



Warum fliegt ein Hubschrauber? Wie steuert man ihn?



©2016 Heliflieger Deutschland GmbH

Autoren: Florian Gronau, Dirk Schepanek

Bilder & Grafiken: Florian Gronau und CC0 lizenzierte Bilder

ZUR FREUNDLICHEN BEACHTUNG

Dieses Werk ist durch das Urheberrecht geschützt. Zuwiderhandlungen werden straf- und zivilrechtlich verfolgt. Ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers ist jegliche – auch auszugsweise – Vervielfältigung und Verbreitung nicht gestattet, sei es

- in gedruckter Form,
- durch fotomechanische Verfahren,
- auf Bild- und Tonträgern,
- auf Datenträgern aller Art.

Außer für den Eigengebrauch ist untersagt: das elektronische Speichern, insbesondere in Datenbanken und das Verfügbarmachen für die Öffentlichkeit zum individuellen Abruf, zur Wiedergabe auf Bildschirmen und zum Ausdruck beim jeweiligen Nutzer. Dies schließt auch Pod-Cast, Videostream usw. ein. Die Informationen in diesem Werk stellen die Sicht des Autors/der Autoren aufgrund eigener Erfahrungen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dar.

1. Auflage März 2016

Kontakt:

Heliflieger Deutschland GmbH

Postfach 650013, 81213 München

www.Heliflieger.com, info@heliflieger.com

Tel.: 089-41610918-0 Fax: -9



Inhalt

Vorwort	4
1. Einleitung	5
2. Völlig losgelöst: Wie schwere Dinge fliegen lernen.....	5
3. Physik-Hintergrund: Der Auftrieb	11
4. Das eben Gelernte in der Praxis: Flugzeugstart Schritt für Schritt	15
5. Reaktionsprinzip und Impulserhaltung	16
6. Völlig abgedreht: Was den Hubschrauber vom Papierflieger unterscheidet.....	20
7. Völlig abgehoben: Der senkrechte Start	23
8. Völlig weggedreht: Wozu ein Heckrotor?.....	27
9. Vorwärts, rückwärts, seitwärts, Kurvenflug	30
Nachwort.....	36



Vorwort

Als Helikopter-Piloten aus Leidenschaft und Fluglehrer haben wir natürlich viel mit Hubschraubern zu tun. Und auf Rundflügen werden sehr oft ähnliche Fragen gestellt. Die Herausforderung besteht darin, diese Fragen trotz komplexer technischer Materie so zu beantworten, dass sie auch ohne technischen Hintergrund verstanden werden können. Eine besondere Herausforderung sind stets die Selberflieger, die den Hubschrauber nach einer kurzen Einweisung zumindest teilweise selbst steuern sollen. Und das ohne technischen Hintergrund oder anderes Vorwissen, lediglich nach einer Einweisung am Boden von 30-45 Minuten. Da ist ja auch noch das Doppelsteuer, mit dem der Fluglehrer permanent helfen kann. Hinzu kommt eine gehörige Portion Humor und Spass, damit wir nicht vergessen, weshalb wir eigentlich auf diesem Planeten sind. Ziel ist, dass der Schnupperflieger nach der Flugstunde mit einem echten unvergesslichen Erfolgserlebnis aus dem Hubschrauber steigt. Wichtig sind dabei der Fokus auf das Wesentliche und möglichst einfache Erklärungen. Vor Ihnen liegt der erste Versuch, die Frage warum ein Heli überhaupt fliegen kann und wie er gesteuert wird, möglichst genau so zu beantworten. Viel Spass!

Dirk Schepanek

Florian Gronau



1. Einleitung

Ein Hubschrauber ist ohne Zweifel ein faszinierendes Luftfahrzeug. Während ein Flugzeug nur bei hohen Geschwindigkeiten vom Erdboden abheben und in der Luft bleiben kann, hebt sich der Hubschrauber einfach aus dem Stand in die Lüfte. Er ist dabei in der Lage, nicht nur vorwärts, seitwärts und rückwärts zu schweben, sondern sich sogar um seine eigene Achse drehen. Wie aber funktioniert das und wie steuert der Pilot diese präzisen Flugbewegungen? Diese Fragen werden in diesem E-Book anschaulich und für Personen ohne Vorkenntnisse verständlich erklärt. Dabei lernen wir, was einen Hubschrauber von einem Papierflieger unterscheidet und was er mit einem Deckel im Spülwasser und mit Bürostühlen gemeinsam hat. Weil sich der Hubschrauber der gleichen physikalischen Gesetze bedient wie ein Flugzeug, diese Zusammenhänge aber für viele Menschen am Beispiel Flugzeug leichter nachvollziehbar sind, werden wir sie zunächst am Flugzeug erklären, bevor wir den Transfer zum Hubschrauber vollziehen.

2. Völlig losgelöst: Wie schwere Dinge fliegen lernen

Ein kräftiger Luftsprung aus den Knien reicht nicht, um guten Gewissens zu behaupten, man sei geflogen. Vielmehr ist es notwendig, sich wohl oder übel damit zu beschäftigen, wie die Anziehungskraft der Erde dauerhaft überwunden oder ausgeglichen werden kann. Diese Erd-Anziehungskraft, die

alle Objekte zu Boden zieht, heißt Gewichtskraft oder wissenschaftlicher ausgedrückt „Gravitation“. Sie ist für uns sehr nützlich - ohne sie würden wir etwas unbeholfen herumschweben. Das Bild von im Raum herumschwebenden Objekten ist uns Dank zahlreicher Fernsehübertragungen aus dem Space Shuttle oder der Weltraumstation ISS bekannt. Auf dem Weg zur Bushaltestelle oder durch unsere Wohnung bewirkt sie, dass wir immer auf festem Boden stehen, anstatt etwa wie eine Seifenblase davon zu schweben. Wenn Sie aber mit der Absicht zu fliegen, in die Luft gesprungen sind, zieht Sie die Schwerkraft gleich wieder zurück zur Erde. Der kleine Höhenflug findet ein schnelles Ende und Sie stehen wieder am gleichen Fleck, an dem Sie gestartet sind. Es sei denn Sie stellen sich etwas ungeschickt an und verlieren bei der Landung das Gleichgewicht. Sollten Sie ein Vogel sein, könnten Sie kräftig genug mit den Flügeln schlagen, um dieser Kraft entgegenzuwirken (Abb. 1).



Abbildung 1: Das Gewicht träumt davon wie ein Vogel zu fliegen

Wenn wir also wirklich richtig fliegen wollen, benötigen wir eine Kraft, die der Gewichtskraft dauerhaft entgegenwirkt und uns somit länger in der Luft hält. Wir haben es dem Schweizer Gelehrten Daniel Bernoulli (1700-1782) zu verdanken, dass wir heute eine solche Kraft bewusst erzeugen können. Er fand vereinfacht ausgedrückt heraus, dass in einem strömenden Fluid (Gas oder Flüssigkeit) ein Geschwindigkeits-Anstieg auch von einem Druckabfall begleitet wird. Stellen Sie sich vor, dass ein Gegenstand, der zufällig wie der Flügel eines Flugzeugs geformt ist, durch die Luft bewegt wird (Abb.2.). Dabei muss sich die Luft beim Auftreffen auf den Flügel aufteilen. Ein Teil strömt oben vorbei und hat dabei aufgrund der Wölbung des Flügels einen längeren Weg zurückzulegen. Der andere Teil strömt an der Unterseite vorbei und hat einen kürzeren Weg.

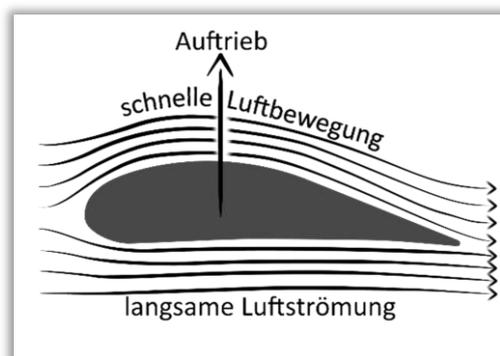


Abbildung 2: Wer den längeren Weg hat, muss schneller sein



Damit sich an der Rückseite des Flügels die Luft-Teilchen wieder treffen können, müssen die „Oberen“ mit dem längeren Weg etwas schneller strömen. Dabei nimmt nach Bernoulli an der Oberseite der sogenannte statische Druck ab. Eine Auftriebskraft entsteht, wenn sich Luft schnell über die speziell geformte Profiloberseite und langsam über die Unterseite bewegt. Die schneller strömende Luft hat einen niedrigeren statischen Druck als die langsamer strömende Luft, sodass der hohe Druck an der Unterseite das Profil anhebt. Die folgenden sehr einfachen Experimente helfen, das zu verstehen:

Experiment 1:

Wie hängen schnell strömende Luft und Auftrieb zusammen?



Halten Sie ein Blatt DIN A4-Papier an einer der kurzen Seiten waagrecht, sodass die andere Seite aufgrund der Erdanziehungskraft herunterhängt. Pusten Sie nun mit einem Föhn Luft über die gewölbte Oberseite des Papiers. Das Papier hebt sich! Das Ganze funktioniert sogar immer noch, wenn mit Tesafilm kleine Steinchen zur Gewichtserhöhung an die Blatt-Unterseite geklebt werden.

Experiment 2:

Wie kann man sich Drücke und Auftrieb bildlich vorstellen?



Wenn Sie keinen Flugzeugflügel zur Hand haben, legen Sie eine Spielkarte auf Ihre flach ausgestreckten Finger. Eine zweite Person



drückt von oben auf die Karte. Drücken beide Personen gleich stark, bewegt sich die Karte nicht. Die Finger entsprechen hier dem Luftdruck auf das ruhende Profil. Nun lassen wir gedanklich Luft über das Profil strömen (Abb. 2), der Luftdruck auf der Oberseite nimmt ab und damit auch die Kraft. Im Beispiel bedeutet das: Die zweite Person reduziert den Druck auf die Karte deutlich, während die erste Person den ursprünglichen Druck beibehält. Die Karte bewegt sich nach oben.

Der niedrige Druck der Luftmoleküle auf der Profiloberseite ist vergleichbar mit unzählig vielen schwach drückenden Fingern, während der höhere Druck auf der Profilunterseite mit ebenso vielen kräftiger drückenden Fingern vergleichbar ist. Die aus diesem Druckunterschied resultierende Kraft wird Auftrieb genannt. Ist diese Auftriebskraft größer als die Gewichtskraft eines Gegenstandes, verlässt dieser Gegenstand den Erdboden. Aus unserem kleinen Hopser wird damit endlich ein Flug! Davon könnten vor allem Flugpioniere des späten 19. Jahrhunderts ein Lied singen, wenn Sie noch am Leben wären. Sie gaben aber nicht auf und schafften den schwierigen Schritt von unzähligen kleinen gescheiterten Hopsern zu ernstzunehmenden Flügen über immerhin mehrere Meter. Das oben beschriebene Prinzip – eine Auftriebskraft aufzubringen, die größer als die Gewichtskraft ist – liegt heute allen Flugzeugen zugrunde. Dabei ist es fast egal, wie schwer ein Flugzeug ist, solange eine Kraft erzeugt werden kann, die größer ist als die Gewichtskraft. Aus diesem Grund

kann auch das derzeit größte Passagierflugzeug der Welt, der Airbus A380 fliegen – mit seinem maximalen Startgewicht von 569.000 Kilogramm. Das entspricht etwa drei erwachsenen Blauwalen. Oder 400 VW Passat. Der A380 kann sogar bis zu 15.200 Kilometer Flugstrecke zurücklegen! Passat und Blauwal können hingegen immer noch nicht fliegen.



Abbildung 3: Aus einem kleinen Hopser wurde der Airbus A380

3. Physik-Hintergrund: Der Auftrieb

In diesem Kapitel geht es um die physikalischen Grundlagen. Wenn Sie Physik generell interessiert, sollten Sie es natürlich durchlesen. Wenn Sie mit dem Physikunterricht in der Schule eher auf Kriegsfuß standen, sollten Sie es erst recht lesen.



Es geht nicht ohne Physik: Bernoulli, Drücke, Auftrieb im Detail

Auf ein Objekt wirkt immer der Druck des ihn umgebenden Fluids (Gas, Luft, Wasser). Wenn das Objekt ruht, ist es nur der statische Druck. Wenn das Objekt sich bewegt, entsteht aufgrund der Bewegung zusätzlich ein dynamischer Druck entgegen der Bewegungsrichtung. Senkrecht zu dieser Richtung nimmt dafür der statische Druck ab. Insgesamt wirken auf ein Objekt also immer statischer und dynamischer Druck gemeinsam – beides zusammengezählt ergibt den Gesamtdruck.

Nach Bernoulli setzt sich der Gesamtdruck p eines Fluides wie Gas, Luft oder eine Flüssigkeit aus statischem und dynamischem Druck zusammen. p ist abgeleitet von dem englischen Wort „pressure“ für das deutsche Wort „Druck“. Dieser Gesamtdruck ist unter bestimmten Annahmen als konstant anzusehen:

$$p_{\text{gesamt}} = p_{\text{dynamisch}} + p_{\text{statisch}} = \text{constant}$$

Der **dynamische Druck** ist der Druck, der durch Bewegung eines Fluids (Gas, Luft, Wasser) entsteht und in Strömungsrichtung wirkt. Wenn Sie beispielsweise einen Schirm in den Wind halten, spüren Sie den dynamischen Druck der bewegten Luft.



Abbildung 4: Der Wind auf dem Schirm und die Person erzeugt dynamischen Druck

Der **statische Druck** ist dabei der Druck, der rechtwinklig zur Strömungsrichtung auf die Seitenflächen wirkt (Abb. 5). Er wird mit zunehmendem dynamischem Druck immer geringer. Er zieht also aufgrund des geringeren Drucks Objekte in seine Richtung. Wie zum Beispiel einen Flügel.



Abbildung 5: Da der Mönch und seine Umgebungsluft ruhen, wirkt auf ihn nur der statische Druck

Die sogenannte **dynamische Auftriebskraft** entsteht schließlich durch die Anströmung eines Flügels, an welchem die Luft auf der Profiloberseite einen weiteren Weg als an der Unterseite zurücklegen muss. Um den längeren Weg entlang der Profiloberseite in der gleichen Zeit zu schaffen wie die Kollegen an der Unterseite, bewegt sich die Luft dort sehr viel schneller. Somit ist der statische Druck an der Profilunterseite größer, als an der Oberseite. Da sich Objekte vom hohen Druck weg und zum niedrigen Druck hin bewegen möchten, will sich der Flügel mit einer bestimmten Kraft nach oben bewegen. Diese Auftriebskraft wird durch die Druckdifferenz erzeugt und wird natürlich von vielen weiteren Faktoren wie zum Beispiel der Flügelform und Flügelfläche beeinflusst.

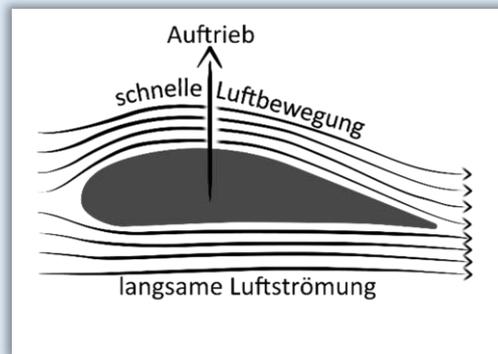


Abbildung 6: Der Flügel möchte sich nach oben bewegen



4. Das eben Gelernte in der Praxis: Flugzeugstart Schritt für Schritt

Jetzt nochmal zum konkreten Flugzeugstart Schritt für Schritt in Prosa:

1. Das Flugzeug steht am Anfang der Startbahn und bewegt sich nicht. Es weht kein Wind. Auf die Flügel wirkt nur statischer Druck von allen Seiten. Das Gewicht des Flugzeugs drückt nach unten.
2. Das Flugzeug beschleunigt nach vorne. Es entsteht dynamischer Druck von vorn an den Flügeln. Die Luft, die an der gewölbten Oberseite des Flügels vorbeiströmt, muss schneller sein und lässt dort den statischen Druck sinken. Die wegen der noch geringen Geschwindigkeit des Flugzeugs am Flügel entstehende Auftriebskraft reicht aber nicht, um das Flugzeug anzuheben. Der Pilot weiss das und gibt Vollgas.
3. Das Flugzeug rast die Startbahn entlang. Es strömt nun viel mehr Luft viel schneller an der Flügeloberseite vorbei. Der dynamische Druck dort ist jetzt sehr hoch, was bewirkt, dass der statische Druck sehr gering ist. Ein sehr geringer statischer Druck erzeugt eine starke Auftriebskraft. Sie ist nun stark genug, um dem Gewicht des Flugzeugs entgegenzuwirken – es hebt mit dem Fahrwerk vom Boden ab.

Wir könnten das Flugzeug auch am Boden festbinden und stattdessen eine Menge Ventilatoren davor aufstellen, um die nötige Anströmung zu erzeugen. In Windkanälen werden auf diese Art Flügelprofile getestet. Der Auftrieb könnte noch verstärkt werden, wenn der Weg der Luft oben herum noch

künstlich verlängert wird, etwa durch Veränderung des Profils oder Neigen des ganzen Flügels (Abb. 7). Damit wären wir dem Hubschrauber schon etwas näher gekommen. Doch zunächst Grüsse von Isaac Newton.

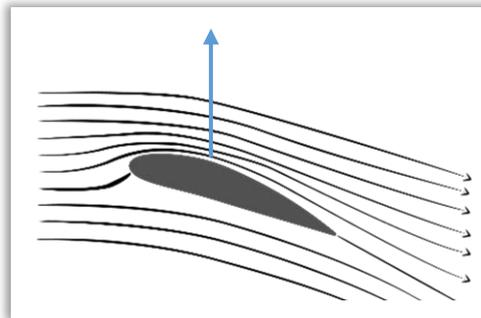


Abbildung 7: Flügelneigung verstärkt den Auftriebseffekt

5. Reaktionsprinzip und Impulserhaltung

Die Wölbung des Flügels ist zwar wichtig, aber nicht der einzige Effekt. Wir kennen auch noch von dem englischen Naturforscher Isaac Newton (1643-1727) den Impulserhaltungssatz und damit den sehr hilfreichen Effekt des Rückstoßes. Beide finden bei der Steuerung des Hubschraubers Anwendung. Zur Verdeutlichung gleich ein paar Experimente:

Experiment 3: Die Wand reagiert! Das Reaktionsprinzip



Gehen Sie zu einer Wand und drücken Sie dagegen. Was passiert? Nichts! Die Wand drückt mit gleicher Kraft zurück, sonst würden Sie oder die Wand ja umfallen. Die Reaktionskraft der Wand ist in gleicher Stärke, aber genau entgegengesetzt: „Actio = Reactio“. Das ist das Newton'sche Reaktionsprinzip, etwas wissenschaftlicher auch das „3. Axiom“ genannt.

Experiment 4: Wer einen Kollegen schubst.... Die Impulserhaltung



Stellen Sie sich vor, Sie sitzen auf einem typischen Bürodrehstuhl mit Rollen und haben Ihre Füße vom Boden entfernt. Sie wollen so Ihren Kollegen wegstoßen, der genau neben Ihnen ebenfalls auf einem solchen Stuhl sitzt. Sie rollen beide in die entgegengesetzte Richtung davon. Den Impuls, den Sie gaben, haben Sie vermutlich zur Hälfte selbst abbekommen, sodass Sie nun beide durchs Büro rollen. Ist Ihr Kollege schwerer als Sie, rollen Sie sogar etwas schneller als er.



Experiment 5: Newton grüsst beim Autofahren und Brotdose spülen

Lassen Sie bei der nächsten Autofahrt das Fenster herunter und halten Sie Ihre Hand bei voller Fahrt flach aus dem Fenster. Neigen Sie Ihre Hand dann um verschiedene Winkel und Richtungen und spüren Sie die Kraft Newtons: Ihre Hand will nach oben, weil Sie die Luft nach unten drücken. Oder umgekehrt. Im Sommer macht dieses Experiment mehr Spaß als im Winter.

Für den Winter daher folgendes Alternativexperiment: Wenn Sie das nächste Mal die Brotdose Ihrer Kinder abwaschen, nachdem Sie darin ein 3 Tage altes Pausenbrot gefunden haben, nehmen Sie den Deckel der Brotdose und bewegen ihn geneigt seitlich hin und her durch das Spülwasser. Dabei werden Sie feststellen, wie der Deckel je nach Neigung eine Kraft nach oben oder unten erfährt. Die Strömung im Wasser ist als Modell durchaus geeignet, um das Strömungsverhalten in Luft nachvollziehen zu können. Deshalb wurde oben zunächst allgemeiner von „Fluiden“ gesprochen.

Für die Physik-Interessierten: Impulserhaltung



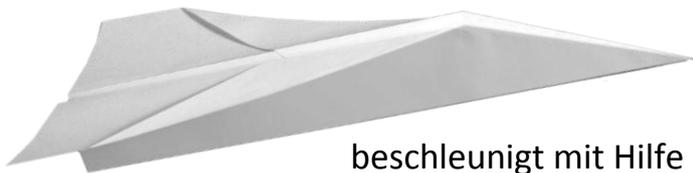
Der Impuls eines Körpers ist das Produkt aus seiner Masse und seiner Geschwindigkeit. Prallen zwei Körper mit jeweils verschieden starkem Impuls aufeinander, ändert sich beim Stoß der Gesamtimpuls aller Stoßpartner nicht. Es geht kein Impuls verloren, die resultierenden Teilimpulse können sich aber ändern. Dies wird als Impulserhaltungssatz beschrieben. Jeder kennt als hübsche Anwendung das Kugelstoßpendel. Oder Bud-Spencer-Filme.



Abbildung 8: Impulserhaltungssatz wie ihn fast jeder kennt

6. Völlig abgedreht: Was den Hubschrauber vom Papierflieger unterscheidet

Wie wir Auftrieb erzeugen können, um die Schwerkraft zu überwinden, ist nun theoretisch geklärt. Wir müssen in der Praxis irgendwie bewerkstelligen, dass der Flügel mit möglichst hoher Luftgeschwindigkeit angeströmt wird. Einen



Papierflieger werfen wir hierzu mit der Hand in die Luft, ein Sportflugzeug

beschleunigt mit Hilfe eines Propellers, große Passagierflugzeuge

nutzen den Schub ihrer Triebwerke. In allen bisher genannten Fällen bewegen sich die Flügel zusammen mit dem an diesen fest montierten Flugzeugrumpf nach vorne. Wenn die Geschwindigkeit und der dadurch erzeugte Druckunterschied und die wiederum dadurch erzeugte Auftriebskraft an den Tragflächen groß genug ist,

hebt das Flugzeug ab. Etwas anders ist der Ablauf beim

Hubschrauber. Ein Hubschrauber bewegt sich zunächst nicht selbst, stattdessen dreht er seine Rotorblätter, die wie die Flügel beim



Flugzeug Auftrieb erzeugen sollen. Von einem Kolbenmotor oder einem Turbinentriebwerk angetrieben dreht sich der Rotor immer schneller, bis er eine ausreichend hohe Drehgeschwindigkeit erreicht. Wie die Tragflächen eines Flugzeugs erzeugen die Rotorblätter Auftrieb, wenn sie sich schnell genug und in einer bestimmten Stellung durch die Luft bewegen.

Während die Flügel an Flugzeugen starr befestigt sind und immer nur aus der Flugrichtung angeströmt werden, drehen sich beim Hubschrauber die „Flügel“. Sie werden aufgrund der Drehung weitgehend unabhängig von der eigentlichen Flugrichtung angeströmt. Deshalb werden Flugzeuge auch Starrflügler genannt und Hubschrauber Drehflügler. Im englischen sind die Begriffe entsprechend „fixed wing“ und „rotary wing“.



Abbildung 9: Begriffsklärungen außen am Typ Robinson R44

Allein aufgrund dieses Unterschiedes in der Bewegung bzw. Strömungsrichtung von linear/geradeaus beim Flugzeug auf kreisförmig beim Hubschrauber-Hauptrotor ändert sich aerodynamisch bereits sehr viel. Bei einer kreisförmigen

Bewegung beispielsweise haben die Punkte nahe am Zentrum eine geringere Geschwindigkeit als die Punkte weiter außen. Durch seine Drehbewegung erreicht ein Rotorblatt an seiner Blattspitze Geschwindigkeiten im Bereich der Schallgeschwindigkeit, während an der Blattwurzel in der Nähe des Drehzentrums die Geschwindigkeiten zu klein sind, um nutzbaren Auftrieb erzeugen zu können.



Abbildung 10: Der Arbeitsplatz des Hubschrauberpiloten im Robinson R44



Diese Themenbereiche sind sehr komplex und deren Verständnis ist zur Beantwortung der Frage weshalb ein Hubschrauber fliegen kann an dieser Stelle nicht notwendig. Vereinfachend wird im Folgenden davon ausgegangen, dass der Hauptrotor mit seinen Rotorblättern in Summe den nötigen Auftrieb ähnlich einfach wie die Flügel beim Flugzeug erzeugt.

7. Völlig abgehoben: Der senkrechte Start

Bevor ein Flugzeug abheben kann, muss es eine nötige Mindestgeschwindigkeit erreichen, um den nötigen Auftrieb erzeugen zu können. Beim Hubschrauber ist der Auftrieb nicht abhängig von der Vorwärtsgeschwindigkeit des Hubschraubers, sondern von der Drehzahl des Hauptrotors. Ohne Mindestdrehzahl des Hauptrotors also kein Abheben. Bevor der Hubschrauberpilot demnach etwas in Richtung Abheben unternehmen kann, muss er als erstes die Drehzahl des Hauptrotors einstellen. Diese ändert sich im Flug auch nicht permanent, sondern ist beim Hubschrauber immer weitgehend konstant. Egal ob am Boden, beim Schweben oder beim Vorwärtsflug mit 200 km/h –der Hauptrotor hat immer die gleich Drehzahl. Der Pilot stellt also auf dem Boden stehend die Standard-Drehzahl ein.



Abbildung 11: Rotorblätter in „flacher“ Stellung

In diesem Moment findet bereits das Experiment statt, in welchem Sie die Hand flach aus dem Fenster des fahrenden Autos halten. Nur sind es hier die Rotorblätter, die flach durch die Luft schneiden. Nun muss der Winkel der Blätter verstellt werden. Um die Neigung der Blätter zu ermöglichen sind sie so gelagert, dass sie um Ihre Längsachse drehbar sind.



Abbildung 12: Angestellte Rotorblätter

Um den Winkel der Blätter zu verstellen, zieht der Pilot langsam mit der linken Hand an dem Hebel, der für die sogenannte kollektive Blattverstellung zuständig ist – engl. „Collective“ (Abb. 10). Die Blattverstellung wird deshalb „kollektiv“ genannt, da alle Blätter gleichzeitig verstellt werden. Dieser Hebel wird gerne vom Erscheinungsbild her von Nicht-Piloten mit einer Handbremse verglichen. Er befindet sich anders als die Handbremse beim Auto links vom Pilotensitz, der sich bei den meisten Hubschraubermodellen übrigens auf der rechten Seite befindet.

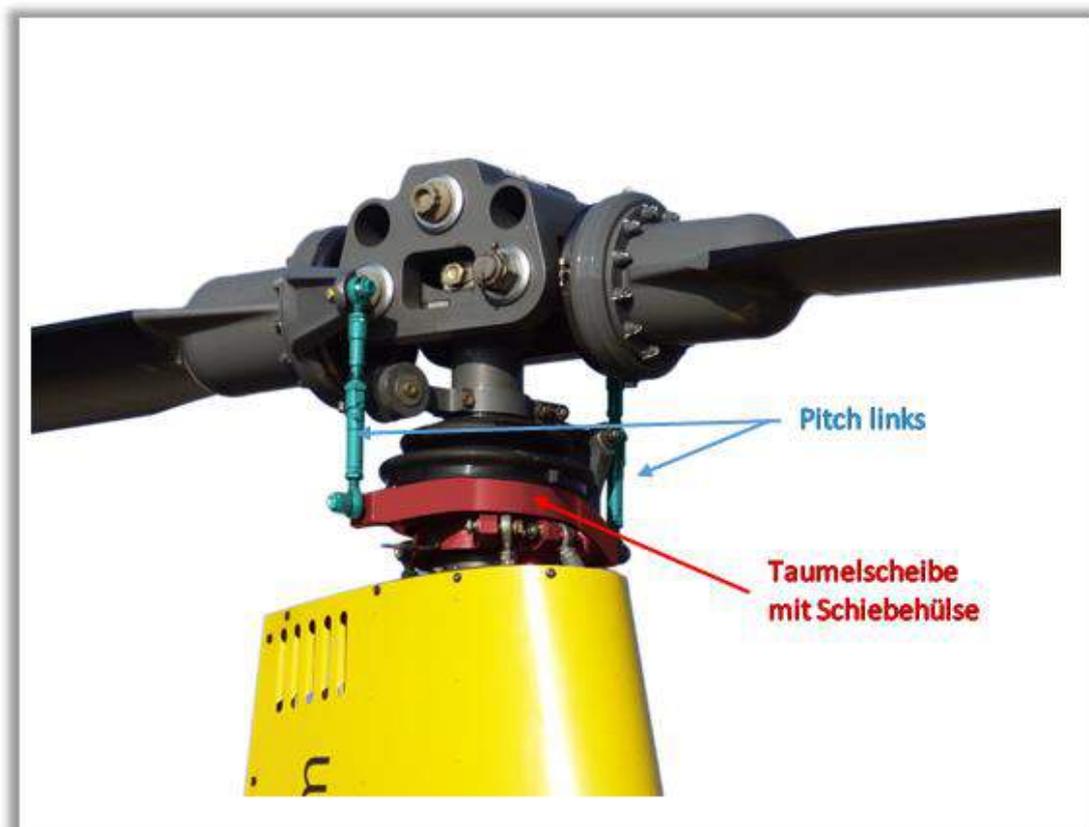


Abbildung 13: Elemente am Rotorkopf



Eine plausible Erklärung könnte sein, dass in der Mitte zwischen den Sitzen eher die nötige Bewegungsfreiheit zur Bedienung der kollektiven Blattsteuerung vorhanden ist. Wenn der Pilot links sässe, wäre die kollektive Blattverstellung zwischen Sitz und linker Tür positioniert. Das ist bei den meisten Hubschraubertypen beengt und damit nicht die ideale Position. Trotzdem kann fast jeder Hubschrauber mit einem Doppelsteuer ausgestattet werden, um einen Flug mit zwei aktiven Piloten zu ermöglichen.

Vom Hebel neben dem Pilotensitz wird die Verstellung über Steuerstangen, eine Schiebehülse und sogenannte Pitch links (Abb. 13) auf die Blätter übertragen. Das Problem, dass die Blätter verstellt werden müssen, obwohl sie sich drehen, die vom Pilotensitz kommenden Steuerstangen jedoch feststehen, wird durch die Taumelscheibe gelöst (Abb. 13). Sie löst ausserdem ein weiteres Problem bei der Beschleunigung und Steuerung für uns, auf das wir später noch zu sprechen kommen.

Die untere Hälfte der Taumelscheibe steht fest, die obere Hälfte dreht sich mit dem Hauptrotor und die Taumelscheibe als Ganzes wird nach oben und unten bewegt. Dadurch können die Blätter über die Pitch links verstellt werden während sich der Hauptrotor dreht. Es werden also alle Rotorblätter gleichzeitig um einen bestimmten Winkel abhängig von der Stellung des Collective geneigt. Durch diese Neigung der Blätter kommt es wie bereits erklärt zu einer Auftriebskraft, die mit wachsender Neigung zunimmt, sodass der Hubschrauber schließlich abhebt und schwebt. Kurz bevor die Auftriebs-

kraft das Gewicht des Hubschraubers ausgleicht, passiert noch etwas anderes:
Bühne frei für den Heckrotor.

8. Völlig weggedreht: Wozu ein Heckrotor?

Experiment 6: Wer einen Kollegen wegdreht... dreht sich selber weg.



Stellen Sie sich vor, Sie sitzen wieder auf einem typischen Bürodrehstuhl mit Rollen und haben Ihre Füße vom Boden entfernt. Sie wollen Ihren Kollegen, der neben Ihnen ebenfalls auf einem solchen Stuhl sitzt diesmal nicht wegstoßen, sondern wegrehen. Sie drehen ihn vermutlich, aber sich selbst auch in die entgegengesetzte Richtung. Die Drehung wurde aufgrund des Reaktionsprinzips wieder etwa zur Hälfte auf Sie zurückgeworfen. Wie stark sich ein Objekt drehen will, kann gemessen werden und wird Drehmoment genannt.

In dem Moment, in welchem der Hubschrauber vom Boden abhebt, baumelt die Zelle am Hauptrotor – der sich dreht. Und der dreht sich, weil die Zelle ihn antreibt. Sie sind also die Zelle und der Hauptrotor der Kollege aus Experiment Nr. 6. Die Zelle würde sich selbst in die andere Richtung wegrehen. Jeder Hubschrauber würde sich in der Tat wie wild um die eigene Achse drehen,

wenn es nicht einen Drehmomentausgleich gäbe, der bei den meisten Hubschraubern in Form eines Heckrotors zu finden ist.

Es geht auch ohne Heckrotor



Sie haben schon mal einen Hubschrauber ohne Heckrotor gesehen? Sie müssen sich keine Brille kaufen: Es gibt neben dem Heckrotor nämlich noch andere Bauarten, um das Drehmoment des Hauptrotors auszugleichen, wie etwa NOTAR-Systeme. Der Begriff „NOTAR“ ist dabei nichts wirklich Wissenschaftliches - lediglich die Abkürzung für das englische „no tail rotor“. Es gibt auch Hubschrauber-Bauarten, die gar keinen Drehmomentausgleich benötigen, weil sie von vornherein kein Drehmoment erzeugen, das ausgeglichen werden müsste. Dazu gehören etwa Hubschrauber mit Koaxial- oder Tandemanordnung. Diese Hubschrauber haben meistens zwei Rotoren, die unterschiedliche Drehrichtungen haben und dadurch das Drehmoment des jeweiligen anderen Rotors weitgehend ausgleichen. Die meisten Hubschrauber haben aber nur einen Hauptrotor und benötigen einen Drehmomentausgleich.

Um also die ungewollte Drehung des Hubschraubers um die Hochachse zu verhindern, ist bei unserem Beispielhubschrauber am Ende des Heckauslegers

ein kleinerer Heckrotor angebracht, der den Hubschrauber in die entgegengesetzte Richtung drehen soll. Der vom Pilotensitz aus betrachtet nach links drehende Hauptrotor will die Hubschrauber-Zelle rechts herum wegdrehen lassen. Der Heckrotor hält dagegen. Um den Schub des Heckrotors korrekt einzustellen, nutzt der Pilot die beiden Pedale im Fußraum des Cockpits. Sie sind so miteinander verbunden, dass beim Drücken des einen Pedals das andere Pedal entgegen kommt. Über Steuerstangen sind die Pedale direkt an den Heckrotor gekoppelt. Ähnlich wie beim Hauptrotor wird über eine Schiebehülse und über Pitch links der Anstellwinkel der Heckrotorblätter verstellt. Je nach Anstellwinkel der Heckrotorblätter drückt der Heckrotor mehr oder weniger stark, sodass hierdurch nicht nur der Hubschrauber gerade gehalten werden kann, sondern auch gewollte Drehungen um die Hochachse in beide Richtungen möglich sind.



Abbildung 14: Drehungen um die Hochachse und Drehmomentausgleich



Ist der Heckrotor vom Piloten richtig eingestellt, hält sich alles genau die Waage, der Hubschrauber zeigt stabil in eine Richtung. Wenn der Pilot das linke Pedal etwas mehr drückt, schiebt der Heckrotor etwas mehr und dreht die Zelle mehr nach links als der Hauptrotor sie nach rechts drehen will. Ergebnis: Die Zelle beginnt sich nach links zu drehen. Diese zusätzlich benötigte Kraft muss der Antrieb aufbringen. Drückt der Pilot das rechte Pedal, lässt der Schub des Heckrotors nach und die Zelle beginnt, sich nach rechts zu drehen. Der Antrieb wird nun entlastet, da der Heckrotor weniger schiebt. Fazit: Linkes Pedal dreht die Zelle nach links, rechtes Pedal dreht die Zelle nach rechts.

9. Vorwärts, rückwärts, seitwärts, Kurvenflug

Wir wissen nun, warum ein Hubschrauber fliegen kann, wie er abhebt, um auf der Stelle zu schweben und die Nase in eine Richtung hält. Wie aber steuert der Pilot, in welche Richtung der Hubschrauber fliegen soll? Oder dass er überhaupt beschleunigen soll? Nachdem die linke Hand und die Füße bereits voll beschäftigt sind, bleibt nur noch die rechte Hand übrig: Mit dieser bedient der Pilot einen Steuerknüppel, mit dem er im Ergebnis die Neigung des kompletten Hauptrotors bewirken kann. Wie wird diese Neigung bewirkt? Die Antwort ist bereits in Namen des Steuerknüppels zu finden: Er wird zyklische Blattsteuerung genannt oder aus dem englischen „Cyclic Stick“ oder nur

„Cyclic“ oder nur „Stick“ (Abb. 10). Im Folgenden verwenden wir den Begriff „Stick“. Wie genau der Stick die Neigung der Rotorscheibe bewirkt, klären wir jetzt.

Wir haben bereits gesehen, dass uns die Taumelscheibe dabei hilft, eine Steuereingabe von der stillstehenden Zelle auf den drehenden Rotor zu bringen (Abb. 13). Der untere Teil der Taumelscheibe dreht sich nicht, der obere schon. Der untere, still stehende Teil der Taumelscheibe wird vom Piloten mittels Stick über Steuerstangen geneigt. Der rotierende Teil folgt dieser Neigung dabei exakt, dreht sich aber mit dem Rotor. Die Pitch links zwischen dem rotierenden Teil der Taumelscheibe und den ebenfalls rotierenden Rotorblättern steuern während des Umlaufzyklus die Einstellwinkel der Rotorblätter. (Abb. 15).



Abbildung 15: Einstellwinkel je nach Rotorblattposition in der Kreisebene

Um eine Neigung der Rotorscheiben nach vorn und damit eine Vorwärtsbewegung des Hubschraubers einzuleiten, soll der Auftrieb in der hinteren Hälfte der Rotorscheibe erhöht und gleichzeitig in vorderen Hälfte verringert werden. Auf seinem Weg durch die Rotorscheibe soll das Rotorblatt an der vordersten Stelle somit einen geringeren Anstellwinkel haben und an der hintersten Stelle der Rotorscheibe – also genau über dem Heckausleger – einen steileren (Abb. 16). Dadurch wird vorne weniger Auftrieb und hinten mehr Auftrieb erzeugt, mit dem Ergebnis, dass sich die ganze Rotorscheibe nach vorn neigt und der Hubschrauber nach vorn bewegt. Aus Sicht des Hauptrotors bewegt sich die Taumelscheibe ständig hin und her – führt also eine Taumelbewegung aus, die ihr den Namen gab.



Abbildung 16: Einstellwinkel je nach Blattposition

Genau genommen wird also nicht, wie oft vermutet, der ganze Rotor mechanisch geneigt. Stattdessen wird ein Blatt während seines Umlaufens durch die Steuereingabe des Piloten über Taumelscheibe und Pitch links so geneigt, dass zum Beispiel am vordersten Punkt vor dem Cockpit das Rotorblatt nur sehr wenig Auftrieb erzeugt. Je weiter das Blatt sich nach hinten dreht, desto größer wird der Anstellwinkel des Blattes, sodass es hinten den höchsten Auftrieb erzeugt. Bei der weiteren Drehung nach vorne wird der Auftrieb aufgrund geringer werdenden Anstellwinkels wieder kleiner. Alle Blätter durchlaufen diese Zyklen, sodass jedes Blatt bei einer Position in der hinteren Kreishälfte der Rotorscheibe stark nach oben zieht und bei einer Position in der vorderen Kreishälfte nur wenig (Abb. 17).



Abbildung 17: Auftriebskräfte je nach Einstellwinkel



Daraus resultiert die Neigung des ganzen Rotors und damit auch die des ganzen Hubschraubers nach vorne. Die Zelle wird quasi am Hauptrotor baumelnd hinterhergezogen. Der Hubschrauber fliegt vorwärts und beschleunigt weiter, bis der Stick wieder zurückgenommen wird.

Da die Taumelscheibe in alle Richtungen neigbar ist, und vor lauterer Dreherei gar nicht weiß, wo vorne oder hinten ist, kann der Pilot durch seine Steuerung am Stick die Taumelscheibe so neigen, dass äquivalent zum Vorwärtsflug auch seitwärts, rückwärts oder diagonal geflogen werden kann. Natürlich ist der Stick so eingestellt, dass die Flugrichtung der Steuereingabe des Stick entspricht: Drückt der Pilot den Stick nach vorne, bewegt sich der Hubschrauber nach vorne, drückt man ihn zur Seite, bewegt sich der Hubschrauber zur Seite, und so weiter. Das macht den Hubschrauber so wendig.

Wird der Stick im Schwebeflug seitlich gedrückt, kommt ein seitliches Schweben heraus. Im Vorwärtsflug wird daraus ein Kurvenflug mit entsprechender Schräglage. Stick nach hinten entspricht im Vorwärtsflug dementsprechend einer Bremsung. Mit dem Beschleunigen strömt nun auch immer mehr Wind an der Zelle vorbei – auch am Heckausleger, an welchem Finnen angebracht sind. Diese fungieren nun stabilisierend – daher im englischen auch die Bezeichnung „Stabilizer“. Sie helfen mit, den Hubschrauber allein aufgrund des Fahrtwindes gerade zu halten (Wetterhahneffekt). Der Heckrotor wird also hauptsächlich im Schwebeflug benötigt, wenn der Hubschrauber keinerlei Vorwärtsfahrt hat. Das Schweben auf der Stelle ist demnach für den Antrieb auch am forderndsten: Der Heckrotor muss das durch



den Hauptrotor auf die Zelle erzeugte Drehmoment voll ausgleichen, da es nun noch keinen Fahrtwind gibt, der über die Stabilizer strömt und per Wetterhahneffekt mithilft.

Die Steuereingaben liegen oft nur im Millimeterbereich, sodass Passagiere den Eindruck haben, der Pilot hält alle Steuerelemente einfach nur fest und tut wenig bis gar nichts. Dass Hubschrauber fliegen aber unter anderem aufgrund dieser extrem filigranen Steuereingaben anspruchsvoll ist und zugleich unglaublich viel Spaß macht, können Sie in einem Schnupperflug selbst testen! Nach Lektüre dieses E-Books verfügen Sie nun über erhebliches Vorwissen. Wir fragen Sie dann aus. 😊

Mehr einfach erklärtes Wissen zum Thema Hubschrauber und benachbarten Gebieten wie Technik von Hubschraubern, Aerodynamik, Meteorologie, Navigation und vielen weiteren spannenden Themen rund um die Luftfahrt finden Sie auf unserer Webseite: www.heliflieger.com





Nachwort

Einer meiner zahlreichen Rundflug-Kunden fragte mich eines Tages, was mir denn am Hubschrauber fliegen am meisten gefällt: Der Start, die Landung? Oder das Fliegen an sich? Ich musste kurz nachdenken. Im Laufe der Jahre sind mir viele Fragen gestellt worden, aber komischerweise nicht diese. Ich habe aber recht schnell und eindeutig zugunsten einer anderen Möglichkeit geantwortet: „Die Menschen!“. Und daraus leitet sich unsere Mission ab:

Menschen Freude zu liefern.

Weil fantastische Erlebnisse

wertvoller sind als Dinge.

Dieses E-Book ist für Sie geschrieben. Bitte lassen Sie uns wissen, wie es Ihnen gefällt. Oder was nicht. Oder was wir in einer künftigen Ausgabe ergänzen sollten. Wir freuen uns auf Ihr Feedback unter info@heliflieger.com

Dirk Schepanek