



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 16 093.0**  
(22) Anmeldetag: **08.04.2003**  
(43) Offenlegungstag: **04.11.2004**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **31.03.2016**

(51) Int Cl.: **B64C 27/32 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**AIRBUS HELICOPTERS DEUTSCHLAND GmbH,  
86609 Donauwörth, DE**

(72) Erfinder:  
**Becker, Gerold, 82216 Maisach, DE; Pfaller,  
Rupert, 85521 Riemerling, DE**

(74) Vertreter:  
**GPI & Associés, Aix-en-Provence, FR**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

|           |                   |           |
|-----------|-------------------|-----------|
| <b>DE</b> | <b>195 28 155</b> | <b>C1</b> |
| <b>DE</b> | <b>43 16 712</b>  | <b>A1</b> |
| <b>US</b> | <b>2 757 745</b>  | <b>A</b>  |

(54) Bezeichnung: **Rotor für ein Drehflügelflugzeug sowie Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Rotors**

(57) Hauptanspruch: Rotor für ein Drehflügelflugzeug, umfassend

– einen Rotorkopf  
– mindestens ein Rotorblatt (2) mit einem rotorkopfseitigen Rotoranschlussbereich (4), wobei der rotorkopfseitige Rotoranschlussbereich (4) einen ein Schlag- und/oder Schwenkgelenk bildenden Bereich umfasst und eine integrale, lagerlose, fliehkraftgesteuerte Blattwinkelverstelleinrichtung aufweist,

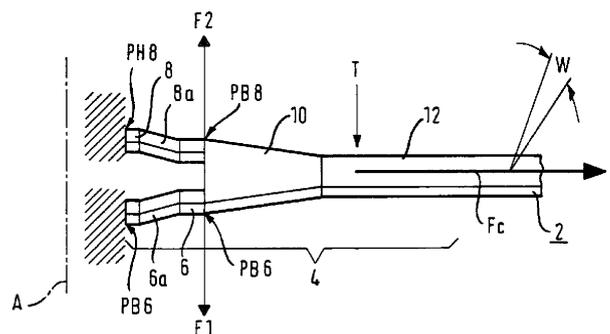
dadurch gekennzeichnet, dass

die integrale, lagerlose, fliehkraftgesteuerte Blattwinkelverstelleinrichtung mindestens einen im Rotorbetrieb fliehkraftbeaufschlagten Rotorblatt-Anschlussarm (6; 8; 14) besitzt, der mindestens einen abgestuften oder abgewinkelten Armabschnitt (6a; 8a; 14a) aufweist, welcher zwischen einem rotorkopfseitigen Anschlusspunkt des Rotorblatt-Anschlussarms (6; 8; 14) und

– einem Vektor einer auf das Rotorblatt (2) wirkend Fliehkraft ( $F_c$ ), oder

– einem Vektor eines auf den mindestens einen Rotorblatt-Anschlussarm (6; 8; 14) wirkenden Fliehkraftanteils ( $F_{c1}$ ,  $F_{c2}$ )

mindestens einen Hebelarm ( $h_1$ ,  $h_2$ ) bildet, mit dem der Rotorblatt-Anschlussarm (14) und das Rotorblatt (2) unter Einwirkung der Fliehkraft ( $F_c$ ) verdrehbar sind, wobei von jedem Rotorblatt-Anschlussarm (6; 8; 14) der Flächenschwerpunkt oder die neutrale Faser eines rotorkopfseitigen Anschlussarmquerschnitts gegenüber dem Flächenschwerpunkt oder der neutralen Faser eines rotorblattseitigen Anschlussarmquerschnitts und einer im Betrieb des Rotors durch diesen rotorblattseitigen Flächenschwerpunkt verlaufenden Fliehkraftrichtung ( $F_c$ ) versetzt ist.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Rotor für ein Drehflügelflugzeug. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Rotorblattes eines derartigen Rotors eines Drehflügelflugzeugs.

## STAND DER TECHNIK

**[0002]** Bei vorbekannten Drehflügelflugzeug-Rotoren, die einen Rotorkopf, mindestens ein Rotorblatt und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss aufweisen, erfolgt die Verstellung des Blattwinkels des Rotorblattes über ein diskretes Lager oder über ein torsionsweiches Element mit Hilfe eines recht aufwendigen, schweren Verstellmechanismus, der i. d. R. mindestens einen Blattverstellhebel, Gestänge, eine Taumelscheibe und mindestens einen Aktuator zur Bestätigung des Mechanismus besitzt. Das genannte torsionsweiche Element wird üblicherweise bei sog. lagerlosen Rotor in Verbindung mit einer sog. Steuertüte verwendet. Das torsionsweiche Element erstreckt sich innerhalb der Steuertüte, die zur Einleitung eines für die Blattwinkelverstellung erforderlichen Drehmomentes an einem distalen, d. h. zu einer Rotorblattspitze weisenden Endbereich des torsionsweichen Elements drehfest mit diesem verbunden ist. Für eine ausreichende Torsionsweichheit und zur Erreichung eines genügend großen Blattverstellwinkels müssen das torsionsweiche Element und die Steuertüte relativ lang ausgebildet sein. Diese Bauteile nehmen daher einen recht hohen prozentualen Anteil der Rotorblattlänge ein, die dann nicht mehr für ein aerodynamisch wirksames Profil des Rotorblattes zur Verfügung steht. Konventionelle lagerlose Rotoren sind zudem schwenkweich ausgebildet, was für bestimmte Rotortypen, wie z. B. Kipprotoren (Tiltrotoren), die in Kipprotorhubschraubern oder Kipprotorenflugzeugen Anwendung finden, von Nachteil ist.

**[0003]** Während bei konventionellen Hubschraubern im Betrieb die Drehzahl relativ konstant gehalten und der Blattwinkel kollektiv oder zyklisch verstellt wird, kann es in bestimmten Anwendungsfällen, wie z. B. bei Kipprotorhubschraubern oder Kipprotorflugzeugen, erforderlich sein, den Blattwinkel bei Rotorblättern oder Propellern abhängig von der Drehzahl zu verstellen. Bei einem Kipprotor zum Beispiel wird die Drehzahl im sog. Flugzeugmodus abgesenkt und gleichzeitig der Blattwinkel steiler eingestellt, während im sog. Hubschraubermodus die Drehzahl erhöht und der Blattwinkel flacher eingestellt wird. Die hierfür erforderlichen Verstellmechanismen sowie Steuer- und/oder Regeleinrichtungen sind jedoch sehr aufwendig und gewichtsintensiv und müssen aufgrund der erforderlichen Kopplung zwischen einem rotierenden und einem feststehenden Teil des Verstellmechanismus zudem über die Schnittstelle

einer Taumelscheibe erfolgen, was konstruktiv und steuerungstechnisch sehr komplex ist.

**[0004]** Aus der DE 195 28 155 C1 ist ein Drehflügelflugzeug-Rotor bekannt, der einen Rotorkopf, einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss und ein Rotorblatt umfasst. Das Rotorblatt besitzt eine hohle Blattspitze mit einer integralen, lagerlosen Blattspitzenwinkel-Verstelleinrichtung. Diese Verstelleinrichtung weist einen innerhalb der Blattspitze angeordneten Aktuator auf, welcher eine in Längsrichtung des Rotorblattes wirkende Aktuatorstellkraft in eine elastische Verdrehung der Blattspitze und damit in eine Blattwinkelstellung in diesem Bereich umsetzt. In einer Ausführungsform kann die durch den Aktuator initiierte Blattwinkelverstellung durch Fliehkräfte unterstützt werden, wobei der Aktuator eine Stellbewegung in einer Richtung und die Fliehkräfte eine Rückstellung in umgekehrter Richtung bewirken.

**[0005]** Die DE 43 16 712 A1 offenbart eine Luftschraube mit einem oder mehreren Luftschraubenblätter, bei der sich die Steigung der Luftschraube fliehkraftgesteuert selbst einstellt. Zu diesem Zweck ist in einem nabennahen Bereich der Luftschraube eine torsionsweiche, aber zugsteife Zone aus Faserverbundwerkstoff mit hoher Dämpfung vorgesehen, welche unter Fliehkrafteinwirkung ein Verdrehen des jeweiligen Blattes zur Steigungsänderung zulässt. Die Luftschraube kann zu Dämpfungszwecken zudem bei seitlicher Betrachtung entlang der Luftschraubenebene mit einem sog. Stillstands-Konuswinkel ausgestattet sein, d. h., die Blätter sind im Stillstand leicht nach hinten geneigt. Dieser Konuswinkel kann sich im laufenden Betrieb der Luftschraube durch die Schubkräfte und die Fliehkräfte verändern.

## DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0006]** Der Erfindung liegt die Aufgabe beziehungsweise das technische Problem zugrunde, einen Rotor für ein Drehflügelflugzeug zu schaffen, der über verbesserte aerodynamische Eigenschaften bei einem möglichst geringen Rotorgewicht verfügt und der es auf einfache und effektive Art und Weise gestattet, eine Verstellung eines Rotorblattwinkels auch abhängig von der Drehzahl vorzunehmen. Ferner soll ein geeignetes Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Drehflügelflugzeug-Rotorblattes bereit gestellt werden.

**[0007]** Diese Aufgabe wird gelöst durch einen erfindungsgemäßen Rotor für ein Drehflügelflugzeug mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

**[0008]** Der Rotor für ein Drehflügelflugzeug umfasst einen Rotorkopf, mindestens ein Rotorblatt mit einem rotorkopf- bzw. rotormastseitigen Rotorblattanschluss, wobei der Rotorblattanschluss ei-

nen ein Schlag- und/oder Schwenkgelenk bildenden Bereich umfasst und eine integrale, lagerlose, fliehkraftgesteuerte Blattwinkelverstelleinrichtung aufweist. Erfindungsgemäß weist die integrale, lagerlose, fliehkraftgesteuerte Blattwinkelverstelleinrichtung mindestens einen im Rotorbetrieb fliehkraftbeaufschlagten Rotorblatt-Anschlussarm mit mindestens einem abgestuften oder abgewinkelten Armabschnitt auf, welcher zwischen einem rotorkopfseitigen Anschlusspunkt des Rotorblatt-Anschlussarms und

- einem Vektor einer auf das Rotorblatt wirkend Fliehkraft oder
- einem Vektor eines auf den mindestens einen Rotorblatt-Anschlussarm wirkenden Fliehkraftanteils

mindestens einen Hebelarm bildet, mit dem der Rotorblatt-Anschlussarm und das Rotorblatt unter Einwirkung der Fliehkraft verdrehbar sind, wobei von jedem Rotorblatt-Anschlussarm der Flächenschwerpunkt oder die neutrale Faser eines rotorkopfseitigen Anschlussarmquerschnitts gegenüber dem Flächenschwerpunkt oder der neutralen Faser eines rotorblattseitigen Anschlussarmquerschnitts und einer im Betrieb des Rotors durch diesen rotorblattseitigen Flächenschwerpunkt verlaufenden Fliehkraftrichtung versetzt ist.

**[0009]** Der Rotorblattanschluss kann hierbei integraler Bestandteil des Rotorblattes oder aber ein davon separates Teil sein, welches mit dem Rotorblatt beispielsweise über eine geeignete Trennstelle verbindbar ist. Der Rotorblattanschluss kann darüber hinaus auch Teil eines Rotorkopfelementes, z. B. eines Rotorsterns oder einer Rotorkopfplatte, oder eines anderen, dem Rotorblatt und dem Rotorkopf bzw. einem Rotormast zwischengeschalteten Elements sein.

**[0010]** Aufgrund der integralen Bauweise der lagerlosen, fliehkraftgesteuerten Blattwinkelverstelleinrichtung kann diese als direkter Bestandteil des Rotorblattes bzw. dessen Struktur- oder Befestigungselemente oder eines Rotorkopfelementes ausgebildet werden. Mit anderen Worten, die Blattwinkelverstelleinrichtung kann direkt an oder in den rotierenden Teilen des Rotors platziert oder in diese integriert werden. Deshalb ist bei der erfindungsgemäßen Lösung anders als beim Stand der Technik für eine fliehkraftabhängige oder drehzahlbedingte Verstellung des Blattwinkels auch keine Kopplung zwischen einem rotierenden und einem feststehenden Teil des Verstellmechanismus über eine Taumelscheibe hinweg notwendig. Dies vereinfacht die Konstruktion erheblich und führt überdies zu einer günstigen Gewichtsreduzierung.

**[0011]** Für die fliehkraftgesteuerte, drehzahlabhängige Blattwinkelverstellung kann somit auf Verstellmechanismen, wie Sie beim Stand der Technik erforderlich sind, gänzlich verzichtet werden. Wie aus den

nachfolgenden Erläuterungen noch deutlicher werden wird, sind zudem aufwendige Steuer- und/oder Regeleinrichtungen für eine drehzahlbedingte Blattwinkelverstellung nicht notwendig. Sofern bei dem erfindungsgemäßen Rotor pro Rotorblatt ein oder mehrere torsionsweiche Elemente und eine Steuertüte verwendet werden, so ist es möglich, diese Bauteile erheblich zu verkürzen, woraus wiederum Vorteile für die Aerodynamik resultieren, da der ungestörte, aerodynamisch aktive Profildbereich des Rotorblattes weiter nach innen, d. h. zur Rotorachse hin geführt werden kann. Auch der Schlag- und/oder Schwenkgelenksabstand lässt sich durch diese Maßnahmen verringern, was für bestimmte Anwendungszwecke ebenfalls vorteilhaft ist. Wird der Schlag- und/oder Schwenkgelenkbereich und der torsionsweiche Bereich des Blattanschlusses bzw. des Rotorblattes vom sog. homogenen Rotorblatt durch eine Trennstelle (z. B. ein Bolzenanschluss) lösbar ausgestaltet, so wandert diese Trennstelle ebenfalls nach innen, zur Rotorachse hin in einen Bereich kleiner Anströmgeschwindigkeiten. Auch dies ist aerodynamisch von Vorteil und gestattet eine leichtere Bauweise.

**[0012]** Weitere bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungsmerkmale des erfindungsgemäßen Rotors sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 9.

**[0013]** Darüber hinaus wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe gelöst durch ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Blattwinkelverstellung mit den Merkmalen des Anspruchs 10.

**[0014]** Dieses Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Rotorblattes eines Drehflügelflugzeug-Rotors, insbesondere eines lagerlosen Rotors, der einen Rotorkopf und einen rotorkopfseitigen lagerlosen Rotorblattanschluss besitzt, umfasst folgende Schritte: Rotieren des Rotorblattes; und automatisches Verstellen des Blattwinkels durch Verdrehen des rotorkopfseitigen lagerlosen Rotorblattanschlusses und damit des Rotorblattes um seine Längsachse mittels auf das Rotorblatt wirkender Fliehkkräfte, wobei der rotorkopfseitige Rotorblattanschluss durch reversibles elastisches Verformen von mindestens einem Rotorblatt-Anschlussarm mittels der auf das Rotorblatt wirkenden Fliehkkräfte verdreht wird. Somit kann die Größe des Blattwinkels in Abhängigkeit der Größe der Fliehkraft verändert werden. Das erfindungsgemäße Verfahren offeriert im Wesentlichen die gleichen Vorteile, wie sie bereits weiter oben im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Drehflügelflugzeug-Rotor dargelegt wurden.

**[0015]** Weitere bevorzugte Ausführungsmerkmale des erfindungsgemäßen Verfahrens sind Gegenstand des Unteranspruchs 11.

**[0016]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung mit zusätzlichen Ausgestaltungsdetails und

weiteren Vorteilen sind nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben und erläutert.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0017]** Es zeigt:

**[0018]** Fig. 1 eine schematische, stark vereinfachte Perspektivansicht eines wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen Drehflügelflugzeug-Rotors gemäß einer ersten Ausführungsform;

**[0019]** Fig. 2 eine schematisch, stark vereinfachte Seitenansicht des Drehflügelflugzeug-Rotors von Fig. 1;

**[0020]** Fig. 3 eine schematische Seitenansicht des Rotors von Fig. 1 in einem ersten Betriebszustand, zu Erläuterung des erfindungsgemäßen Funktionsprinzips;

**[0021]** Fig. 4 eine schematische Seitenansicht des Rotors von Fig. 1 in einem zweiten Betriebszustand, zu Erläuterung des erfindungsgemäßen Funktionsprinzips;

**[0022]** Fig. 5 eine schematische, stark vereinfachte Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Drehflügelflugzeug-Rotors gemäß einer zweiten Ausführungsform;

**[0023]** Fig. 6 eine schematische, stark vereinfachte Perspektivenansicht eines wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen Drehflügelflugzeug-Rotors gemäß einer dritten Ausführungsform; und

**[0024]** Fig. 7 eine schematische, stark vereinfachte Perspektivansicht eines wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer vierten Ausführungsform.

#### DARSTELLUNG VON BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

**[0025]** Fig. 1 zeigt eine schematische, stark vereinfachte Perspektivansicht eines wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen lagerlosen Rotors gemäß einer ersten Ausführungsform. Der Rotor umfasst einen Rotormast (nicht gezeigt), einen Rotorkopf (nicht gezeigt), mehrere gleichartig ausgestaltete Rotorblätter 2 und pro Rotorblatt 2 jeweils einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss 4 mit einer integralen, lagerlosen, fliehkraftgesteuerten Blattwinkelverstelleinrichtung. Zumindest der Rotorblattanschluss 4 ist weitestgehend aus Faserverbundwerkstoff hergestellt. Der Rotorblattanschluss 4 ist in dieser Ausführungsform Bestandteil des Rotorblattes 2 selbst. Die integrale, lagerlose, fliehkraftgesteuerte Blattwinkelverstelleinrichtung besitzt zwei (oder auch

mehrere) Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8, die im Rotorbetrieb fliehkraftbeaufschlagt sind und die auf das drehende Rotorblatt 2 wirkenden Fliehkräfte  $F_c$  abtragen.

**[0026]** Die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 sind als integraler Bestandteil des Rotorblattes 2 ausgestaltet. Ein jeweiliger Rotorblatt-Anschlussarm 6, 8 kann grundsätzlich einen oder mehrere Armstränge aufweisen, die nebeneinander und/oder übereinander angeordnet sind und sich auch gabeln können. Im vorliegenden Fall sind die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 als platten- oder streifenförmige, biege- und torsionsweiche Strukturelemente mit einer flachen, rechteckigen Querschnittsform ausgebildet. Die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 bzw. ihre Armstränge können grundsätzlich jedoch auch andere geeignete Formen bzw. Querschnittsformen annehmen, so z. B. eine quadratische oder runde Querschnittsform.

**[0027]** Die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 verlaufen ausgehend von einem gemeinsamen Fußbereich 10, der in einen Rotorblatthals 12 mündet, seitlich voneinander beabstandet (d. h. bezogen auf den Rotorkreis in tangentialer Richtung voneinander beabstandet) nebeneinander her. Sie besitzen jeweils mindestens einen gegenüber dem jeweils anderen Rotorblatt-Anschlussarm gegensinnig abgestuften oder abgewinkelten Armabschnitt 6a, 8a. Beide Armabschnitte 6a, 8a sind bezogen auf die Rotorachse A in axialer Richtung gegeneinander versetzt, d. h. hier, sie sind gegensinnig nach unten und oben abgestuft oder abgewinkelt. Der plattenförmige, breite Fußbereich 10 ist ebenfalls biege- und torsionsweich ausgestaltet und besitzt bei Betrachtung in einer Draufsicht eine trapezartige, sich zum Rotorblatthals 12 hin verjüngende Gestalt. Der Fußbereich 10 ist schwenksteif und schlagweich ausgebildet. In Zusammenwirkung mit den Rotorblatt-Anschlussarmen 6, 8 bildet der Fußbereich 10 somit eine schlagweiche, aber schwenksteife Rotorblattanbindung, was besonders für Kipprotoren von Vorteil ist.

**[0028]** Wie in der Fig. 1 durch das Bezugszeichen T angedeutet, können die das Schlag- und/oder Schwenkgelenk bildenden Bereiche bzw. die torsionsweiche Bereiche des Rotorblattanschlusses 4 bei Bedarf auch vom sog. homogenen Rotorblatt durch eine Trennstelle (z. B. ein Bolzenanschluss) trennbar ausgestaltet werden.

**[0029]** Aus der Fig. 1 ist ferner ersichtlich, dass die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 zusammen eine Art Blattanschlussgabel bilden, wobei sich die Arme 6, 8 vorzugsweise links und recht neben der Rotorachse A oder einem Rotormast her erstrecken. Die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 sind rotorkopfseitig drehfest (und ggf., aber nicht zwingender Weise gelenkig) mit einem Drehmomentenübertragungselement (z. B. einem Rotorstern oder einer Rotorkopfplatte oder der-

gleichen) verbunden, welches wiederum drehfest am Rotormast (nicht gezeigt) fixiert ist. In der **Fig. 1** sind die rotorkopfseitigen Anschlusspunkte PH6, PH8 der Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** der Einfachheit halber nur schematisch an einem schraffierten Bereich angezeichnet. Wie aus der Zeichnung erkennbar, sind die rotorkopfseitigen Anschlusspunkte PH6, PH8 in Axialrichtung A des Rotors voneinander beabstandet. Die rotorblattseitigen, in den Fußbereich **10** mündenden Anschlusspunkte PB6, PB8 hingegen liegen in diesem Beispiel einer gemeinsamen Ebene.

**[0030]** Die Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** mehrerer Rotorblätter **2** können auch untereinander an einer oder mehreren Stellen verbunden sein (integral oder durch separate Verbindungselemente) und sich hierbei überkreuzen bzw. überlappen. Mehrere solcher in Längsrichtung des Rotorblattes **2** voneinander beabstandete Verbindungsstellen können ein virtuelles Schlag-Hilfsgelenk bilden. Auf diese Weise ist es möglich, dass die Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** eines Rotorblattes **2** die Fliehkräfte  $F_c$  oder Fliehkraftanteile eines gegenüberliegenden Rotorblattes **2** aufnehmen. Die Rotorkopfbindung der Rotorblätter **2** ist damit faktisch fliehkraftfrei und überträgt lediglich Drehmomente.

**[0031]** **Fig. 2** stellt eine schematische, stark vereinfachte Seitenansicht des Rotors von **Fig. 1** dar. In dieser Ansicht ist die Abstufung bzw. Abwinkelung der Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** besonders deutlich erkennbar. Die Abstufung bzw. Abwinkelung an den Armabschnitten **6a, 8a** erfolgt über einen schräg verlaufenden Anschlussarmbereich, der hier einen relativ flachen, spitzen Winkel gegenüber dem Vektor der Fliehkraft  $F_c$  und damit der Fliehkraftrichtung einnimmt. Vom Prinzip her kann der Winkel jedoch auch größer sein und sogar Werte von  $90^\circ$  oder mehr annehmen. In der Praxis sind indes die genannten flachen Winkel zu bevorzugen. Es ist in der Zeichnung zu sehen, dass bei den gezeigten Rotorblatt-Anschlussarmen **6, 8** der jeweilige Flächenschwerpunkt bzw. die neutrale Faser eines rotorkopfseitigen Anschlussarmquerschnitts gegenüber dem jeweiligen Flächenschwerpunkt bzw. der neutralen Faser eines rotorblattseitigen Anschlussarmquerschnitts und einer im Betrieb des Rotors durch diesen rotorblattseitigen Flächenschwerpunkt verlaufenden Vektor der Fliehkräfte  $F_c$  bzw. der Fliehkraftrichtung nach unten bzw. oben versetzt ist.

**[0032]** Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass sich ein gegenseitiger Versatz der neutralen Fasern selbst bei geradlinigen und sogar in einer gemeinsamen Ebene verlaufenden Anschlussarmen (oder bei einem nur einen einzigen Strang aufweisenden Rotorblatt-Anschlussarm; vgl. **Fig. 7**) zum Beispiel dadurch erzielen lässt, dass der jeweilige Anschlussarm beispielsweise einen inhomogenen Verstärkungsfak-

serlagenaufbau und/oder Bereiche mit unterschiedlichen Steifigkeiten besitzt.

**[0033]** Bei dem erfindungsgemäßen Rotor kann jedes Rotorblatt **2** für die zyklische und kollektive Blattverstellung z. B. eine Steuertüte (nicht gezeigt) besitzen, die beispielsweise im Bereich der integralen, lagerlosen, fliehkraftgesteuerten Blattwinkelverstellrichtung am Rotorblattthals **12** angreift. Andere für diesen Zweck geeignete Steuerelemente sind ebenfalls möglich.

**[0034]** Es wird nun die Funktionsweise des erfindungsgemäßen Rotors und das erfindungsgemäße Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines jeweiligen Rotorblattes **2** beschrieben werden.

**[0035]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Blattwinkelverstellung des Rotorblattes **2** beruht nun darauf, dass das Rotorblatt **2** lagerlos in Drehung versetzt wird und sich der Blattwinkel  $W$  durch Verdrehen des rotorkopfseitigen Rotorblattanschlusses **4; 6, 8** und damit des Rotorblattes **2** um seine Längsachse mittels der auf das Rotorblatt **2** wirkenden Fliehkräfte  $F_c$  automatisch verstellt. Hierbei wird die Größe des Blattwinkels  $W$  in Abhängigkeit der Größe der Fliehkräfte  $F_c$  verändert. Das Verdrehen erfolgt durch gegensinniges, reversibles elastisches Verformen der zwei gegensinnig abgestuften oder abgewinkelten Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** mittels der auf das Rotorblatt **2** wirkenden Fliehkräfte  $F_c$ . Dieses Verformen wird dadurch erreicht, dass mittels der auf das Rotorblatt **2** wirkenden Fliehkräfte  $F_c$  zwei gegensinnige Biegemomente  $M_1, M_2$  (siehe unten sowie **Fig. 4**) in den beiden Rotorblatt-Anschlussarmen **6, 8** erzeugt werden. Diese zwei gegensinnigen Biegemomente  $M_1, M_2$  wiederum induzieren ein Drehmoment um die Rotorblattlängsachse, so dass eine Blattwinkelverstellung erfolgt.

**[0036]** Betrachtet man **Fig. 1** bis **Fig. 4**, so wird das zuvor erwähnte Prinzip noch deutlicher werden. **Fig. 3** zeigt eine schematische Seitenansicht des Rotors von **Fig. 1** in einem ersten Betriebszustand, in dem der Rotor stillsteht, und **Fig. 4** einen zweiten Betriebszustand, in dem sich der Rotor dreht. In den **Fig. 3** und **Fig. 4** ist mit einer durchgehenden Linie der Anschlussarm **6** gezeigt und mit einer gestrichelten Linie der andere Anschlussarm **8** angedeutet. Die in den **Fig. 3** und **Fig. 4** skizzierten Lagerstellen L1, L2 können in der Praxis beispielsweise durch zwei oder mehrere in Längsrichtung des Rotorblattes **2** voneinander beabstandeten Befestigungsstellen des jeweiligen Anschlussarms **6, 8** gebildet werden. Eine feste Einspannung der Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** ist ebenfalls realisierbar.

**[0037]** Bei einem Stillstand des Rotors (**Fig. 3**) wirken keine Fliehkräfte auf das Rotorblatt **2** und die Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** ( $F_c = 0$ ). Ist der Rotor hin-

gegen in Drehung versetzt (**Fig. 4**), sind das Rotorblatt **2** und die Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** Fliehkräften ausgesetzt ( $F_c \gg 0$ ). Die Größe der Fliehkräfte  $F_c$  ist u. a. von der Rotordrehzahl abhängig. Die Fliehkräfte  $F_c$  werden in die Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** eingeleitet, wobei jeder Arm einen bestimmten Fliehkraftanteil  $F_{c1}$ ,  $F_{c2}$  aufnimmt. Der durch die Fliehkräfte bzw. Fliehkraftanteile bewirkte Kraftfluss verläuft ausgehend von einer Fliehkrafteinleitungsstelle an dem rotorblattseitigen Anschlusspunkt PB6, PB8 bis zu dem rotorkopfseitigen Anschlusspunkt PH6, PH8.

**[0038]** Da die in den Rotorblatt-Anschlussarmen **6, 8** auftretenden Effekte im Wesentlichen gleich sind, wird für die nachfolgenden Erläuterungen der Einfachheit halber nur auf den Rotorblatt-Anschlussarm **6** Bezug genommen, sofern keine weiteren Ergänzungen erforderlich sind.

**[0039]** Da die Flächenschwerpunkte bzw. neutralen Fasern der jeweiligen Anschlussarmquerschnitte über die Länge des Rotorblatt-Anschlussarms **6** ausgehend von der Fliehkrafteinleitungsstelle nicht geradlinig verlaufen (siehe insb. **Fig. 2**), ist auch der Kraftfluss bezogen auf die Fliehkraftrichtung bzw. den Vektor des Fliehkraftanteils  $F_{c1}$  nicht geradlinig, sondern folgt dem abgewinkelten bzw. abgestuften Verlauf des Rotorblatt-Anschlussarms **6**. Folglich wird an dem abgestuften bzw. abgewinkelten Zwischenabschnitt des Rotorblatt-Anschlussarms ein Biegemoment  $M_1$  erzeugt (siehe **Fig. 4**). Das Moment  $M_1$  hat dabei die Größe  $M_1 = F_{c1} \cdot h_1$ , wobei  $F_{c1}$  der auf den Rotorblatt-Anschlussarm wirkende Fliehkraftanteil von  $F_c$  und  $h_1$  der senkrechte Abstand (Hebelarm) zwischen dem durch den Flächenschwerpunkt der rotorblattseitigen Fliehkrafteinleitungsstelle verlaufenden Vektor des Fliehkraftanteils  $F_{c1}$  und dem Flächenschwerpunkt des rotorkopfseitigen Endes des abgestuften bzw. abgewinkelten Anschlussarm-Zwischenbereichs (bzw. je nach Ausgestaltungsform auch dem Flächenschwerpunkt des rotorkopfseitigen Anschlusspunkt des Rotorblatt-Anschlussarms) ist.

**[0040]** Durch das Moment  $M_1$  tritt eine reversible elastische Verformung, d. h. hier eine Biegung des Rotorblatt-Anschlussarms **6** sowie ggf. der daran angrenzenden Strukturen auf. Im Prinzip versuchen die Fliehkräfte  $F_c$  (hier der Fliehkraftanteil  $F_{c1}$ ) also den Rotorblattanschluss (hier: den Rotorblatt-Anschlussarm **6**) so zu verformen, dass der Flächenschwerpunktverlauf eine gerade Linie mit dem Vektor der Fliehkräfte  $F_c$  (hier: dem Fliehkraftanteil  $F_{c1}$ ) bildet, d. h. mit dem Vektor fluchtet. Ausgehend von dem in **Fig. 3** gezeigten Betriebszustand erfährt der rotorblattseitige Anschlusspunkt PB6 bei Drehung des Rotors somit unter Fliehkrafteinwirkung eine Durchsenkung  $dS_1$  (**Fig. 4**).

**[0041]** Die Wirkung an dem anderen Rotorblatt-Anschlussarm **8** sind, wie gesagt, analog, wobei infolge des Fliehkraftanteils  $F_{c2}$  jedoch ein gegensinniges Biegemoment  $M_2$  und anstelle der Durchsenkung  $dS_1$  eine Anhebung  $dS_2$  erfolgt (**Fig. 4**). Die beschriebenen Verformungen treten in diesem Ausführungsbeispiel also an beiden Rotorblatt-Anschlussarmen **6, 8** auf. Da die Verformungsrichtungen hierbei gegensinnig sind und somit ein Kräftepaar  $F_1, F_2$  entsteht (vgl. **Fig. 1**), wird ein Drehmoment um die Rotorblattlängsachse induziert, die Anschlussarme **6, 8** (sowie ggf. der Fußbereich **10** und Teile des Rotorblattthales **12**) tordieren, und das Rotorblatt **2** wird lagerlos um seine Längsachse gedreht.

**[0042]** Daraus resultiert folglich eine Verstellung des Blattwinkels  $W$  (vgl. **Fig. 1**). Es ist ersichtlich, dass bei einem gegebenen Rotorblatt **2** die auftretenden Fliehkräfte  $F_c$ , die Verformungen an dem Rotorblattanschluss **4; 6, 8** und die Durchsenkung  $dS_1$  und Anhebung  $dS_2$  direkt von der Drehzahl des Rotors abhängen und der Blattwinkel  $W$  automatisch in Abhängigkeit der Drehzahl verändert wird. Die Größe der Blattwinkeländerung bei einem gegebenen Rotordrehzahlbereich ist neben den zuvor genannten Parametern konstruktiv insbesondere durch den gegenseitigen Abstand der Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8**, den Abständen bzw. Hebelarmen  $h_1, h_2$  und den Biege- und Torsionseigenschaften der Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** bzw. deren Material wählbar.

**[0043]** Es sei an dieser Steile ausdrücklich angemerkt, dass das zuvor erläuterte erfindungsgemäße Prinzip auch dann funktioniert, wenn lediglich einer der beiden Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** abgestuft oder abgewinkelt ist und der andere Rotorblatt-Anschlussarm z. B. geradlinig ausgebildet ist und der Vektor des diesem geradlinigen Arm zugeordneten Fliehkraftanteils durch die Armquerschnitts-Flächenschwerpunkte verläuft.

**[0044]** Eine solche Konstellation ist in der **Fig. 5** dargestellt, die analog zu der Zeichnung nach **Fig. 2** eine schematische, stark vereinfachte Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer zweiten Ausführungsform zeigt. Deutlich ist hinter dem ersten, nach unten abgewinkelten bzw. abgestuften Rotorblatt-Anschlussarm **6** der zweite, geradlinige Rotorblatt-Anschlussarm **8** erkennbar. Bei dieser Variante erfolgt eine fliehkraftbedingte Biegung und Verformung und damit Durchsenkung lediglich an dem Rotorblatt-Anschlussarm **6**. An dem anderen Rotorblatt-Anschlussarm **8** findet fliehkraftbedingt keine solche Biegung und Verformung statt. Infolge der Durchsenkung an dem Rotorblatt-Anschlussarm **6** (vgl. **Fig. 4**) tritt jedoch eine Reaktionskraft an dem anderen geradlinigen Rotorblatt-Anschlussarm **8** auf. Ähnlich wie in **Fig. 1** dargestellt, resultiert daraus wieder ein Kräftepaar  $F_1, F_2$ , welches den Rotorblattanschluss verdreht und die Blattwinkelverstel-

lung bewirkt. Bei gleichem Abstand bzw. Hebelarm  $h_1$  und gleichen Abmessungen und Materialeigenschaften der Blattanschlusselemente wird bei der Ausführungsform nach **Fig. 5** die Größe des verstellten Blattwinkels  $W$  kleiner als bei der Ausführungsform nach den **Fig. 1** und **Fig. 4** sein.

**[0045]** **Fig. 6** zeigt eine schematische, stark vereinfachte Perspektivansicht eines wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer dritten Ausführungsform. Bei dieser Variante sind die Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** bezogen auf die Rotorachse  $A$  übereinander angeordnet und verlaufen in einem axialen Abstand zueinander. Die Rotorblatt-Anschlussarme **6, 8** bzw. deren Armabschnitte sind im Wesentlichen in einer zur Rotorkreisebene parallelen Ebene (oder in einem vorzugsweise relativ geringen, spitzen Winkel dazu) gegensinnig nach links und rechts (hier: in tangentialer Richtung) abgestuft oder abgewinkelt.

**[0046]** Die Ausführungsform nach **Fig. 5** ist nicht so flach gebaut wie die der **Fig. 1** bis **Fig. 4**, jedoch kann sie schwenkweicher als diese ausgeführt werden, was für bestimmte Einsatzzwecke ebenfalls vorteilhaft ist.

**[0047]** **Fig. 7** stellt eine schematische, stark vereinfachte Perspektivansicht eines wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer vierten Ausführungsform dar. Die Blickrichtung verläuft ausgehend vom Rotorkopf (nicht gezeigt) zur Rotorblattspitze (nicht gezeigt) hin. Diese Variante besitzt pro Rotorblatt **2** lediglich einen einzigen Rotorblatt-Anschlussarm **14**, der in diesem Fall streifenförmig ausgebildet ist und einen abgestuften oder abgewinkelten Armabschnitt **14a** mit zwei schräg verlaufenden Abwinkelungsachsen  $X_1, X_2$  aufweist. Aufgrund dieser Abstufung bzw. Abwinkelung wird zwischen einem rotorkopfseitigen Anschlusspunkt des Rotorblatt-Anschlussarms **14** und einem Vektor einer auf das Rotorblatt **2** wirkend Fliehkraft  $F_c$  mindestens ein Hebelarm gebildet, mit dem der Rotorblatt-Anschlussarm **14** unter Einwirkung der Fliehkraft  $F_c$  verdreht und somit eine Verstellung des Blattwinkels  $W$  bewirkt wird. Genauer gesagt, sind hier zwei Hebelarme  $h_1$  und  $h_2$  vorhanden:  $h_1$  in axialer Richtung des Rotors und  $h_2$  bezogen auf den Rotorkreis in tangentialer Richtung. Bei dem Rotor nach **Fig. 7** wird der Blattwinkel  $W$  bei einer Erhöhung der Drehzahl verkleinert.

**[0048]** Zwei Anschlussarme **14** können z. B. auch in einer der **Fig. 1** ähnelnden Konfiguration nebeneinander und bevorzugt geringfügig in Axialrichtung des Rotors gegeneinander versetzt angeordnet werden. Im Rotorbetrieb resultieren daraus an den jeweiligen abgewinkelten bzw. abgestuften Armabschnitten **14a** keine gegensinnigen, sondern gleichsinnigen Biegemomente, die dennoch eine fliehkraftbedingte Ver-

drehung des Rotorblattes um die Rotorblattlängsachse und damit eine Verstellung des Blattwinkels bewirken.

**[0049]** Der erfindungsgemäße Rotor wird bei einem Drehflügelflugzeug, wie zum Beispiel ein Hubschrauber oder Kipprotorhubschrauber, eingesetzt.

**[0050]** Die Rotorblatt-Anschlussarme können auch seitlich versetzt übereinander verlaufen oder sich überkreuzen, und die Abwinkelungen oder Abstufungen ihrer Armabschnitte können in anderen Richtungen als der beschriebenen axialen oder tangentialen Richtung erfolgen. Hierbei müssen die Abwinkelungen oder Abstufungen nicht nur in einer Ebene verlaufen, sie sind, wie z. B. in **Fig. 7**, auch räumlich ausführbar. Überdies können die Rotorblatt-Anschlussarme als integraler Bestandteil eines Rotorkopfelementes, z. B. einer Rotorkopfplatte, ausgebildet sein, an dem ein oder mehrere Rotorblätter anschließbar sind.

**[0051]** Überdies ist es möglich, die Anschlussarme oder einen einzelnen Anschlussarm in sich verdreht oder mehrere Anschlussarme miteinander verdrillt auszubilden. Im Sinne der Erfindung können mindestens zwei Anschlussarme z. B. in Form von fliehkraftabtragenden Zugsträngen auch als integraler Bestandteil eines einzelnen Blattanschlusselementes ausgebildet sein, welches die Anschlussarme teilweise oder im Wesentlichen vollständig umschließt bzw. verkleidet. Mehrere Anschlussarme sind auch mit einem sehr geringen Abstand neben- und/oder übereinander anzuordnen. Des Weiteren kann ein Bereich zwischen den Anschlussarmen mit einer weichen, elastischen Zwischenfüllung, z. B. einem elastischen Schaumstoff oder dergleichen, ausgestattet sein, der die Verformung der Anschlussarme nicht behindert und zusätzlich auch Verkleidungs-, Stütz- oder Aussteifungsfunktionen übernehmen kann. Bei den obigen Ausführungsformen kann zudem auch der Rotorblattthals torsionsweich und/oder biegeweich ausgestaltet werden. Erfindungsgemäß sind auch Mischformen aus den erläuterten Ausführungsformen denkbar.

**[0052]** Die gezeigten Bauteile und insbesondere die Abwinkelungen oder Abstufungen der Rotorblatt-Anschlussarme müssen in der Praxis ergo nicht so eckig und kantig wie in den Figuren dargestellt ausgestaltet sein, sondern besitzen in der Regel entsprechend weichere, werkstoffgerechte Übergänge und Bauteilverläufe.

## Bezugszeichenliste

|            |  |
|------------|--|
| <b>2</b>   | Rotorblatt                                     |
| <b>4</b>   | Rotorblattanschluss                            |
| <b>6</b>   | Rotorblatt-Anschlussarm                        |
| <b>6a</b>  | Abgestufter oder abgewinkelter Armabschnitt    |
| <b>8</b>   | Rotorblatt-Anschlussarm                        |
| <b>8a</b>  | Abgestufter oder abgewinkelter Armabschnitt    |
| <b>10</b>  | Fussbereich                                    |
| <b>12</b>  | Rotorblatthals                                 |
| <b>14a</b> | Abgestufter oder abgewinkelter Armabschnitt    |
| <b>dS1</b> | Durchsenkung                                   |
| <b>sD2</b> | Anhebung                                       |
| <b>h1</b>  | Hebelarm/Abstand                               |
| <b>h2</b>  | Hebelarm/Abstand                               |
| <b>F1</b>  | Kraft  |
| <b>F2</b>  | Kraft  |
| <b>Fc</b>  | Fliehkraft/Fliehkraftrichtung                  |
| <b>M1</b>  | Biegemoment                                    |
| <b>M2</b>  | Biegemoment                                    |
| <b>L1</b>  | Lagerstelle                                    |
| <b>L2</b>  | Lagerstelle                                    |
| <b>PB6</b> | Rotorblattseitiger Anschlusspunkt von <b>6</b> |
| <b>PB8</b> | Rotorblattseitiger Anschlusspunkt von <b>8</b> |
| <b>PH6</b> | Rotorkopfseitiger Anschlusspunkt von <b>6</b>  |
| <b>PH8</b> | Rotorkopfseitiger Anschlusspunkt von <b>8</b>  |
| <b>T</b>   | Trennstelle                                    |
| <b>W</b>   | Blattwinkel                                    |
| <b>X1</b>  | Abwinkelungsachse                              |
| <b>X2</b>  | Abwinkelungsachse                              |

## Patentansprüche

1. Rotor für ein Drehflügelflugzeug, umfassend

- einen Rotorkopf
- mindestens ein Rotorblatt (**2**) mit einem rotorkopfseitigen Rotoranschlussbereich (**4**), wobei der rotorkopfseitige Rotoranschlussbereich (**4**) einen ein Schlag- und/oder Schwenkgelenk bildenden Bereich umfasst und eine integrale, lagerlose, fliehkraftgesteuerte Blattwinkelverstelleinrichtung aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die integrale, lagerlose, fliehkraftgesteuerte Blattwinkelverstelleinrichtung mindestens einen im Rotorbetrieb fliehkraftbeaufschlagten Rotorblatt-Anschlussarm (**6; 8; 14**) besitzt, der mindestens einen abgestuften oder abgewinkelten Armabschnitt (**6a; 8a; 14a**) aufweist, welcher zwischen einem rotorkopfseitigen Anschlusspunkt des Rotorblatt-Anschlussarms (**6; 8; 14**) und
- einem Vektor einer auf das Rotorblatt (**2**) wirkend Fliehkraft ( $F_c$ ), oder
- einem Vektor eines auf den mindestens einen Rotorblatt-Anschlussarm (**6; 8; 14**) wirkenden Fliehkraftanteils ( $F_{c1}$ ,  $F_{c2}$ ) mindestens einen Hebelarm ( $h_1$ ,  $h_2$ ) bildet, mit dem der Rotorblatt-Anschlussarm (**14**) und das Rotor-

blatt (**2**) unter Einwirkung der Fliehkraft ( $F_c$ ) verdrehbar sind, wobei von jedem Rotorblatt-Anschlussarm (**6; 8; 14**) der Flächenschwerpunkt oder die neutrale Faser eines rotorkopfseitigen Anschlussarmquerschnitts gegenüber dem Flächenschwerpunkt oder der neutralen Faser eines rotorblattseitigen Anschlussarmquerschnitts und einer im Betrieb des Rotors durch diesen rotorblattseitigen Flächenschwerpunkt verlaufenden Fliehkraftrichtung ( $F_c$ ) versetzt ist.

2. Rotor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die integrale, lagerlose, fliehkraftgesteuerte Blattwinkelverstelleinrichtung mindestens zwei im Rotorbetrieb fliehkraftbeaufschlagte Rotorblatt-Anschlussarme (**6, 8**) besitzt, die ausgehend von einem gemeinsamen Fußbereich (**10**), der in einen Rotorblatthals (**12**) mündet, in einem Abstand zueinander verlaufen und von denen mindestens einer (**6; 8**) einen Armabschnitt (**6a; 8a**) besitzt, der abgestuft oder abgewinkelt ist.

3. Rotor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei Rotorblatt-Anschlussarme (**6, 8**) gegensinnig abgestufte oder abgewinkelte Armabschnitte (**6a, 8a**) besitzen.

4. Rotor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei Rotorblatt-Anschlussarme (**6, 8**) bezogen auf den Rotorkreis in tangentialer Richtung seitlich voneinander beabstandet nebeneinander verlaufen und ihre Armabschnitte (**6a, 8a**) bezogen auf die Rotorachse (A) in axialer Richtung gegeneinander versetzt sind.

5. Rotor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei Rotorblatt-Anschlussarme (**6, 8**) bezogen auf die Rotorachse (A) in einem Abstand zueinander übereinander angeordnet sind und verlaufen und ihre Armabschnitte (**6a, 8a**) in einer zur Rotorkreisebene parallelen Ebene oder in einem spitzen Winkel dazu gegensinnig nach links und rechts abgestuft oder abgewinkelt sind.

6. Rotor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei Rotorblatt-Anschlussarme (**6, 8**) rotorkopfseitige Anschlusspunkte (PH6, PH8) besitzen, die in Axialrichtung (A) des Rotors voneinander beabstandet sind.

7. Rotor nach einem der vorher genannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Rotorblatt-Anschlussarm (**6; 8; 14**) Bestandteil des Rotorblattes ist.

8. Rotor nach einem der vorher genannten Ansprüche 1–6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Rotorblatt-Anschlussarm (**6; 8; 14**) Bestandteil eines Rotorkopfelementes ist, an dem das mindestens eine Rotorblatt (**2**) anschließbar ist.

9. Rotor nach einem der vorher genannten Ansprüche 2–6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Fußbereich (10) schwenksteif und schlagweich ausgebildet ist.

10. Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Rotorblattes (2) eines Rotors eines Drehflügelflugzeugs, der einen Rotorkopf und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss (4; 6; 8; 14) besitzt, umfassend folgende Schritte:

– Rotieren des Rotors, und  
– automatisches Verstellen des Blattwinkels (W) durch Verdrehen des rotorkopfseitigen Rotorblattanschlusses (4; 6; 8; 14) und damit des Rotorblattes (2) um seine Längsachse mittels auf das Rotorblatt (2) wirkender Fliehkräfte ( $F_c$ ), wobei der rotorkopfseitige Rotorblattanschluss durch reversibles elastisches Verformen von mindestens einem Rotorblatt-Anschlussarm (6; 8; 14) mittels der auf das Rotorblatt (2) wirkenden Fliehkräfte ( $F_c$ ) verdreht wird, und das reversible elastische Verformen des mindestens einen Rotorblatt-Anschlussarms (6; 8; 14) durch Erzeugen von mindestens einem Biegemoment ( $M_1$ ,  $M_2$ ) in diesem Rotorblatt-Anschlussarm (6; 8; 14) mittels der auf das Rotorblatt (2) wirkenden Fliehkräfte ( $F_c$ ) erfolgt, wobei das Biegemoment ( $M_1$ ,  $M_2$ ) ein Drehmoment ( $F_1$ – $F_2$ ) um die Rotorblattlängsachse induziert, **dadurch gekennzeichnet**, dass der rotorkopfseitige Rotorblattanschluss durch gegensinniges, reversibles elastisches Verformen von mindestens zwei gleich- oder gegensinnig abgestuften oder abgewinkelten Rotorblatt-Anschlussarmen (6, 8) mittels der auf das Rotorblatt (2) wirkenden Fliehkräfte ( $F_c$ ) verdreht wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das reversible elastische Verformen der mindestens zwei gleich- oder gegensinnig abgestuften oder abgewinkelten Rotorblatt-Anschlussarme (6, 8) durch Erzeugen von zwei gleich- oder gegensinnigen Biegemomenten ( $M_1$ ,  $M_2$ ) in den beiden Rotorblatt-Anschlussarmen (6, 8) mittels der auf das Rotorblatt (2) wirkenden Fliehkräfte ( $F_c$ ) erfolgt, wobei die gleich- oder gegensinnigen Biegemomente ( $M_1$ ,  $M_2$ ) ein Drehmoment um die Rotorblattlängsachse induzieren.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Fig. 1

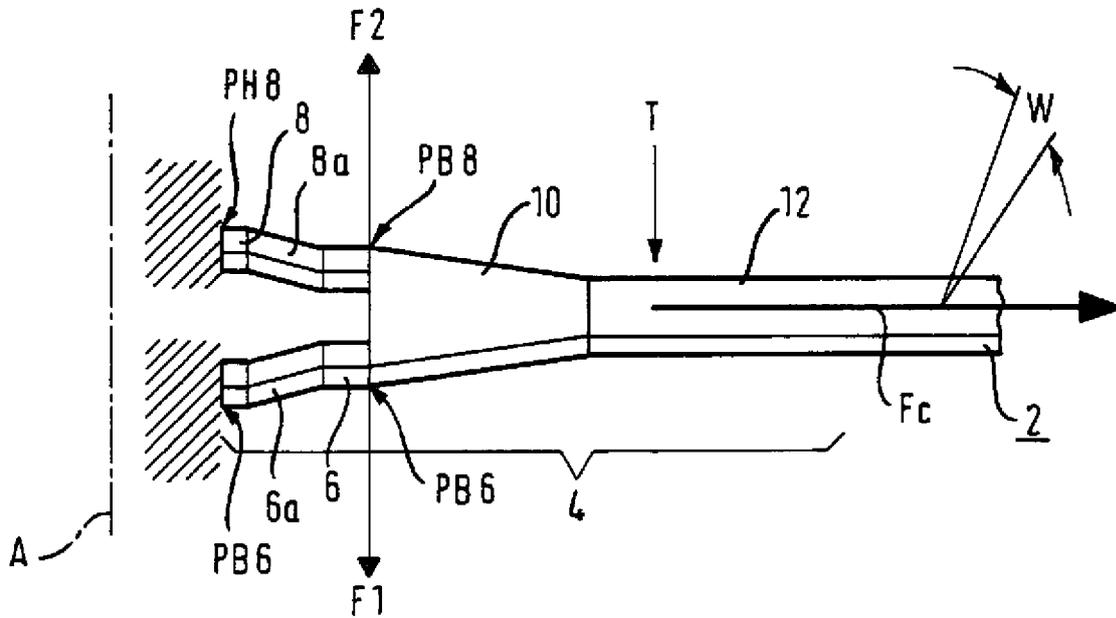
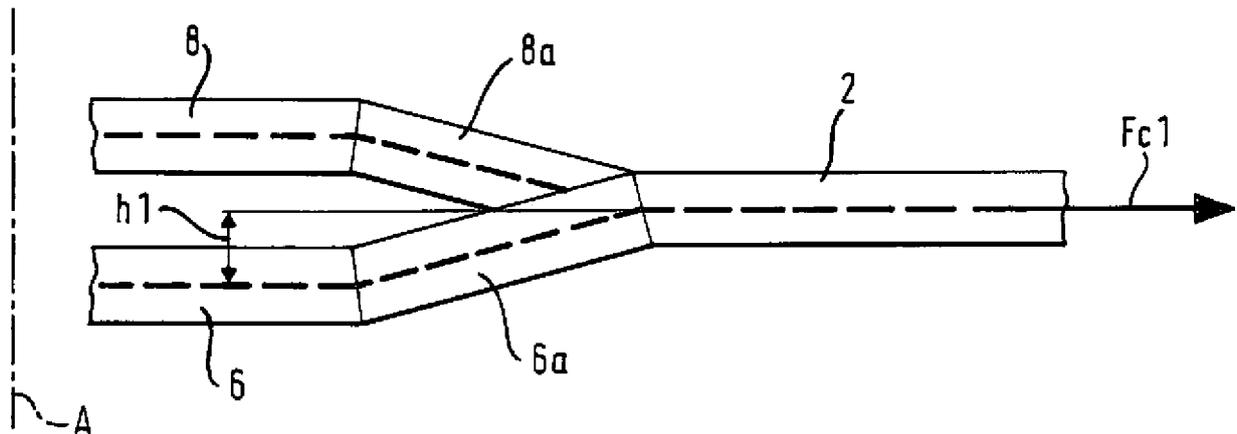


Fig. 2



----- Verlauf des Flächenschwerpunktes  
bzw. der neutralen Faser

Fig. 3

$$F_c = 0$$

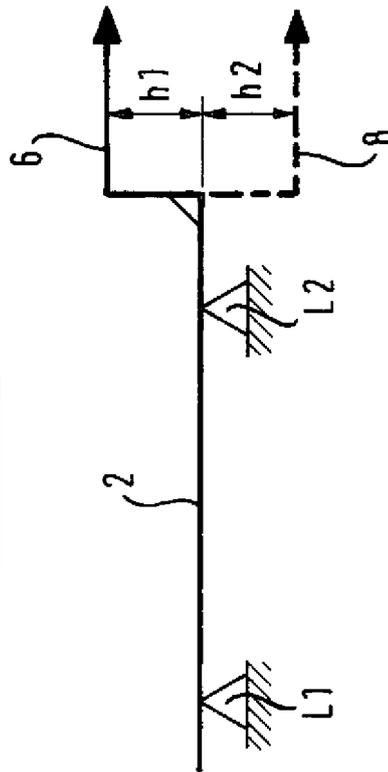


Fig. 4

$$F_c \gg 0$$

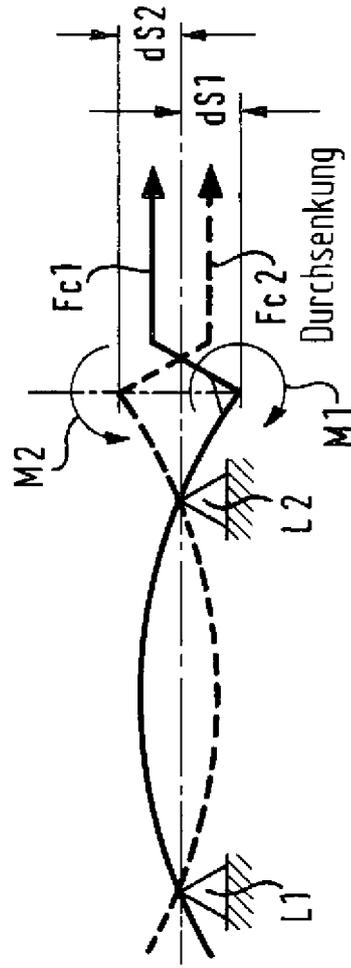


Fig. 5

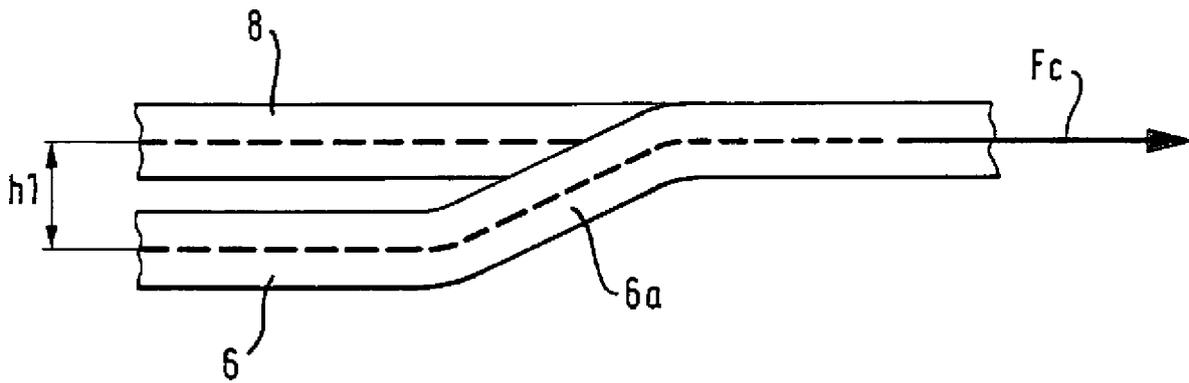


Fig. 6

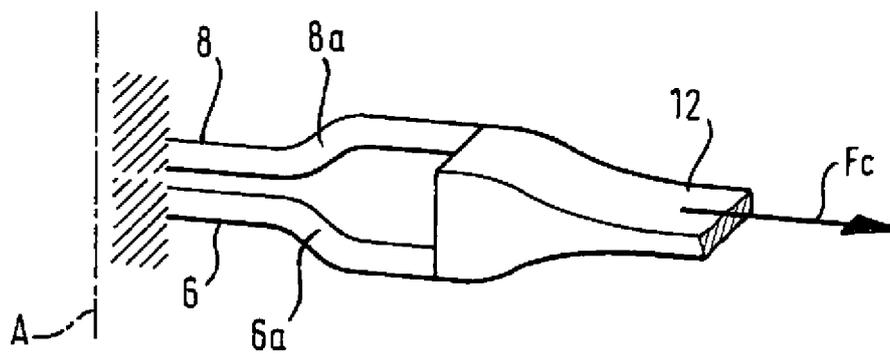


Fig. 7

