

\*\*\*\*\*start of translation\*\*\*\*\*

## weTragschrauber

Dieser Aufsatz beschreibt Tragschrauber und wie sie funktionieren, gibt einen kurzen Abriss über ihre frühe Entwicklung, erklärt ihren Unterschied zu anderen Flugzeugen und erklärt warum sie nie akzeptiert wurden. Der Aufsatz erläutert dann einige moderne Tragschrauberkonzepte. (Anmerkung: Dieses ist eine überarbeitete Version dieses Aufsatzes. Die Originalversion, die 1996 geschrieben wurde, kann man hier finden. Die Überarbeitung ist noch nicht abgeschlossen).

Hier klicken für die Textversion  
[Zurück zu Luftfahrzeuge](#)  
[Zurück zu Home](#)

## Inhalt

### Einführung

Wie Tragschrauber funktionieren

Unterschied zwischen Tragschraubern und anderen angetriebenen Luftfahrzeugen

Geschichte der Tragschrauber

Warum Tragschrauber nicht akzeptiert wurden

Tragschrauber folgen Hubschraubern, die Zukunft

Zusammenfassung

Bezüge

Zusätzliche Informationen

Links

Tragschrauber sind Fluggeräte, die es schon seit Jahrzehnten gibt. Sie sind bekannt unter den Bezeichnungen: Autogiro, Gyrocopter, Gyroplanes. Sie waren die ersten fliegenden Drehflügler mit zufriedenstellender Steuerbarkeit. Die Konstruktion sollte überragende Sicherheit und bessere Langsamflugeigenschaften als normale Flugzeuge bieten, zusätzlich die Möglichkeit vertikal zu starten und zu landen. Trotz dieser Vorteile, und obwohl sie vor den ersten funktionierenden Hubschraubern entwickelt wurden, deren Fähigkeiten sie teilweise übertrafen, wurden sie nie akzeptiert.

Dieser Aufsatz wird erklären, wie Tragschrauber funktionieren, um dem Leser ein Verständnis für die Wirkungsweise eines Tragschraubers zu vermitteln, wird die Vorteile und Nachteile eines Tragschraubers im Vergleich zu anderen Fluggeräten beleuchten und gibt einen kurzen Abriss über seine Entwicklung und warum dieses Fluggerät nie akzeptiert wurde, ferner wo Tragschrauber sich in der Welt der Luftfahrt heute befinden.

## Wie Tragschrauber funktionieren

Ein Tragschrauber ist eine Flugmaschine. Ähnlich einem Hubschrauber ist es ein Drehflügler, das heißt, dass er einen Rotor besitzt, der den Auftrieb erzeugt, im Gegensatz zum festen Flügel eines konventionellen Flugzeugs. Anders als beim Hubschrauber wird der Rotor des Tragschraubers nicht vom Motor direkt angetrieben. Der Rotor rotiert

durch aerodynamische Kräfte, ein Phänomen, das man Autorotation nennt. Da der Rotor nicht direkt angetrieben wird benötigt der Tragschrauber eine andere Antriebsquelle, z.B. einen Schub- oder Zugpropeller, wie ein konventionelles Flugzeug, natürlich kann man auch Düsenantriebe verwenden.

Was treibt die Autorotation des Rotor an? Die einfache Antwort lautet, es ist der Luftstrom, der durch die Rotorkreisscheibe strömt, diesem entzieht er die nötige Energie. Denkt man an Flugsamen (z.B. Ahornsamen „Anm. des Übersetzters), der beim Herabfallen in Rotationsbewegung versetzt wird, während des Fallens werden sie von der Luft in Drehbewegung versetzt (Weil sie in Rotation versetzt werden, bewegt sich der Mini-Flügel schneller, erzeugt mehr Auftrieb und der Samen fällt langsamer als es der Fall wäre, wenn der Samen nicht rotiert hätte). Eine technischere Erklärung entnimmt man dem Vektordiagramm unten. Es zeigt den Rotor in Autorotation. Eine genauere Beschreibung bietet der folgende Abschnitt.

### Vektor Diagramm der Autorotation

Das oben gezeigte Vektordiagramm beschreibt die Autorotation. (Das Hauptdiagramm und das Diagramm in der unteren rechten Ecke wurden so gedreht, dass die Rotationsebene die horizontale Achse darstellt. Die aktuelle Ausrichtung des Rotors entnimmt man dem kleinen Bild rechts oben). Das Diagramm recht unten zeigt die Anströmung relativ zum Rotor. Da der Rotor dreht, entsteht eine Anströmung aus seiner Drehbewegung heraus, der als „relative Anströmung bezogen auf den Rotor“ bezeichnet ist. Die „relative Anströmung bezogen auf den Tragschrauber“ entsteht durch die Vorwärtsbewegung. Der Rotor ist so orientiert, dass die Rotorebene in einem geringen Winkel gegen die Bewegungsrichtung des Tragschraubers bei der Vorwärtsbewegung geneigt ist. Die Summe der beiden Vektoren ist „die relative Anströmung bezogen auf das Rotorprofil“ und wird als „resultierender relativer Wind“ bezeichnet. Das Hauptdiagramm zeigt einen Schnitt durch den bewegten Rotor, zu einem Zeitpunkt, da sich der Tragschrauber nach vorne bewegt. Der „resultierende relative Wind“ des kleineren Diagrammes wird dort als „resultierende Anströmung“ gezeigt. Jede Anströmung über ein Profil erzeugt Auftrieb und Widerstand. Die Auftriebsrichtung steht senkrecht auf der Anströmrichtung des Tragschraubers, die Richtung des Widerstandes wirkt parallel zur Anströmrichtung. Das stimmt für alle Tragflügelprofile nicht nur für die Profile in einem Rotor eines Tragschraubers. (Eine Erklärung wie Tragflügel wirken siehe auch meine Seite: Wie Flugzeuge fliegen). Auftriebsvektor und Widerstandsvektor addieren sich zu einer resultierenden Kraft. Bei der Autorotation beinhaltet diese resultierende Kraft eine Komponente, die den Rotor nach vorne antreibt. Das steht in deutlichem Kontrast zu den Vorgängen an einem Hubschrauberrotor im Vorwärtsflug. Ein Hubschrauber erzeugt seinen Vortrieb durch Neigen der Rotorebene nach vorne. Damit erhält der Auftrieb eine Komponente nach vorne, die den Vortrieb erzeugt.

### Vektordiagramm eines Hubschraubers im Vorwärtsflug

Das heißt der „relative Wind“ bezogen auf den Hubschrauber bewegt sich durch die Rotorebene nach unten, im Gegensatz zur Luftströmung von unten durch die Rotorebene, wie beim Tragschrauber.

Das Vektordiagramm oben, das so gestaltet ist wie sein Vorgänger und die gleichen Bezeichnungen benutzt, zeigt die unterschiedlichen relativen Strömungsvorgänge. Statt den Rotor nach vorne zu bewegen, wird dieser von der Luftströmung gebremst. Unterschied zwischen Tragschraubern und anderen angetriebenen Flugzeugen

Da nun erklärt wurde, wie ein Tragschrauber funktioniert, wird es leichter sein, die Vor- und Nachteile bezogen auf Hubschrauber und andere Flugzeuge zu verstehen. Vergleicht man einen Tragschrauber mit einem Flugzeug, treten zwei Vorteile zutage: erstens die Fläche die zu Start und Landung benötigt wird, zweitens, die Langsamflugeigenschaft. Tragschrauber benötigen weniger Platz zum Starten und Landen als Starrflügelflugzeuge. Die ersten Tragschrauber benötigten eine Startstrecke von ca. 15 m und eine Landestrecke von ca. 6m während Starrflügler hunderte von Metern benötigten. Spätere Tragschrauber reduzierten die Startstrecke auf weniger als 5m bei mögliche senkrechter Landung oder auch senkrechtem Start.

Diese Fähigkeit erlaubt Tragschraubern praktisch von jedem Feld aus geflogen zu werden, bei Verzicht auf eine Starbahn. Tatsächlich wurden in den 1930 er Jahren und den 1940 er Jahren Tragschrauber eingesetzt, die von den Dächern der Poststellen aus von Camden, NY, Philadelphia, PA, Chikago, IL, New Orleans, LA und Washington, D.C aus, Luftpost beförderten.

Der andere große Vorteil der Tragschrauber ist ihre Fähigkeit langsam zu fliegen ohne der Gefahr eines Strömungsabrisses ausgesetzt zu sein. Die Höhe des Auftriebes eines Tragflügels ist abhängig vom Anstellwinkel und der Anströmgeschwindigkeit. Überschreitet man einen kritischen Anstellwinkel, führt dies zu einem plötzlichen Auftriebseinbruch. Dieser Einbruch wird als Strömungsabriss bezeichnet und wird durch den Umstand hervorgerufen, dass die Luft dem Profil nicht mehr folgen kann und die Strömung abreißt. Da bei einem Starrflügelflugzeug der Flügel fest mit dem Flugzeug verbunden ist, bedeutet eine Erhöhung des Auftriebes entweder schneller fliegen oder Anstellwinkel erhöhen. Bei einem Tragschrauber sind die Tragflügel am Rotor befestigt und bewegen sich mit der Geschwindigkeit durch die Luft, wie sie vom Rotor vorgegeben wird und nicht mit der Geschwindigkeit des Tragschraubers. Der Tragschrauber muss sich nach vorne bewegen, um den Rotor in Rotationsbewegung zu halten, das erfordert aber eine viel geringere Geschwindigkeit als es ein Starrflügler erfordert um den gleichen Auftrieb zu erzeugen.

Tragschrauber können mit 25km/h fliegen. Ein Mensch kann schneller laufen. Und anders als Niedriggeschwindigkeitsflugzeuge, die sehr große Flügel haben um den erforderlichen Auftrieb zu erzeugen, was auch einen großen Widerstand bedeutet, erzeugen Tragschrauber diesen Effekt durch schnelldrehende Rotoren. Das heißt Tragschrauber decken einen größeren Geschwindigkeitsbereich ab, als normale Flugzeuge.

Ein anderer Vorteil des Tragschraubers ist die Unmöglichkeit des Strömungsbrisses beim Langsamflug. Wenn ein Starrflügelflugzeug langsamer fliegen will, muss es den Anstellwinkel erhöhen um mehr Auftrieb zu erzeugen. Ab einem bestimmten Anstellwinkel reisst die Strömung ab. Wenn das passiert, fällt das Flugzeug so als würde man einen Baseball aus dem Fenster werfen. Wird ein Tragschrauber langsamer geflogen als die notwendige Geschwindigkeit erfordert um die Autorotation aufrecht zu erhalten, wird der Auftrieb nicht vollständig zusammenbrechen sondern die

Drehzahl des Rotors wird abnehmen. Da der Rotor weiter dreht, wird weiter Auftrieb erzeugt. Verlangsamt ein Tragschrauber seine Geschwindigkeit zu sehr, beginnt er sanft zu sinken. Er fällt nicht wie ein Starrflügler nach unten.

Aber die genannten Vorteile sind nicht ohne Nachteile zu erzielen. Obwohl der Rotor weniger Widerstand erzeugt als der Tragflügel eines für Langsamflug ausgelegten Starrflüglers, erzeugt er mehr Widerstand als der Tragflügel eines Hochgeschwindigkeitsflugzeuges. Das heißt Tragschrauber erzeugen mehr Widerstand als Starrflügelflugzeuge vergleichbarer Größe, wenn sie mit gleicher Geschwindigkeit fliegen. Durch ihr Widerstandsverhalten sind Tragschrauber nicht für Hochgeschwindigkeitsflüge oder Langstreckenflüge geeignet. (Mehr zu diesem Thema in: Beschränkungen von Drehflüglern).

Es gibt einige Vorteile zu erwähnen, die ein Tragschrauber gegenüber einem Hubschrauber auszeichnen, nämlich Einfachheit, Geschwindigkeit und Gewicht. Ein Hubschrauberrotor stellt ein komplexes Gebilde dar. Er erzeugt Auftrieb, Vortrieb und beinhaltet Steuerungseigenschaften. Er benötigt eine Vorrichtung für zyklische und kollektive Verstellung. Ein Tragschrauber benutzt seinen Rotor auch zur Steuerung, benötigt aber keine kollektive Verstellung. Einige komplexere Tragschrauber verwenden auch eine kollektive Verstellung, kleinere Tragschrauber benötigen sie nicht. Dadurch werden die Systeme weniger komplex und leichter.

Das Gewicht eines Tragschraubers wird auch dadurch reduziert, dass auf einen Antrieb des Rotors verzichtet werden kann. Einen Rotor anzutreiben bedeutet Gewicht anbringen in Form von Antriebswellen und Getrieben. Diese müssen so ausgelegt sein, dass sie das Moment der Rotorwelle sicher aufnehmen können und führen damit zu einem signifikanten Beitrag zu Gesamtgewicht. Ein Tragschrauber kann auf diese Zusätze verzichten, er kann leichter sein. Auch wenn der Tragschrauber mit einer Vorrotationseinrichtung ausgestattet ist, um einen Sprungstart zu ermöglichen, muss diese Vorrichtung nicht so robust ausgeführt werden, wie die Antriebe in einem Hubschrauber, da sie nicht der gleichen Belastung ausgesetzt sind und auch nicht so flugkritisch sind.

Ein Tragschrauber kann schneller fliegen als ein Hubschrauber. Dieser Effekt rührt daher, dass der Rotor nur Auftrieb erzeugen muss, während ein Hubschrauberrotor Auftrieb und Vortrieb erzeugen muss. Um einen Drehflügler im Gleichgewicht zu halten muss ein vorlaufendes Blatt den gleichen Auftrieb erzeugen wie ein rücklaufendes Blatt. Auf diesen Umstand wird im unten folgenden Abschnitt „Geschichte“ näher eingegangen. Das vorlaufende Blatt das mit dem Fluggerät nach vorne wandert „sieht“ eine höhere Geschwindigkeit als das rücklaufende Blatt. Um den gleichen Auftrieb zu erzeugen muss das rücklaufende Blatt einen größeren Anstellwinkel erhalten. Wir erinnern uns an den Umstand, dass bei einem bestimmten Anstellwinkel die Strömung abreißt und der Auftrieb zusammenbricht. Dieser Umstand limitiert Tragschrauber und Hubschrauber (und wird genauer in „Beschränkung von Drehflüglern“ behandelt). Weil der Hubschrauber mehr Kraft durch den Rotor erzeugen muss wird er mit dem Abrissproblem bei kleineren Geschwindigkeiten konfrontiert, was dem Tragschrauber erlaubt, schneller zu fliegen.

Der Hubschrauber hat einen Hauptvorteil gegenüber dem Tragschrauber, nämlich das Schweben auf einer Stelle. Wenn man die Vektordiagramme betrachtet, kann man sehen, dass der Tragschrauber die Vorwärtsbewegung benötigt, um die Autorotation in Bewegung zu halten und damit den Auftrieb zu erzeugen. Wie vorher schon erwähnt fängt ein Tragschrauber an zu sinken, wenn die Vorwärtsfahrt gestoppt wird. Ein

Hubschrauber kann mit einem trainierten Piloten auf einem Punkt in der Luft stehen bleiben, bis der Sprit ausgeht. Der Schwebeflug ist eine wichtige Fähigkeit des Hubschraubers speziell für Rettungseinsätze. Ein Hubschrauber muss schweben können um einen Verletzten aufzunehmen, etwas was ein Tragschrauber nicht kann.

Es gibt einen weiteren Vorteil der Tragschrauber gegenüber Starrflüglern und Hubschraubern, das ist die Sicherheit gegenüber einem Triebwerksausfall. Bei einem Motorausfall in einem Tragschrauber passiert das gleiche wie bei einem mit zu niedriger Geschwindigkeit durchgeführten Langsamflug, der Tragschrauber sinkt langsam bis zur Landung. Die Durchführung einer Landung mit Triebwerksausfall ist die gleiche Prozedur wie die einer gewöhnlichen Landung. Ein Starrflügler muss bei Motorausfall im Gleitflug gelandet werden. Dieses wird bei der Ausbildung gelernt, benötigt aber Training und auch eine passende Landebahn. Der Pilot muss eine lange und ebene Landebahn finden, die mit seinem Gleitpfad noch zu erreichen ist.

Hubschrauber sind bei Triebwerksausfall auch schwierig zu landen. Betrachtet man das Vektordiagramm für Hubschrauber, so sieht man, dass die aerodynamischen Kräfte den Rotor verzögern wollen. Wenn der Motor ausfällt wird der Rotor schneller verzögert als bei einem Tragschrauber. Piloten korrigieren dies, in dem sie den Hubschrauber in eine Autorotationsfluglage versetzen, dies erfordert ebenfalls Training. Da Hubschrauber nicht dazu vorgesehen sind normale Landungen im Autorotationsmodus vorzunehmen, besteht immer ein Risiko Fehler zu machen, z.B. mit dem Heckrotor beim Abfangen den Boden zu berühren. Schlimmer noch, es gibt eine Flugphase bekannt als „dead man’s area“ (Toter Mann Zone, der Übersetzer), in der der Hubschrauber zu tief und zu langsam ist, um noch in Autorotation versetzt werden zu können, Motorausfall in diesem Bereich bedeutet Absturz und Beschädigung.

## Geschichte des Tragschraubers

Da jetzt dargestellt wurde, wie ein Tragschrauber funktioniert, welche Flugcharakteristiken er hat und wie diese ihn von Starrflüglern und Hubschraubern unterscheidet, wäre es nett zu erfahren, wie dies alles entwickelt wurde.

Die frühe Geschichte des Tragschraubers ist hauptsächlich die Geschichte eines Mannes, don Juan de la Cierva.

Cierva wurde am 21. Sept. 1895 in Murcia Spanien geboren. Er war erst 8 Jahre alt, als die Gebrüder Whright am 17. Dez. 1903 zum ersten mal flogen. Cierva war in der Ausbildung zum Architekten, als die Gebrüder Whright 1908 ihre Maschine in Frankreich präsentierten. Dieser war beeindruckt von dieser Erfindung und entschloss sich, sein eigenes Flugzeug zu bauen. Sein erster Versuch war der Nachbau eines Sommer Doppeldeckers. Er passte einen neuen Motor an und fügte einige Änderungen ein. Als das Projekt 1912 abgeschlossen war, bekam es den Namen BCD-1 El Cangrejo, spanisch für Krabbe.

Das Flugzeug flog gut, und war das erste in Spanien gebaute Flugzeug. Cierva’s zweites Projekt war die BCD-2, ein Eindecker, 1913 gebaut. Dieses flog nicht so gut wie die BCD-1 und stürzte ab, wurde wieder aufgebaut und stürzte erneut ab. Das Projekt wurde aufgegeben. Ciervas drittes und letztes Starrflügelprojekt war die C-3, gebaut für einen spanischen Militärwettbewerb, der im Sept. 1918 ausgeschrieben wurde. Die C-3 wurde in die Bomber- Abteilung des Wettbewerbes aufgenommen. Es war ein großer von drei Motoren angetriebener Doppeldecker und wurde im Mai 1919

fertiggestellt. Das Flugzeug flog gut, aber bei einem der vorläufigen Test flog der Pilot zu langsam, die Strömung riss ab und das Flugzeug stürzte ab. Die Maschine war zerstört, der Pilot kam ohne schwerere Verletzungen davon. Der Absturz enttäuschte Cierva und inspirierte ihn über einen besseren Lösung zur Durchführung von Langsamflügen nachzudenken. Ein Spielzeughelikopter, den er vom Balkon seiner Eltern hatte fliegen lassen, brachte ihn auf die Idee einen Tragschrauber zu entwickeln. Er nannte ihn autogiro (mit „i“, nicht mit „y“).

Ciervas erster Versuch war die C.1. Die C.1 hatte zwei gegenläufige Rotoren auf einer Welle. Dieses Konzept sollte als Drehmomentenausgleich wirken. Eine vertikale Steuerfläche über den Rotoren sollte die laterale Steuerung verwirklichen, während Höhenleitwerk und Seitenleitwerk die Steuerung um die anderen Achsen übernehmen sollten. Unglücklicherweise flog dieser Entwurf nie. Grund war die Beeinflussung der Rotoren untereinander, der obere drehte sich schneller als der untere. Dieses verstimmte das Auftriebsgleichgewicht und die Maschine hatte die Tendenz nach einer Seite zu kippen. Trotzdem wurde während der Tests im Okt. 1920 das Prinzip der Autorotation beim Rollen auf der Rollbahn erfolgreich demonstriert.

Nach der C.1 begann Cierva mit der Entwicklung der C.2, die nur einen Rotor besaß, der aus fünf Blättern mit Aluminium Rippen bestand. Wegen Schwierigkeiten mit der Materialbeschaffung und Förderung des Projektes wurde dieses zurückgestellt und Cierva begann mit der Arbeit an seiner C.3. Die C.3 hatte ein Rotor mit drei Blättern, war mit Höhenruder zur Nicksteuerung und Seitenruder zur Giersteuerung ausgestattet. Für die laterale Steuerung wurde eine Kollektivverstellung ausprobiert. Diese beinhaltete die Winkelverstellung aller Blätter gleichzeitig. Die Lösung zeigte sich als nicht praktikabel und die C.3 vollführte nur kurze Sprünge von ein paar Zentimetern Höhe über der Bahn.

Nach den Arbeiten an der C.3 wurde das Projekt C.2 weitergeführt und 1922 fertiggestellt. Die C.2 hatte gleiche Steuerorgane wie die C.3. Es wurde eine leicht bessere laterale Steuerbarkeit festgestellt und die Sprünge über dem Flugfeld erreichten schon mehrere Dezimeter, aber es konnte noch kein stabiler Flug vorgeführt werden.

Eines der Probleme mit Ciervas Entwürfen war der gelenklose steife Rotor. Das verursachte zwei Probleme. Erstens entstand ein Kreiseffekt, der dazu führte, dass Bewegungen des Flugzeuges zum Kippen führten, zweitens entstand ein unausgeglichener Auftrieb. Bei der Bewegung des Flugzeuges nach vorne, wird das vorlaufende Blatt schneller angeströmt als das rücklaufende Blatt, so dass an der vorlaufenden Seite mehr Auftrieb entsteht als auf der rücklaufenden Seite, was zum Kippen des Flugzeuges führt. Cierva fand die Lösung zu diesem Problem bei einem Opernbesuch, bei dem er eine Windmühle mit gelenkig gelagertem Rotor sah. Er entschied sich in seinen Rotor Gelenke einzubauen. Diese erlaubten den Rotorblättern sich je nach aerodynamischen Kräften aufwärts oder abwärts zu bewegen. Die vorlaufenden Blätter machten eine Bewegung nach oben, was den Anstellwinkel reduzierte, die rückläufigen Blätter machten eine Bewegung nach unten, was den Anstellwinkel erhöhte. Dieser Effekt „flapping“ genant führte dazu, dass die aerodynamischen Kräfte über die Rotorscheibe hinweg ausgeglichen wurde und beseitigten zusätzlich den Kreiseffekt.

Cierva nächster Entwurf die C.4 verwirklichte den gelenkigen Rotor. Für die Rollkontrolle wurden Querruder an Streben auf jeder Seite des Flugzeuges angebracht, Nicksteuerung und Giersteuerung erfolgte über Höhen- und Seitenruder. Am 17. Januar 1923 flog die C.4 und vollführte den ersten kontrollierten Flug eines Tragschraubers. Die C.4 demonstrierte auch die sicheren Langsamflugeigenschaften,

als drei Tage später am 20. Januar bei einem steilen Start mit Nase nach oben der Motor in einer Höhe von 10m ausfiel. Bei einem Starrflügler hätte das mit Sicherheit zu einem Strömungsabriss geführt. Die C.4 jedoch landete sanft ohne Beschädigung oder Verletzung des Piloten.

Noch dramatischer wurden die Langsamflugeigenschaften am 16 Januar 1925 gezeigt, als eine andere Konstruktion, die C.6 in 50 m Höhe einen Motorausfall hatte, der Pilot die Maschine wenden konnte und mit leichten Beschädigungen landete. Dieses Manöver wäre mit einem Starrflügler sehr viel schwieriger gewesen und hätte sehr wahrscheinlich zu einem ernstem Unfall geführt.

Ein weiteres Problem der ersten Tragschrauber war die Vorrotation. Um eine Autorotation zu verwirklichen musste der Rotor bei stehendem Flugzeug in Rotation versetzt werden. Dies wurde damals auf vier Arten ermöglicht, den Rotor von Hand vorrotieren, wenn er leicht genug war, bei größeren Rotoren wurden sogar Pferde eingesetzt oder eine Bodenmannschaft, eine andere Lösung verband den Rotor mittels Welle mit einem Autoantrieb. Die Erfordernis, externe Quellen zur Vorrotation einzusetzen lief der Forderung nach einem unabhängigen Fluggerät, das überall eingesetzt werden kann zuwider. Cierva's Lösung für dieses Problem war einen Heckflügel so anzustellen, dass der vom Propeller erzeugte Wind die Rotoren in Bewegung setzte. Diese Lösung wurde als Skorpion- Schwanz bezeichnet. Die Idee wurde 1929 auf der C19 getestet. Es zeigte sich, dass das Heck nicht genug Wind nach oben ablenkte. Der Rotor drehte sich etwas, erreichte aber nicht die zur Autorotation notwendige Drehzahl, ein kurzes Anrollen war weiter notwendig. Ein andere Methode war das direkte Verbinden des Rotors mit dem Vortriebsmotor mittels lösbarer Kupplung wie es in der C.11 1930 eingesetzt wurde. Unglücklicherweise wog diese Lösung 75 kg und zeigte sich als zu schwer. Ein verbessertes Antriebs- und Kupplungssystem wurde Ende 1930 eingeführt. Es wurde zum ersten mal im April 1931 in einer PCA-2, einem Tragschrauber, der von Harold Pitcairn, der von Cierva die Lizenzen für Tragschrauber in den U.S.A erworben hatte, eingesetzt. Das Antriebs- und Kupplungssystem wurde von Cierva erst im März 1932 in einer C.19 eingesetzt. Diese neue Lösung bewährte sich in der PCA-2 genauso wie in der C.19 und wurde zur Standardlösung für alle Tragschrauber, dessen Rotoren zu schwer waren, um von Hand vorrotiert zu werden.

Der nächste große Fortschritt wurde am 5. August 1931 erzielt. An diesem Tag startete eine Wilford WRK. Bei diesem Tragschrauber wurden die gelenkigen Rotorblätter durch einen steifen Rotor mit zyklischer Blattverstellung ersetzt. Die zyklische Blattverstellung ändert den Blattanstellwinkel der Blätter während der Rotation. Das vorlaufende Blatt erhält einen geringeren Anstellwinkel, das rücklaufende Blatt einen größeren. Dieses bewirkt den gleichen Effekt wie das „flapping“, das oben beschrieben wurde. Der WRK war der erste Tragschrauber, der erfolgreich mit steifen Blättern flog.

Weiter oben wurde beschrieben, dass Tragschrauber das Potential haben senkrecht zu starten und zu landen. Alle bis jetzt besprochenen Tragschrauber hatten die Fähigkeit vertikal zu landen, z.B. im Notfall und benötigen eine minimal Startrollstrecke. Wenn man in der Lage ist den Rotor bis zur Autorotation vorzurotieren, warum den Leistungseinsatz nicht erhöhen um damit abzuheben. Das war es, was als nächstes angestrebt wurde. Im August 1933 wurde Versuche mit der C.30 in dieser neuen Form des Startes unternommen, des Sprungstartes. Die ersten versuche waren ermutigend aber nicht befriedigend. Die Vorrotation bei stehendem Flugzeug erzeugte zu viel Vibration,

außerdem wurde nur kleine Sprünge realisiert. Am 28. Oktober 1934 nach mehr als einem Jahr des experimentierens machte die C.30 den ersten erfolgreichen Sprungstart. Später wurden viele weitere Tragschrauber für Sprungstart ausgelegt, vielfach nach dem gleichen Prinzip, wie es in der C.30 verwendet wurde. Einige hatten Motore an den Blattspitzen oder Raketensätze montiert.

Die C.30 war in weiterer Hinsicht bemerkenswert. Es war der erste Tragschrauber der eine direkte Steuerung des Rotorkopfes vorsah. Die direkte Steuerung ersetzte Quer- und Seitenruder durch die Neigung des Rotorkopfes bei Steuereingaben durch den Piloten. Das vereinfachte die Steuerung und die Konstruktion. Ein Pilot hatte eine Steuerung für Gieren, Nicken und Rollen und auch nur diese Funktion musste konstruiert werden. Bei der C.30 und anderen späteren Tragschraubern vergleichbarer Größe bestand die Steuerung aus einer Lenkstange, die vom Rotorkopf direkt zum Cockpit geführt wurde. Bei größeren Maschine wurden die Steuereingaben des Piloten über Getriebe eingeleitet. Die C.30 war die populärste Produktion eines Tragschraubers, es wurden davon 180 Stück gebaut.

Am 26 Juni 1935 flog der Breguet- Dorand 314 Hubschrauber erstmals. Er beinhaltete viele Lösungen, die mit Tragschraubern erfunden wurden, wie zyklische und kollektive Blattverstellung. Am 8 Dezember 1941 flog die V.S. 300 von Igor Sikorsky, ein weiterer der ersten erfolgreichen Hubschrauber. Die V.S. 300 war nur ein Testflugzeug, führte aber zur V.S.-316 einem ausgereiften Hubschrauber gleicher Bauart. Die U.S. Army orderte 400 VS-316 zusammen mit R-5 und R-6 Sikorsky Hubschraubern.

Warum Tragschrauber nicht akzeptiert wurden

An diesem Punkt können wir die Frage stellen, warum Tragschrauber keine weitere Akzeptanz fanden. Frühe Tragschrauber hatten trotz größerem abgedeckten Geschwindigkeitsspektrum, schlechte Widerstandseigenschaften und waren ineffizient bei großen Geschwindigkeiten, wie sie von Starrflüglern erreicht wurden. Dabei erreichten sie nie die Geschwindigkeiten der schnelleren konventionellen Flugzeuge.

Zusätzlich hatten die ersten Tragschrauber nicht die Fähigkeit des senkrechten startens und landens, was sie attraktiver für potentielle Kunden gemacht hätte.

Als die C.30 1934 die Fähigkeit des Sprungstartes gezeigt hatte, dauerte es weniger als ein Jahr bis der erste Hubschrauber flog und nur wenige Jahre bis zur VS-300 und VS-316.

Obwohl Hubschrauber einen kleineren Geschwindigkeitsbereich abdecken als Tragschrauber waren sie in der Lage den Schwebeflug darzustellen und damit eine Lücke zu schließen, die von den Starrflüglern nicht besetzt werden konnte. Cierva, der das meiste zur Entwicklung der Tragschrauber beigetragen hat, finanzierte den größten Teil davon selbst. Als die Armee den VS-316 bestellte, floss das Geld in die Firma Sikorsky's. So erhielt Sikorsky die Förderung, die Cierva fehlte. Ohne diese Mittel konnte Cierva die Entwicklung nicht fortführen. Am 9. Dezember wurde Cierva beim Absturz mit einer Linienmaschine der KLM getötet. Er wurde nur 41 Jahre alt.

Es gab andere, die Tragschrauber weiterentwickelten, aber Cierva hatte die stärkste Kraft der Bewegung dargestellt. Viel wurde verloren durch seinen Tod.

Ein anderer Faktor, der die Akzeptanz des Tragschraubers verminderte war rein psychologischer Natur. Obwohl Hubschrauber erst ab 1935 erfolgreich flogen, waren sie so lange wie Starrflügler in der Entwicklung. Die Allgemeinheit kannte



Hubschrauber und verstand das Prinzip des angetriebenen Rotors. Tragschrauber hatten einen nicht angetriebenen Rotor, der sich durch aerodynamische Kräfte drehte. Viele verstanden das Wirkprinzip nicht und misstrauten der Sache. Obwohl sicherer als Hubschrauber oder Starrflügler wurde dies von den Menschen nicht wahrgenommen. Sie wollten etwas „angetriebenes“.

## Tragschrauber nach Hubschraubern

Nachdem Hubschrauber erfolgreich flogen und die Firmen die sie konstruierten, Mittel für weiterer Forschungen bekamen, waren Tragschrauber abgeschrieben. Mit Ausnahme. Einige Konzepte und Anstrengungen ziviler Konstrukteure führten zu Tragschraubern als Eigenbauflugzeuge (meist als Ultraleichtflugzeuge).

Letztendlich halten zwei Firmen die Idee des Tragschraubers hoch, Groen Brothers und CarterCopter.

Die Groen Brothers konstruieren die mehr konventionelle Variante der beide. Die Innovation der Groen Brother ist der Gebrauch von Staustrahltriebwerken an den Blattspitzen um diese vorzurotieren. Staustrahltriebwerke sind nicht sehr effizient, sie laufen aber nur für ca. 15 Sekunden und erlauben dem Tragschrauber vertikal zu starten. Ihr Tragschrauber wird auch eine kollektive Blattverstellung haben, um den Widerstand zu reduzieren. Der Tragschrauber wird vermarktet an Unternehmen, die in den Städten von Dach zu Dach fliegen wollen und den Bedarf nach Schwebefähigkeit nicht haben sondern nur die Fähigkeit benötigen senkrecht zu starten und zu landen.

Der Tragschrauber kann das schneller und zu günstigeren Preisen als ein Hubschrauber. Gleichzeitig versucht man das Fluggerät an Unternehmen zu verkaufen, die nur den Langsamflug benötigen. Bei der Beobachtung stationärer Vorgänge fliegt selbst ein Hubschrauber kleine Kreise und steht nicht auf der Stelle.

Der CarterCopter ist mehr ein Mischwesen zwischen Flugzeug und Tragschrauber. Der Rotor wird mit konventionellem Getriebe und Kupplung angetrieben werden, wobei der Rotor 27 kg Gewicht an der Spitze mitbewegt. Das wird den Rotor zu einem Schwungrad machen, der den CarterCopter für einen Sprungstart tauglich macht. Gleichzeitig erlaubt das Gewicht die Drehzahl des Rotors zu reduzieren und gleichzeitig die Steifigkeit zu erhalten. Im Flug wird der Anstellwinkel der Rotorblätter so weit zurückgenommen wie möglich, um den Widerstand zu reduzieren. Der Auftrieb wird dann von konventionellen Tragflügeln aufgebracht, die an der Seite befestigt sind. Die Firma sagt vorher, dass der CarterCopter die Eigenschaften aller Luftfahrzeuge mit Ausnahme von Jetangetriebenen und Raumfahrzeugen, überbietet. Eingeschlossen sind Hubschrauber, alle vorherigen Tragschrauber, kolbenbetriebene Motorflugzeuge und Turbopropflugzeuge. Mit einem Turbopropantrieb soll das Flugzeug 760 km/h in einer Höhe von 13 500 m fliegen. Mit einem modifizierten Propeller auf einer Flughöhe von 20 000 m, mit Jetantrieb mit 900km/h und mehr. Eine spezielle Konstruktion soll in der Lage sein mit einer Tankfüllung die Erde zu umrunden, was bedeuten würde die Leistung des Voyager bei seiner Weltumrundung 1986 einzustellen, aber mit senkrechtem Start und senkrechter Landung. Mit seinen Leistungen wird der CarterCopter nicht nur in der Lage sein, die Rolle auszufüllen, die die Groen Brothers mit ihren Tragschraubern besetzten wollen, sondern auch die Rolle einnehmen, die bisher die propellergetriebenen Flugzeuge einnehmen.

## Abschließende Bemerkungen

Die Tragschrauber waren die ersten Drehflügler, die erfolgreich flogen. Sie markierten eine Wende weg von den konventionellen Flugzeugkonzepten, um mit ihren Fähigkeiten eine Rolle zu besetzen, die von konventionellen Flugzeugen nicht eingenommen werden konnte. Sie können langsam fliegen, bedingt durch die Ausnutzung eines Phänomens das man Autorotation nennt, in dem der Rotor allein durch aerodynamische Kräfte in Rotation versetzt wird. Die Autorotation erlaubt den Flügeln sich mit einer größeren Geschwindigkeit zu bewegen, als sich das Flugzeug selbst bewegt. Obwohl Tragschrauber nie einer größeren Akzeptanz durch die Öffentlichkeit, dem Militär oder der Flugzeugfirmen erfreuten, waren sie für die Entwicklung der Hubschrauber wichtig. Viele technische Lösungen, die im Hubschrauber eingesetzt werden, wurden als erstes für Tragschrauber entwickelt. Hätte Cierva den Tragschrauber nicht entwickelt, hätte die Hubschrauberentwicklung Jahrzehnte verloren. Nach der erfolgreichen Einführung des Hubschraubers wurden Tragschrauber vergessen, mit Ausnahme von Selbstbaubausätzen und Ultraleichtflugzeugen. Heutzutage sind es zwei Firmen, Groen Brothers und CarterCopter, die den Tragschrauber unter Verwendung neuer Technologien zurückgebracht haben, nicht um den Hubschrauber zu ersetzen, sondern die Rolle auszufüllen, wo senkrecht Starten und Landen in Verbindung mit Langsamflugeigenschaften benötigt werden. Wenn diese Firmen ihren Weg gehen, wird die Zukunft freundlicher mit dem Tragschrauberkonzept umgehen als in der Vergangenheit.

#### Ergänzende Informationen

Wie am Beginn angegeben war Sinn dieser Seite zu beschreiben, wie ein Tragschrauber funktioniert und einen Abriss über seine Geschichte darzustellen. Die Darstellung deckt die Geschichte nur in den 1930 er Jahren ab. Nun da ich diese Seite in Internet gestellt habe, wird sie von weit mehr Leuten gelesen als ich mir je vorgestellt habe. Ich habe viele positive Rückmeldungen erhalten, aber auch Rückmeldungen über die Abkürzung der Geschichte der jetzigen Tragschrauber. Obwohl nie so anerkannt wie Hubschrauber oder Starrflügler im kommerziellen Einsatz, haben Tragschrauber als Eigenbauflugzeuge großen Erfolg verzeichnet. Es gibt einige Firmen, die Tragschrauber herstellen und das schon seit einigen Jahren. Die beste Seite um etwas über Selbstbautragschrauber zu erfahren sind [www.rotorcraft.com](http://www.rotorcraft.com) oder „the Popular Rotorcraft Association (PRA) Homepage“.

Ich habe die Geschwindigkeitslimitationen von Tragschraubern nicht ausreichend behandelt, diese kann man finden unter „Drehflügler Beschränkungen“.

Ein weiteres Feld meines Aufsatzes, warum Tragschrauber nie voll akzeptiert wurden, erfordert weitere Informationen. Paul Bergen Abbot, vorheriger Herausgeber des „Rotorcraft Magazine“ schickte mir die folgende e-mail:

„Deine Erklärung der Misere der Tragschrauber ist perfekt. Das ist ein Punkt, für den ich mich seit einiger Zeit interessiere, bis zum Wendepunkt 1996 scheint es so, dass die Welt sich entschieden hatte sich vom Tragschrauber abzuwenden. Ich denke es waren zwei weitere Faktoren, neben denen die Du angeführt hast, ausschlaggebend: Erstens, die Welt marschierte Richtung Zweiter Weltkrieg, die Rivalität zwischen Deutschland und den Vereinigten Staaten hatte einen Höhepunkt erreicht.... 1938 demonstrierte Deutschland den Focke- Achgelis F 61 Hubschrauber, ein Tandemrotormodell, der in einer Halle vor Publikum vorgeflogen wurde und für Schlagzeilen auf der ganzen Welt sorgte. Das stachelte den Ergeiz der Vereinigten Staaten an und Fördermittel der

Regierung wurden für die Entwicklung des Hubschraubers umgeschichtet. Der zweite Faktor war der Tod zweier treibenden Kräfte hinter den Tragschraubern, Juan de la Cierva, durch einen Flugzeugabsturz 1936 und Harold Pitcairn, durch einen Pistolenunfall (manche behaupten es war Selbstmord).

Es gab auch einen Wettbewerb zwischen einem Tragschrauber und einem Doppeldecker, der Gewinner sollte eine militärische Förderung erhalten. Der Wettbewerb wurde so ausgetragen, dass der Tragschrauber nicht gewinnen konnte, obwohl dieser die Leistungen eines konventionellen Flugzeuges dieser Zeit übertreffen konnte (Ich habe nicht mehr in Erinnerung welche Typen von Fluggeräten beteiligt waren)“.

Quellen

Links

\*\*\*\*\*end of the translation\*\*\*\*\*

Übersetzung: Runald Meyer [runald.meyer@etastern.de](mailto:runald.meyer@etastern.de)