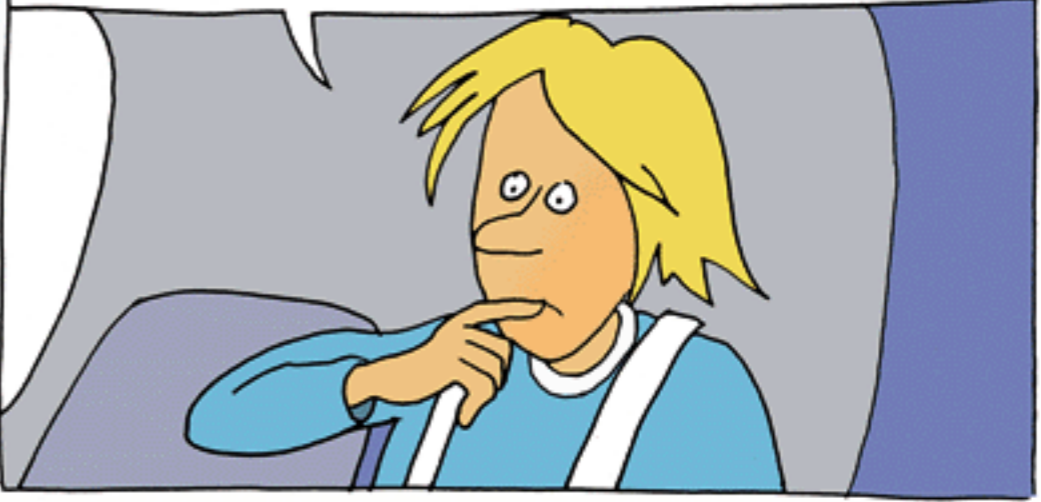
(*) Dieser Hebel heißt „Kollektivhebel“. (Anm. d. Ü.)



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?



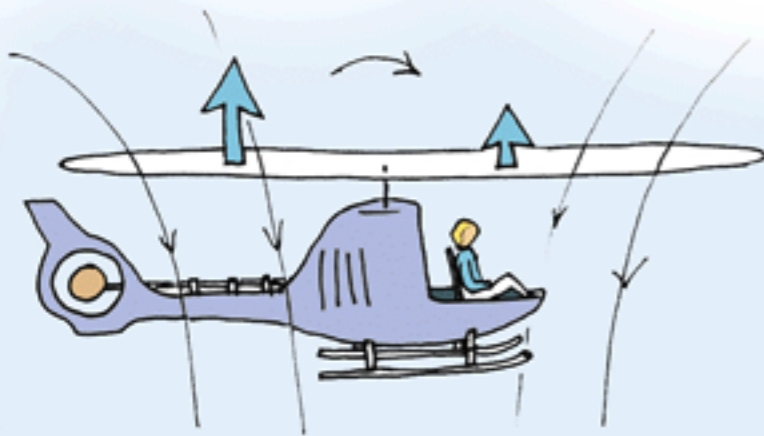
Warum nicht einen Propeller und Ruder dazutun?

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

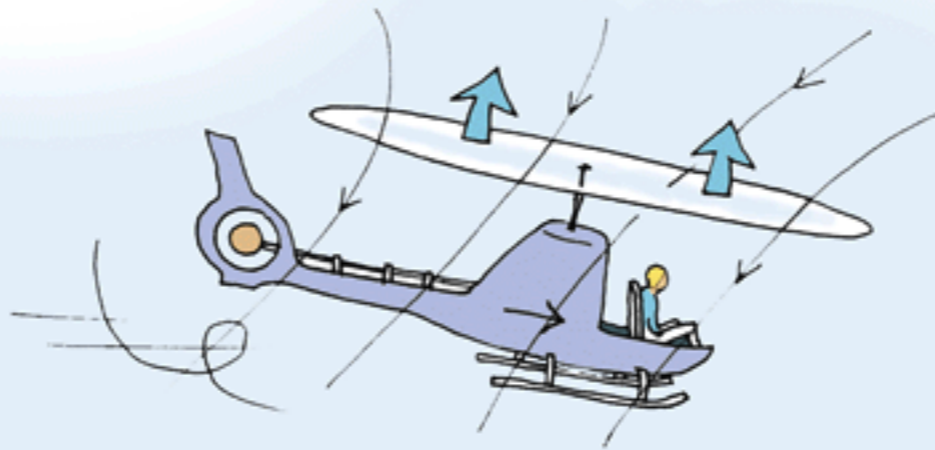




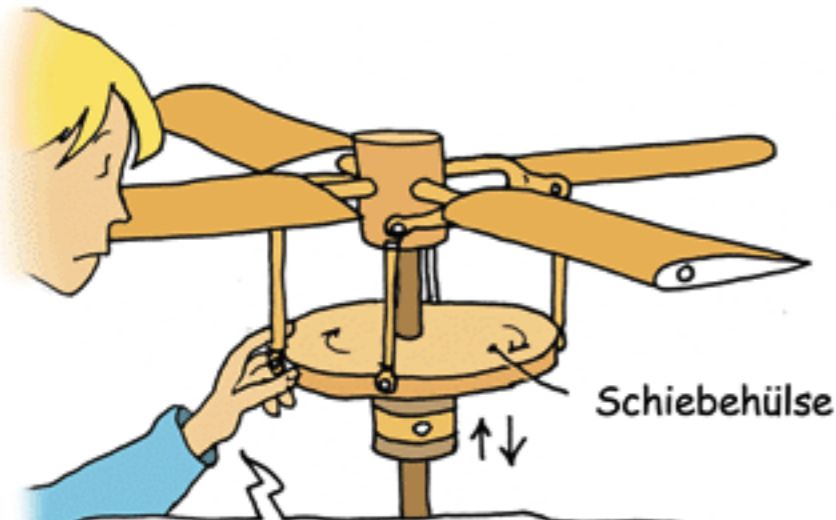
SCHWEBEFLUG



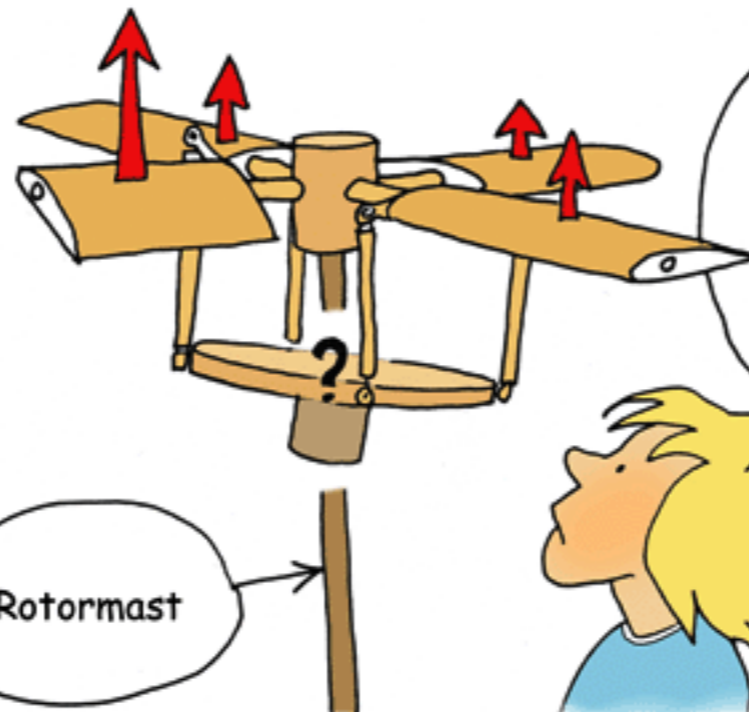
VORWÄRTSFLUG



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.



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.

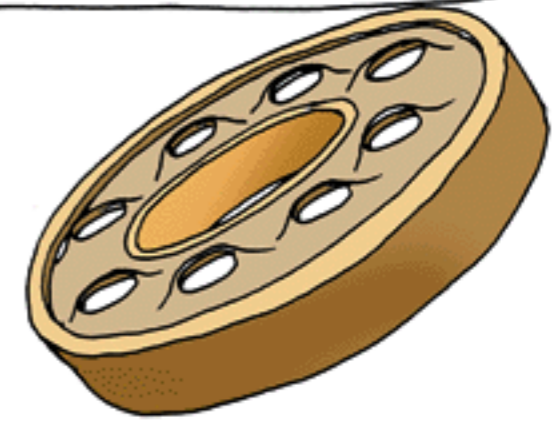
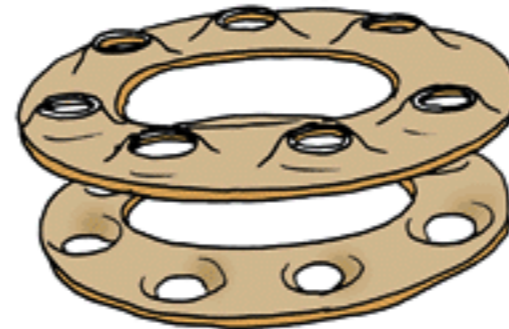


Ein wichtiges Bauteil ist das Kugellager.

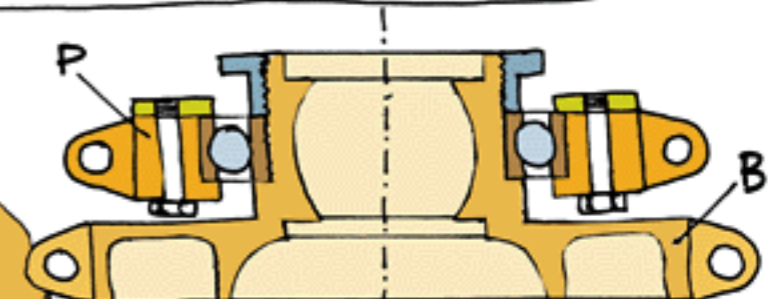
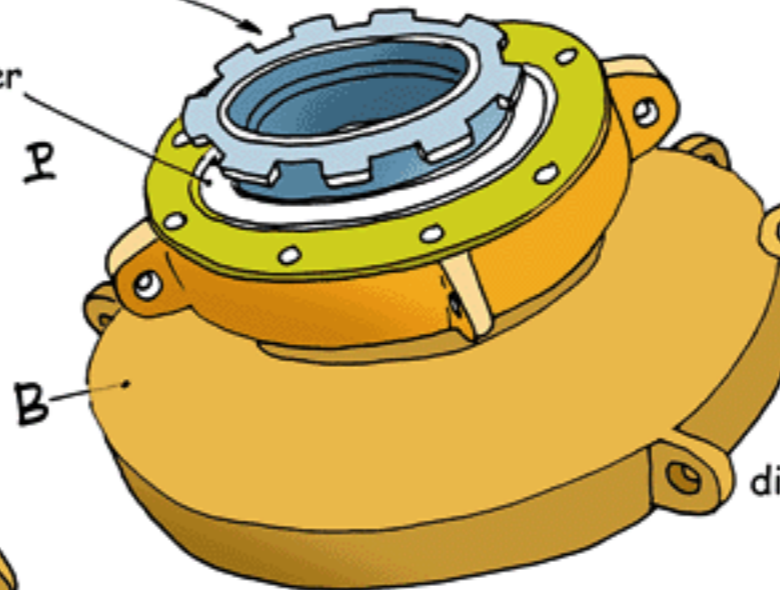
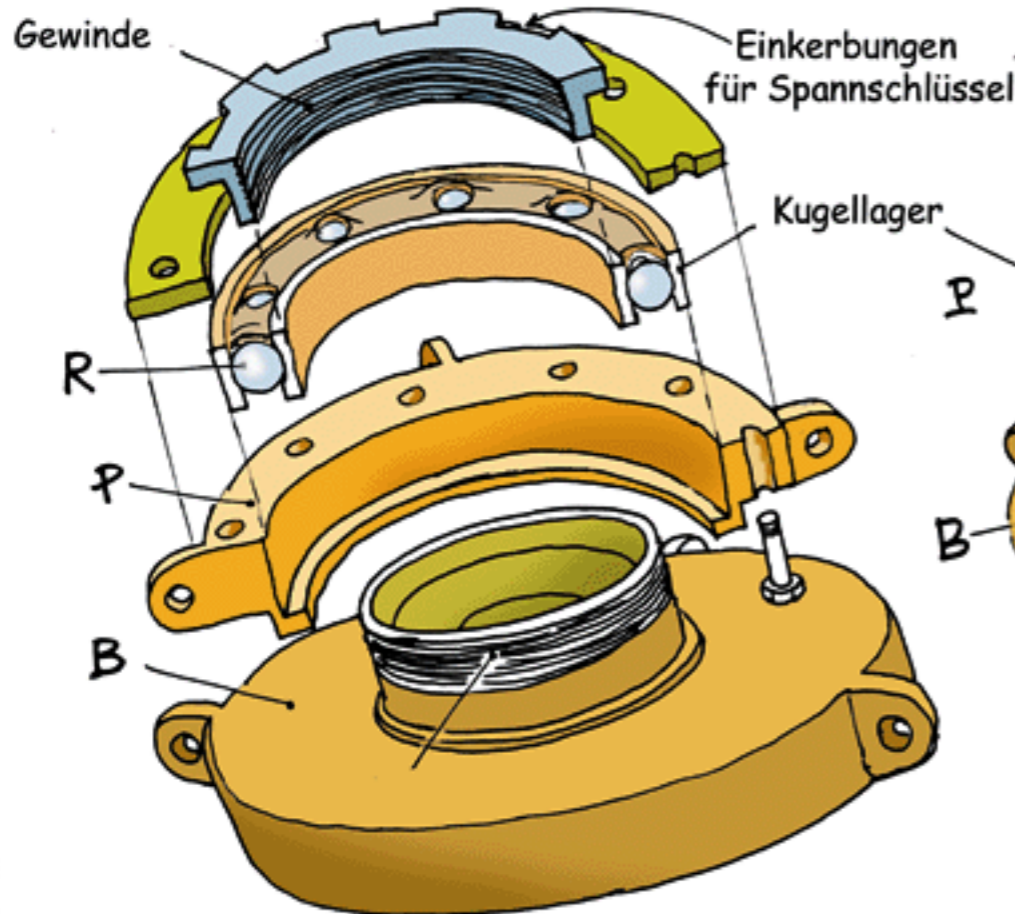


Aber wie schafft man es, diese verdammten Kugeln darin unterzubringen?

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

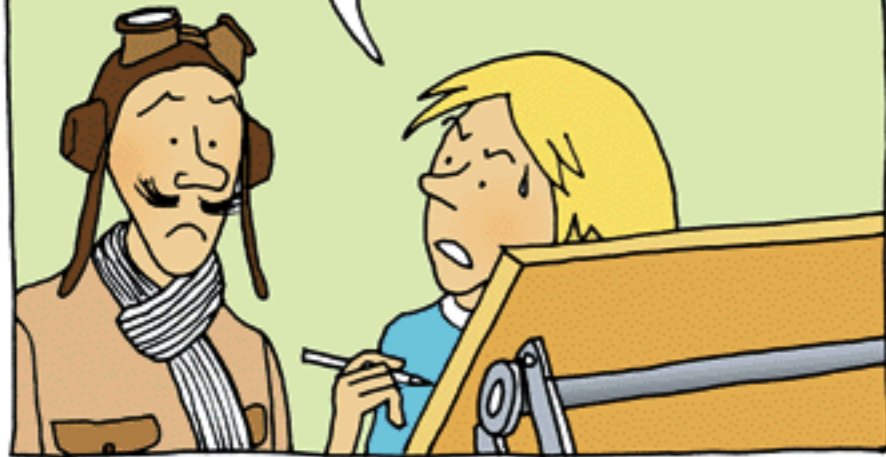


Diese werden dann von einem „Käfig“ zusammengehalten, dessen zwei Teile geschweißt, geklebt oder gefalzt werden.



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.

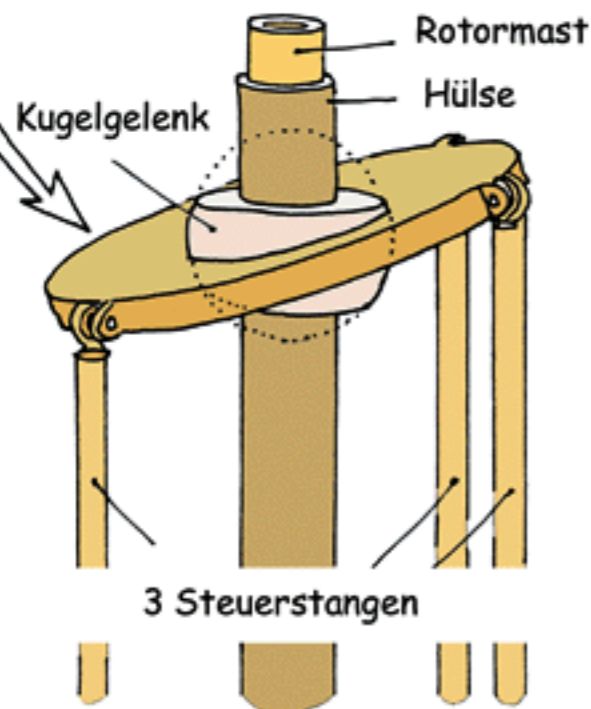


Ein **KUGELGELENK**, das ist die wahre Lösung, um etwas sauber in Drehung zu versetzen, das schief steht.

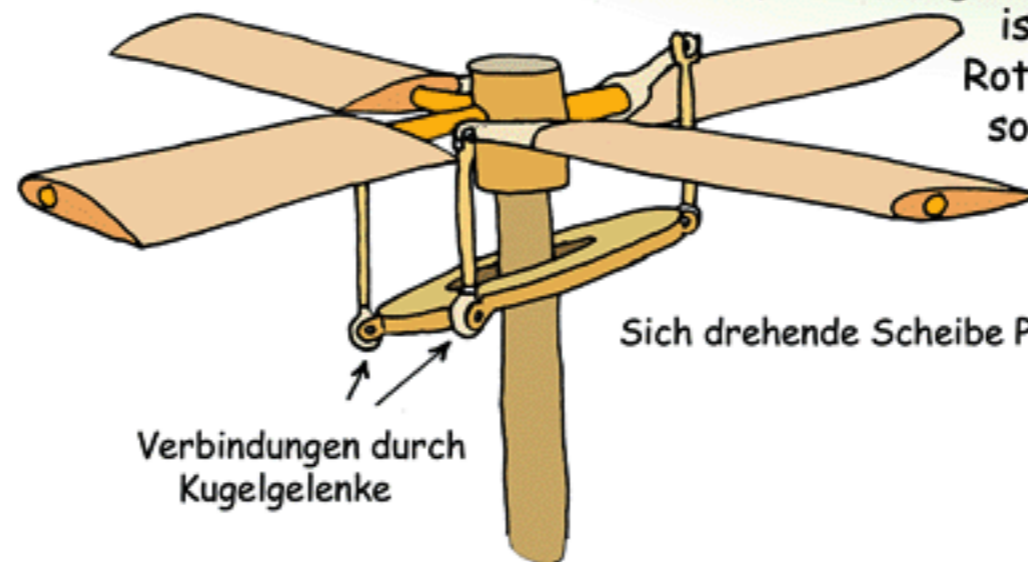


Ein Kugelgelenk, das auf der Oberfläche einer **HÜLSE** gleiten kann, innerhalb derer sich die **ROTORACHSE** dreht.

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.

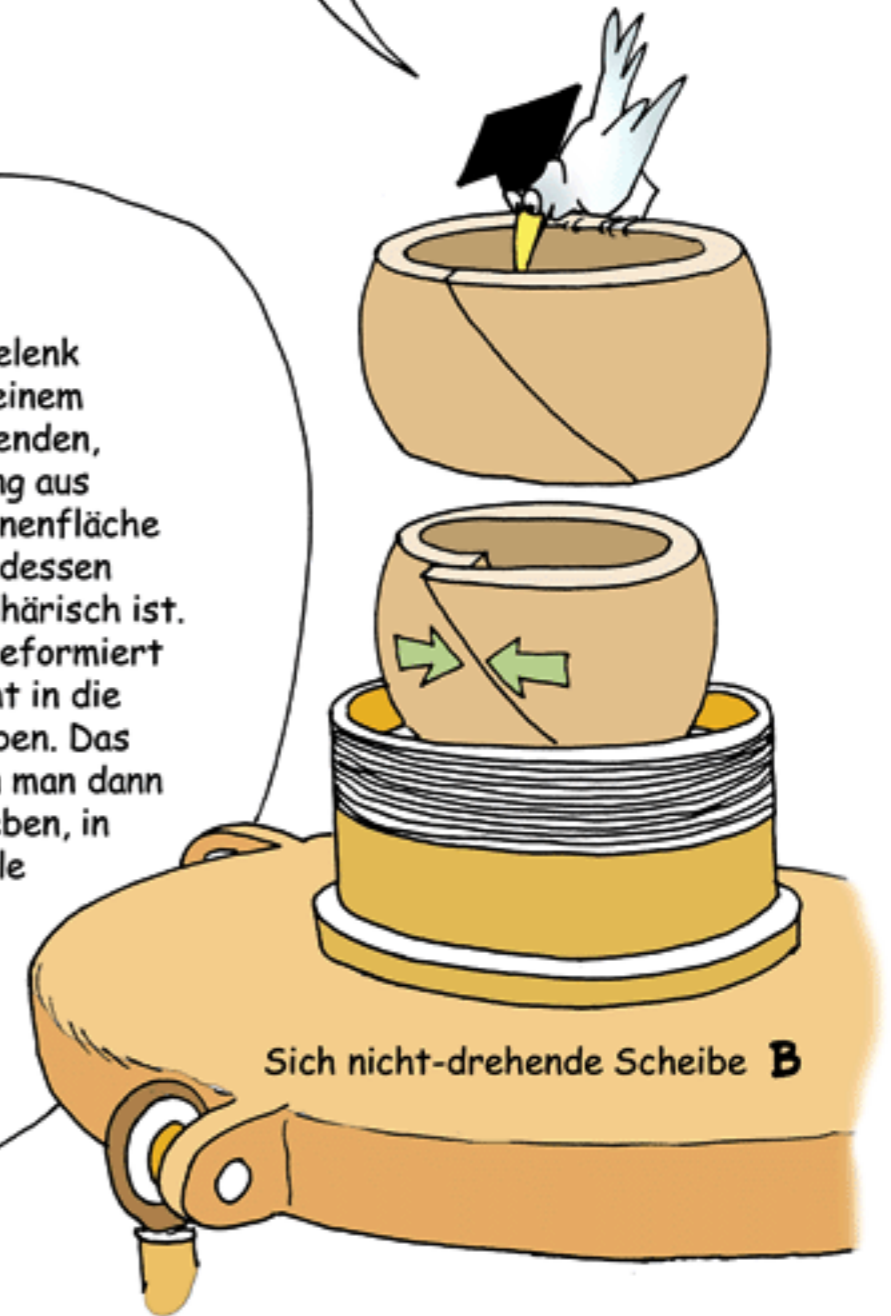
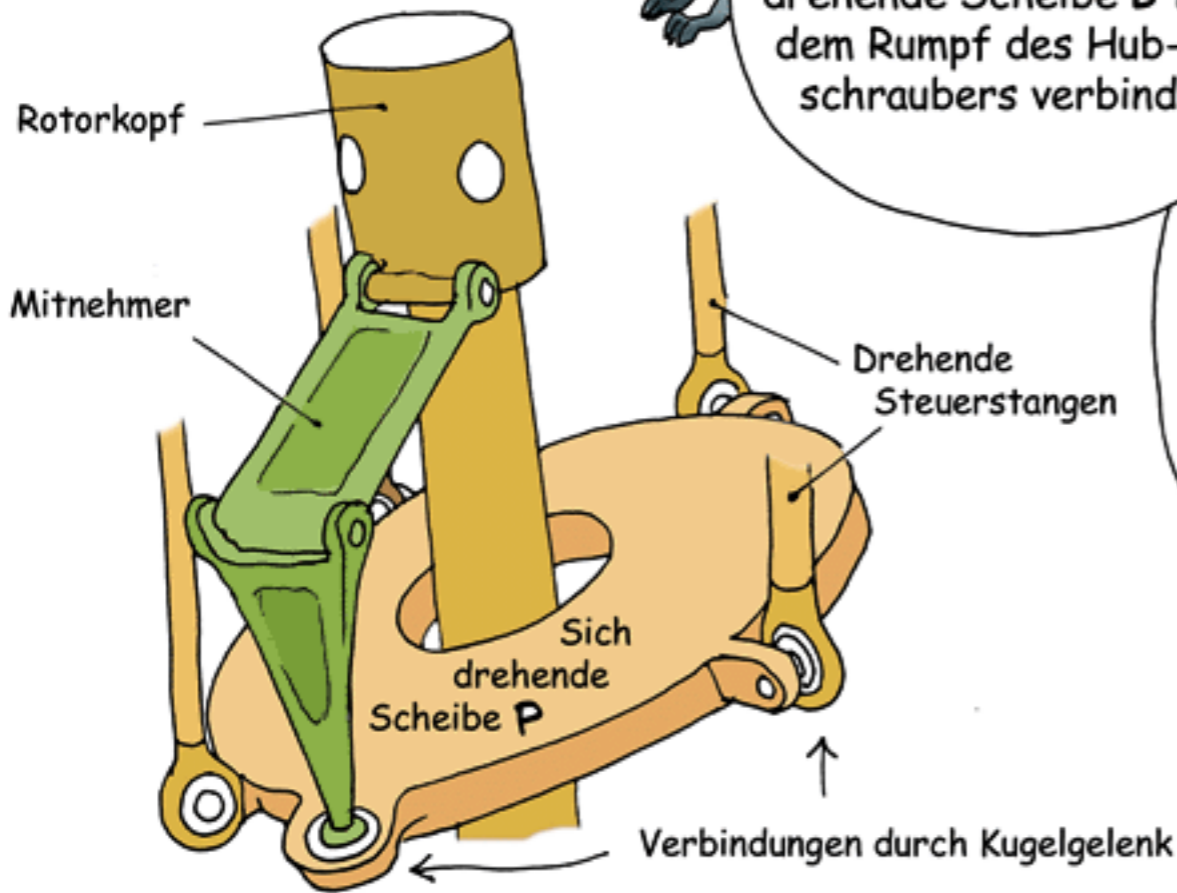


Bevor diese Studie über die zyklische Blattverstellung abgeschlossen wird, müssen wir noch einige Probleme lösen. Erstens: Wie kann man die sich drehende Scheibe P mit dem Rotorkopf verbinden? Man wird diese Verbindung doch nicht den filigranen Stangen anvertrauen?

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

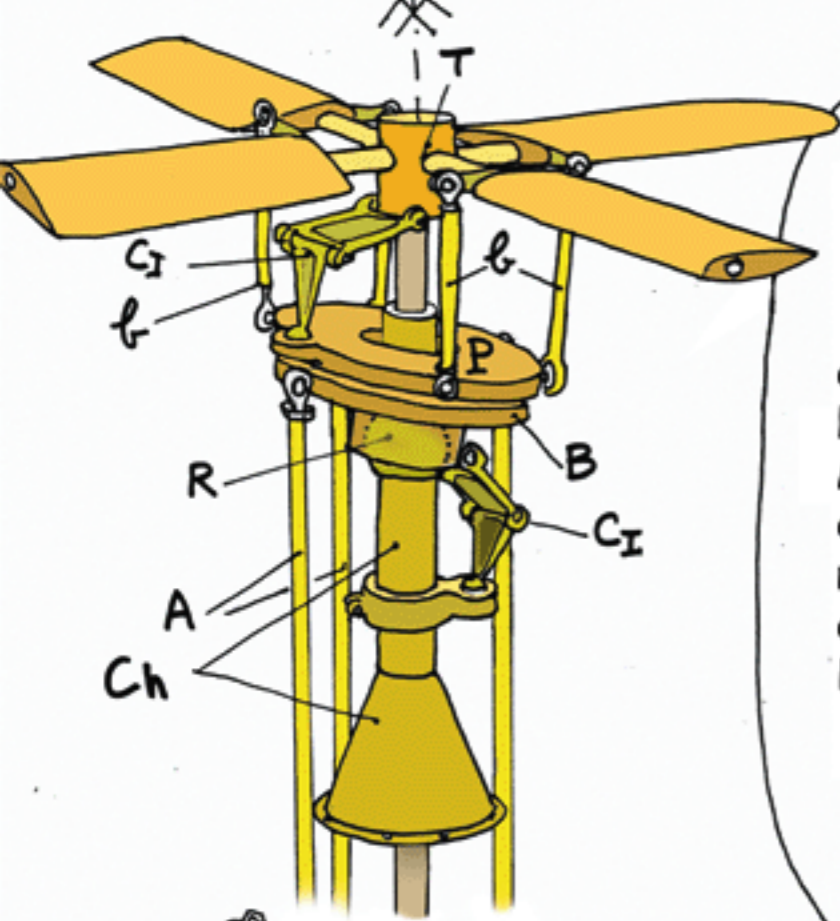
Gewinde für den Spannring

Aufnahme des Mitnehmers 1

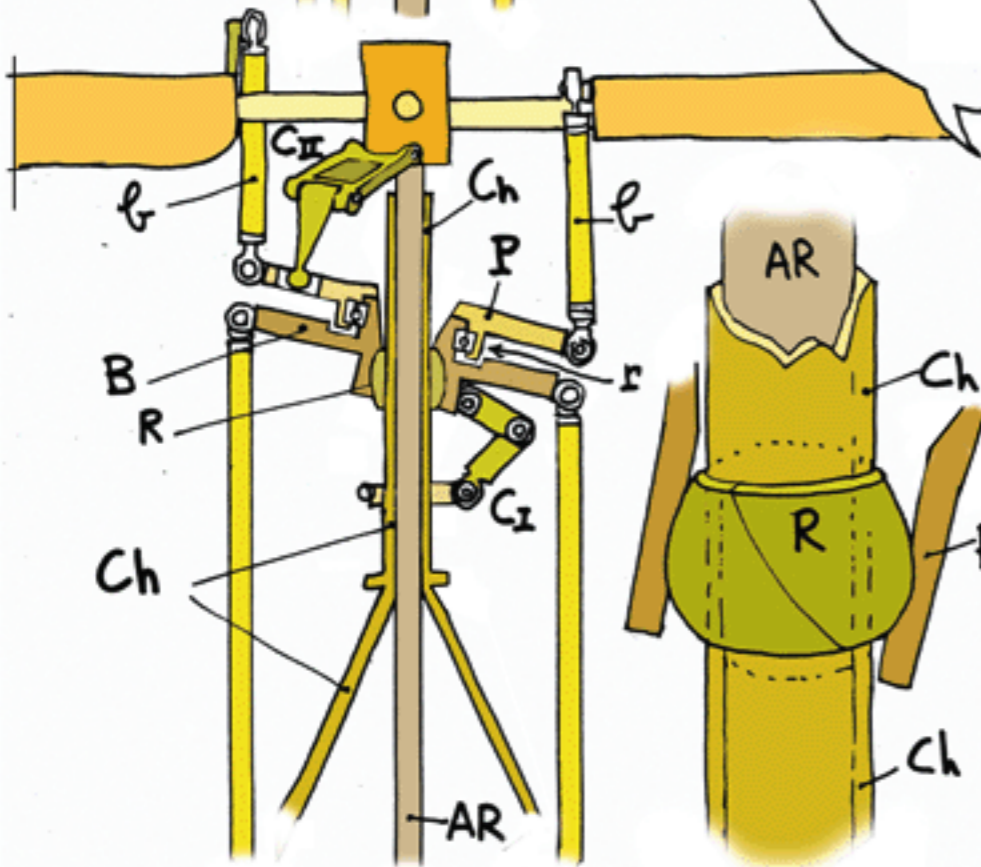
Hülse

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. (*)



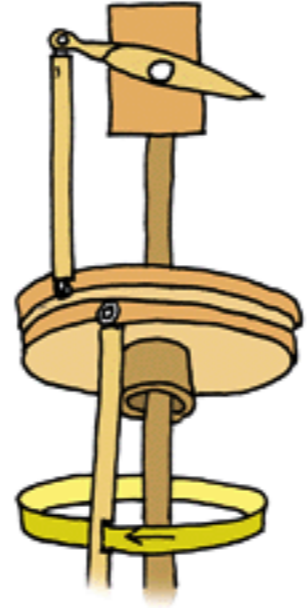
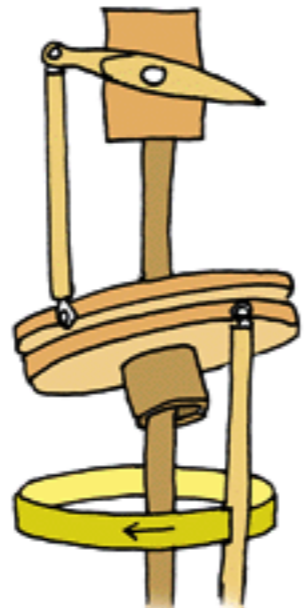
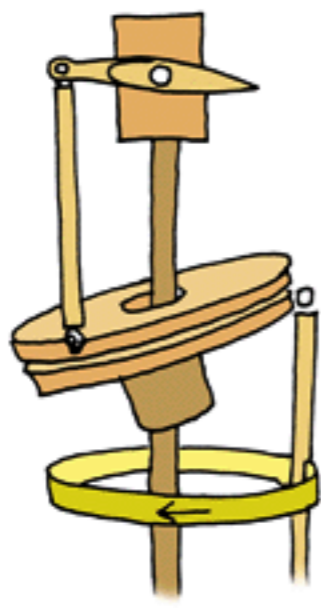
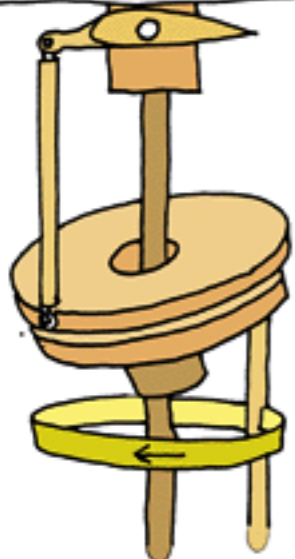
Nun muß ich noch eine praktische **STEUERUNG** entwerfen, mit der ich die drei senkrechten Steuerungsstangen benutzen kann...



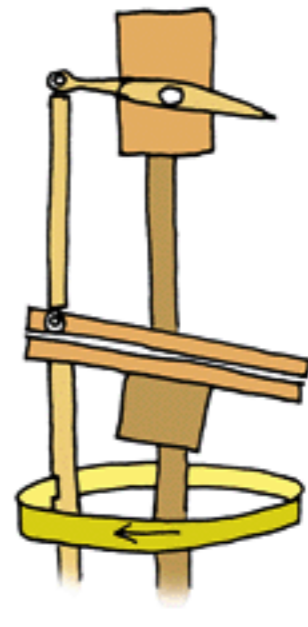
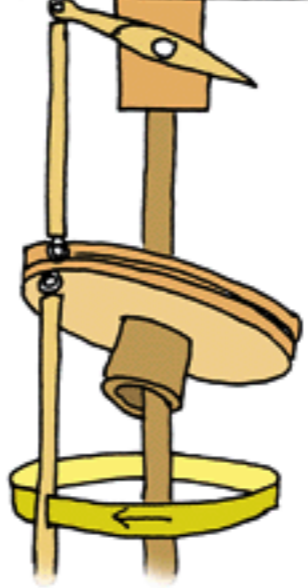
...und dann bin ich fertig!

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

Min. Anstellwinkel



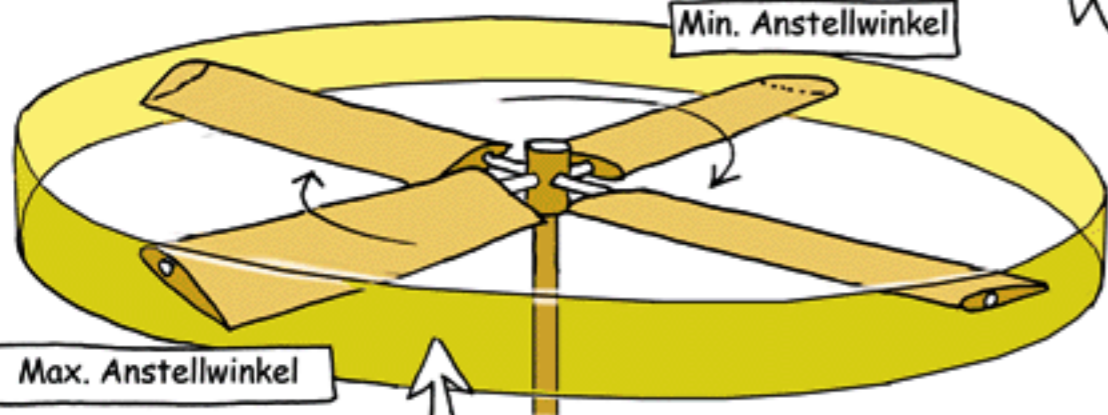
Max. Anstellwinkel



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.

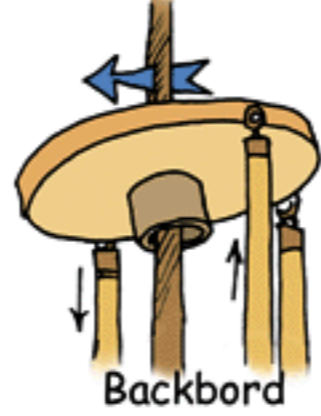
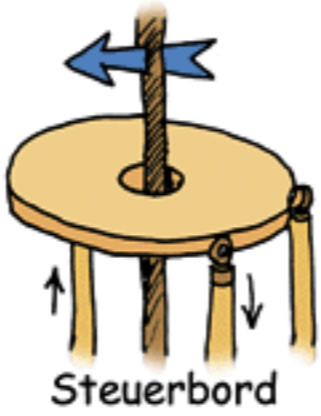
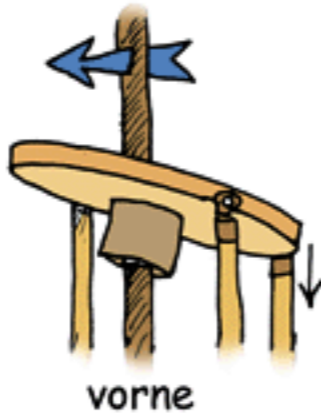
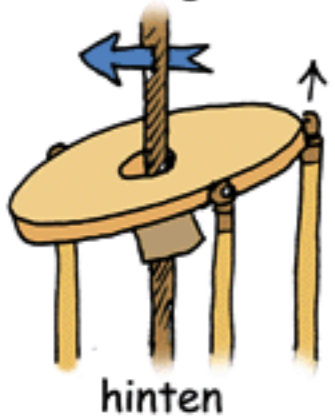
Kugelgelenk

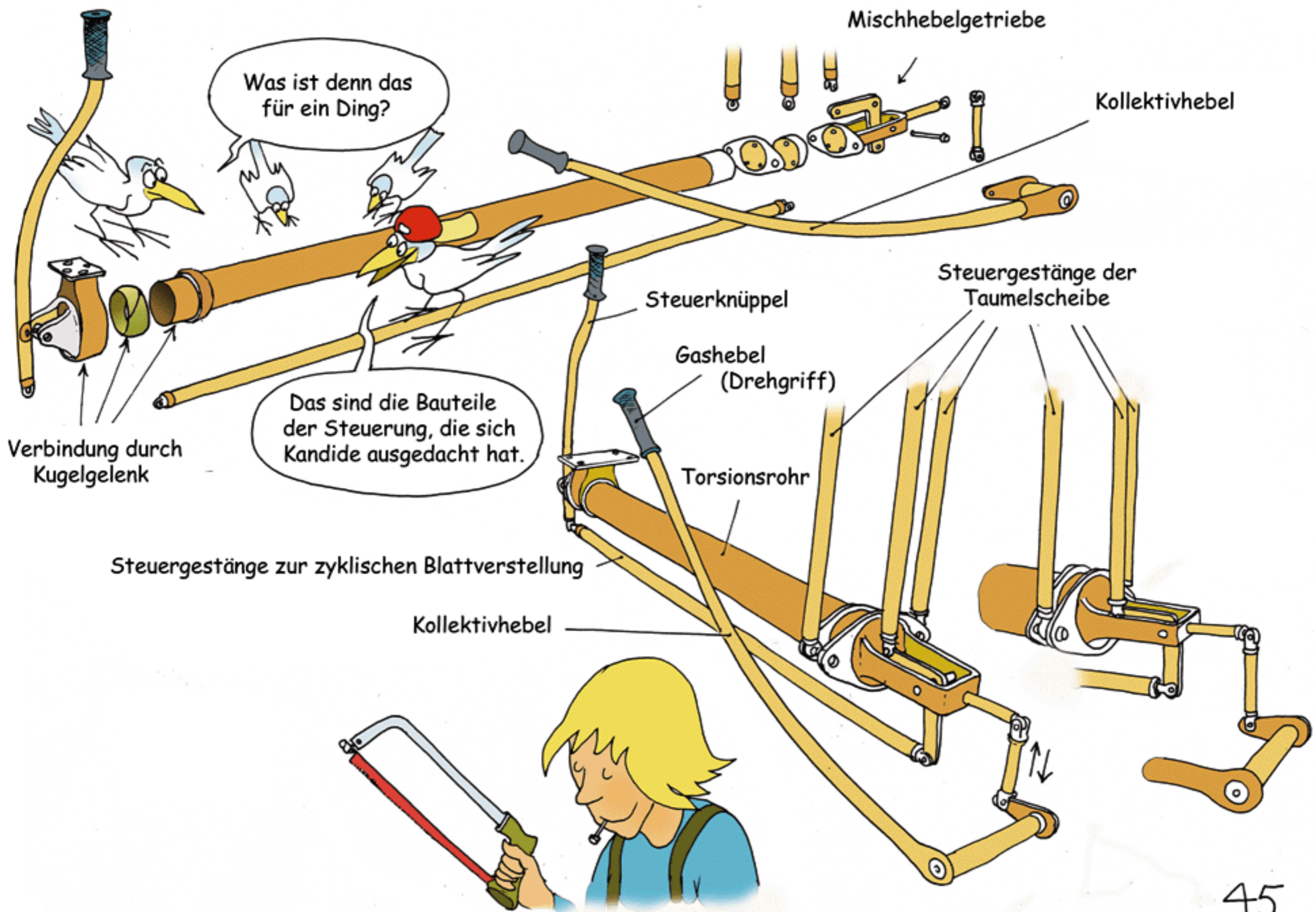
Steuerbord

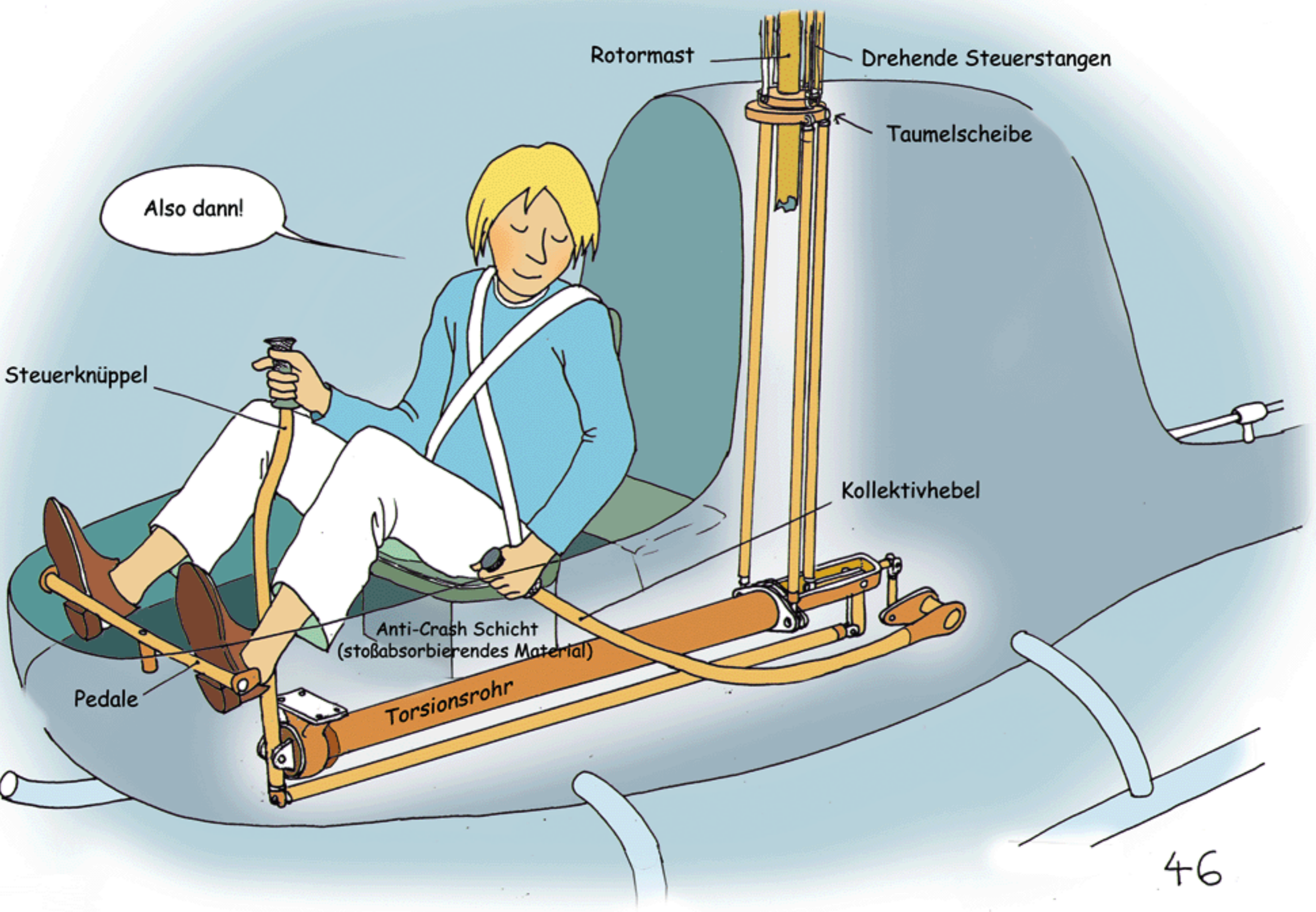
Backbord

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!

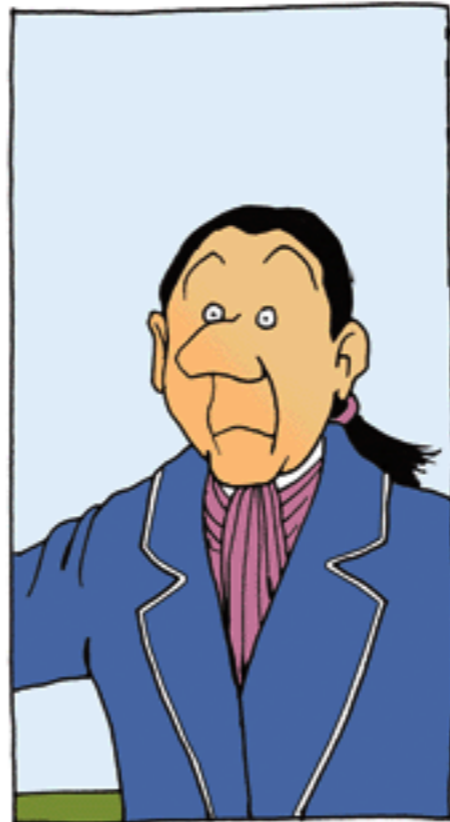
Steuerknüppel

Kollektivhebel

Anti-Crash Schicht
(stoßabsorbierendes Material)

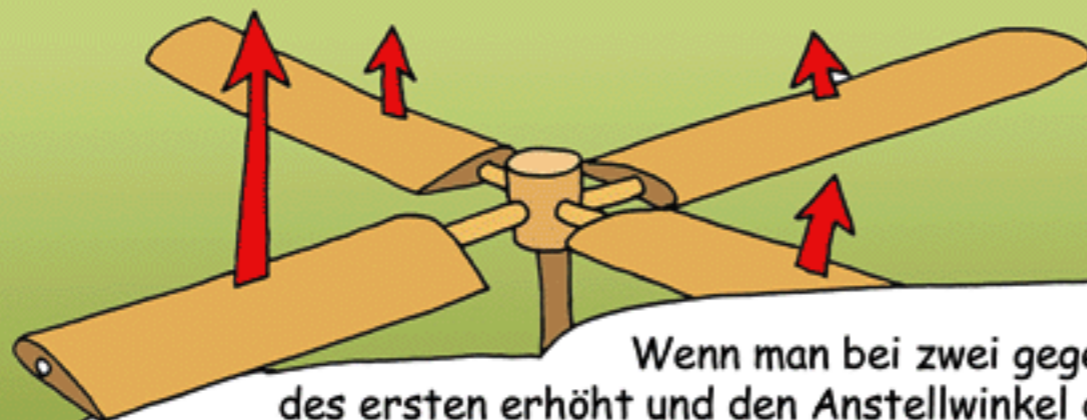
Torsionsrohr

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.



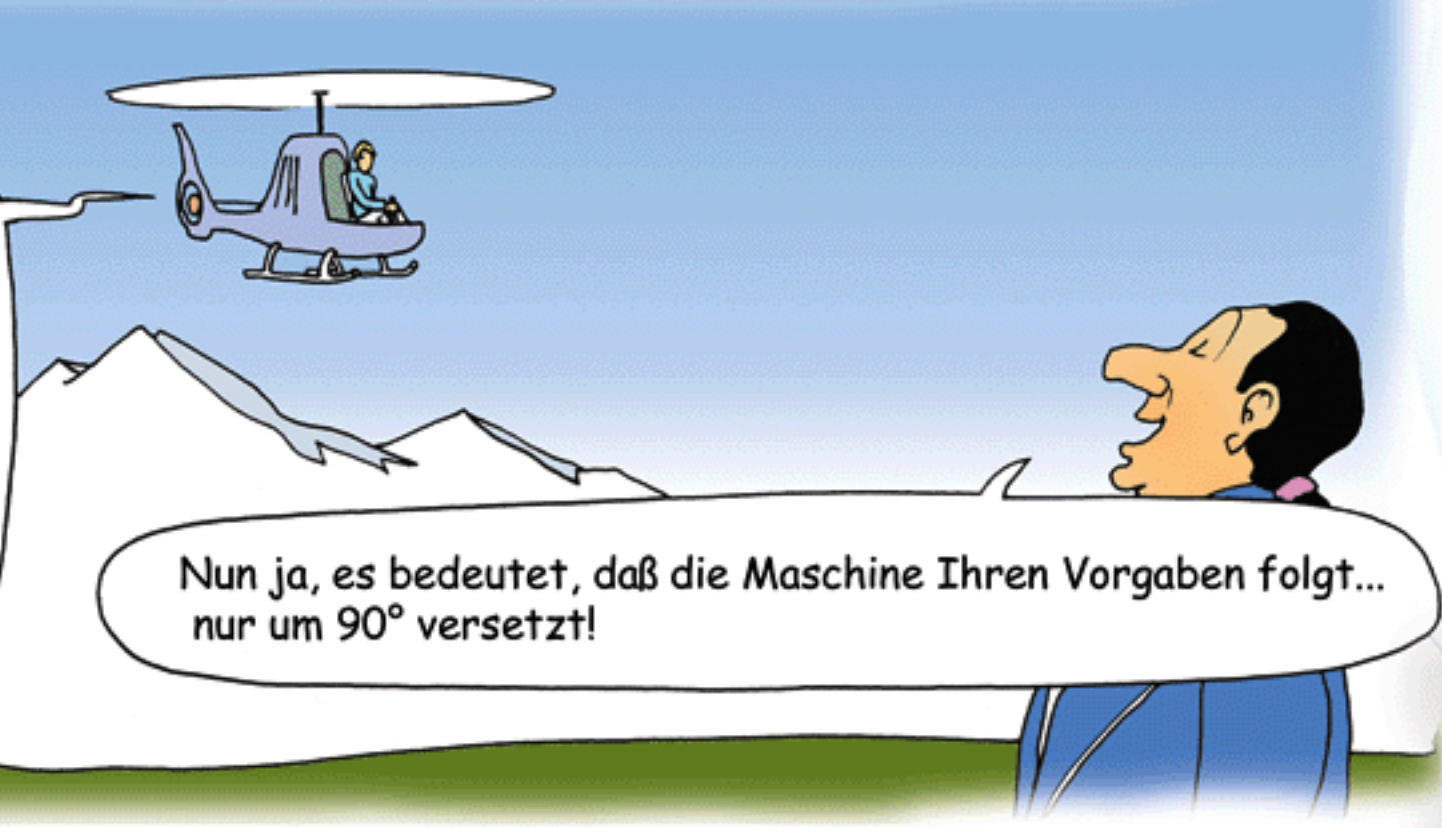
Wenn man bei zwei gegenüberliegenden Blättern den Anstellwinkel des ersten erhöht und den Anstellwinkel des zweiten verringert, so unterscheiden sich die aerodynamischen Kräfte sowohl in ihrer Richtung als auch in ihrer Intensität. Und dies erklärt diese schrecklichen Vibrationen.



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?