



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

②1 Gesuchsnummer: 263/81

⑦3 Inhaber:
United Technologies Corporation, Hartford/CT
(US)

②2 Anmeldungsdatum: 16.01.1981

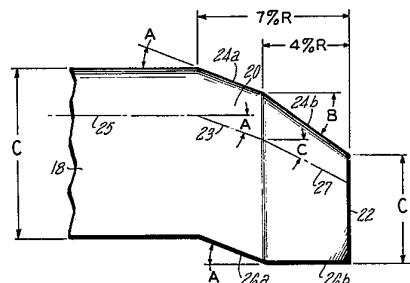
⑦2 Erfinder:
Fradenburgh, Evan Albern, Fairfield/CT (US)
Jepson, William Donald, Huntington/CT (US)
Moffit, Robert Carlisle, Seymour/CT (US)

②4 Patent erteilt: 13.12.1985

⑦4 Vertreter:
Hug Interlizen AG, Birmensdorf ZH

⑤4 Hubschrauberrotorblatt.

⑤7 Beschrieben ist ein Hubschrauberrotorblatt (14) mit starker Verdrehung, das eine verbesserte Blattspitze (22) hat, bei welcher eine Kombination aus Pfeilung, Verjüngung und Abwinkelung nach unten zum Verbessern der Schwebeflugleistungsfähigkeit durch Entlasten der Blattspitze und Verringern der Stärke des Blattspitzenwirbels und Wegverlagern dieses Blattspitzenwirbels von der Fläche des folgenden Rotorblattes benutzt wird.



PATENTANSPRÜCHE

1. An einer Nabe montiertes Hubschrauberrotorblatt mit starker Blattverdrehung, mit einer Vorderkante (24), einer Hinterkante (26), einer Wurzel, einer Spitze (22), einer Sehnenabmessung (C), die sich zwischen den Kanten erstreckt,

einem Wurzelabschnitt (16) zur Verbindung mit einer Hubschrauberrotornabe (12) zur gemeinsamen Drehung mit dieser um eine Drehachse,

einem zentralen aerodynamisch geformten Teil (18), der mit dem Wurzelabschnitt verbunden ist und sich von diesem aus nach aussen erstreckt,

einem Blattspitzenteil (20), der mit dem zentralen Teil des Rotorblattes verbunden ist und sich von diesem aus nach aussen erstreckt, um einen Blattradius (R) zwischen der Drehachse und der Blattspitze (22) festzulegen,

dadurch gekennzeichnet, dass sich der Blattspitzenteil (20) über 7% des Blattradius erstreckt und nach hinten gepfeilt ist, um die Geschwindigkeit der Luft in der Richtung der lokalen Profilsehne der Blattspitze (22) zu verringern und dadurch die Blattspitzenbelastung und die Stärke des im Schwebeflug erzeugten Blattspitzenhinterkantenwirbels zu verringern,

dass der Spitzenteil (20) ausserdem so verjüngt ist, dass die Profilsehnenabmessung an seinem äusseren Ende ungefähr halb so gross ist wie die Profilsehnenabmessung an seinem inneren Ende, um den Blattspitzenteilquerschnitt zu verringern und dadurch weiter die Blattspitzenbelastung und die Stärke des im Schwebeflug erzeugten Blattspitzenhinterkantenwirbels zu verringern, und

dass der Spitzenteil (20) ausserdem auf den äusseren 4% des Blattradius (R) nach unten abgewinkelt ist, so dass im Schwebeflug der abgelöste Hinterkantenblattspitzenwirbel von dem folgenden Rotorblatt weggeleitet wird.

2. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Blattspitzenteil (20) auf den äusseren 4% des Blattradius (R) um einen Winkel von etwa 20° nach unten abgewinkelt ist.

3. Rotorblatt nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Blattspitzenteil (20) auf den äusseren 4% des Blattradius (R) 0° Verdrehung hat.

4. Rotorblatt nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass es eine äquivalente lineare Blattverdrehung von etwa -16° hat und ausreichend torsionssteif ist, so dass die aerodynamische Blattbelastung während des Schwebeflugbetriebes eine Torsionsbiegung des Rotorblattes bis zu einer äquivalenten linearen Blattverdrehung von etwa $-17 \pm 1^\circ$ bewirkt.

5. Rotorblatt nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Blattspitzenteilvorderkante (24a, 24b) zwischen der Stelle 93% Blattradius und der Stelle 96% Blattradius um etwa 20° und zwischen der Stelle 96% Blattradius und der Stelle 100% Blattradius um etwa 35° nach hinten gepfeilt ist und dass die Blatthinterkante (26a, 26b) zwischen der Stelle 93% Blattradius und der Stelle 96% Blattradius um etwa 20° nach hinten gepfeilt und zwischen der Stelle 96% Blattradius und der Stelle 100% Blattradius un gepfeilt ist.

6. Rotorblatt nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Blattspitzenprofilsehnenabmessung an der Blattspitze (22) gleich dem 0,6fachen der Sehnenabmessung (C) ist.

7. Rotorblatt nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke (t) des Blattspitzenteils (20) in Auswärtsrichtung abnimmt, so dass das Verhältnis der Blattspitzenteildicke zur Blattspitzenteilehne über der Spannweite des Blattspitzenteils konstant ist.

8. Rotorblatt nach einem der Ansprüche 1 bis 7, da

durch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Teil des Blattspitzenteils (20) eine Blattspitzenkappe (29) ist.

9. Rotorblatt nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Verlagerung der Blattspitze (22) aufgrund der Abwicklung des Blattspitzenteils (20) nach unten etwa das 0,014fache des Blattradius (R) ist.

10. Die Erfindung bezieht sich auf ein Hubschrauberrotorblatt nach dem Oberbegriff des Anspruches 1.

Bei Hubschraubern sind bereits eine Rotorblattspitzenpfeilung oder -verjüngung oder Kombinationen von beiden benutzt worden, um die Hubschraubervorwärtsflugleistungsfähigkeit zu verbessern. Zum Verringern des Rotorblattspitzenauftriebes wird jedoch bei diesen bekannten Hubschraubern ein beträchtliches Ausmass an Verdrehung in der Rotorblattspitze benutzt, was mit einem erhöhten Luftwiderstand bezahlt werden muss, welcher aufgrund der negativen Blattsteigung oder des negativen Anstellwinkels des sich nach vorn bewegenden Rotorblattes zu einem erhöhten Rotorantriebsleistungsbedarf führt. Typische Beispiele für die bekannte Verwendung von gepfeilten oder verjüngten Rotorblattspitzen zum Erhöhen der Hubschraubervorwärtsflugleistungsfähigkeit und der Verwendung der Verdrehung zum Entlasten der Rotorblattspitzen und zum Steuern des Rotorblattshinterkantenwirbels sind die US-PS 3 822 105 sowie die weitere Patentanmeldung der Anmelderin, für die die Priorität der US-Patentanmeldung, Serial Nr. 968 595, vom 11. Dezember 1978 in Anspruch genommen worden ist. Die US-PS 3 721 507 beschreibt die Pfeilung und die Verdünnung der Rotorblattspitze, aber nicht die Abwinkelung nach unten, und befasst sich ausserdem nicht mit dem Schwebeflug.

35 Gemäss der US-PS 4 077 741 wird ein Hubschrauberrotorblatt mit einer gepfeilten Spitze benutzt, allerdings zwecks Steuerung eines Rotorblattspitzenvorderkantenwirbels, im Gegensatz zu dem hier interessierenden Hinterkantenblattspitzenwirbel, damit die Rotorblattspitze als eine herkömmliche Deltatragsfläche wirkt.

Weitere Patentschriften befassen sich mit nach unten abgewinkelten Rotorblatt- oder Tragflächenspitzen, nicht aber in Kombination mit einer Pfeilung und einer Verjüngung, wie sie die Erfindung zur Verbesserung der Hubschrauberschwebeflugleistungsfähigkeit vorschlägt. Die 45 US-PS 3 411 738 beschreibt eine nach unten abgewinkelte Spitze, gibt aber speziell an, dass die Spitzenspannweite im Vergleich zu der Profilsehne klein sein sollte, was in direktem Gegensatz zur Lehre der Erfindung steht. Ausserdem beschreibt die letztgenannte US-Patentschrift eine Konfiguration der Abwinkelung nach unten, bei der die Spannweite der Abwinkelung nach unten von der Hinterkante zur Vorderkante abnimmt. Die hier beschriebene Erfindung sieht eine Spannweite der Abwinkelung nach unten vor, die längs der lokalen Profilsehne konstant ist. Die US-PS

55 1 692 081 beschreibt nach unten abgewinkelte Spitzen, allerdings zum Verbessern des dynamischen Verhaltens von frei rotierenden Tragschrauberflügeln. Gemäss der letztgenannten US-Patentschrift werden die nach unten abgewinkelten Spitzen benutzt, um die Blattdrehzentrifugalkräfte zu erzeugen, die notwendig sind, um den Tragschraubergelenkrotor stabil zu machen. Da bei dem Tragschrauber frei rotierende Flügel benutzt werden, bietet er selbstverständlich nicht den Schwebeflugbetrieb des angetriebenen Hubschrauberrotors, auf den die vorliegende Erfindung gerichtet ist.

Die US-PS 3 399 731 beschreibt gepfeilte Hubschrauberrotorflügel zum Verbessern des Vorwärtsflugbetriebes, sieht

aber keine Abwinkelung nach unten vor und befasst sich nicht mit der Verbesserung der Schwebeflugleistungsfähigkeit.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes, stark verdrehtes Hubschrauberrotorblatt zu schaffen.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des kennzeichnenden Teiles des Anspruches 1 gelöst.

Entsprechend einem möglichen Ausführungsbeispiel ist der nach unten abgewinkelte Teil der Rotorblattspitze unverdreht.

Bei einem besonderen Ausführungsbeispiel der Erfindung ist die gepfeilte, verjüngte und nach unten abgewinkelte Spitze in Form einer austauschbaren Blattspitzenkappe ausgebildet, die an einem Hubschrauberrotorblatt starker Verdrehung, wie beispielsweise -16° äquivalenter linearer Verdrehung befestigt ist, wobei das Blatt ausreichend torsionssteif ist, so dass die aerodynamische Belastung des Blattes und der Spitze beim Rotorbetrieb bewirken, dass sich das Blatt weiter zwischen 0° und 2° verdreht.

Das Hubschrauberrotorblatt nach der Erfindung hat eine Spitze mit ausgewählter Pfeilung, Verjüngung und Abwinkelung nach unten, die die Schwebeflugleistungsfähigkeit verbessert und außerdem Rotorblattvibrationsbelastungen, Steuerbelastungen sowie vertikale Rotorblattschwingungskräfte, die auf die Nabe und die Zelle übertragen werden, verringert.

Bei dem verbesserten Hubschrauberrotorblatt nach der Erfindung erhöht die Kombination aus Pfeilung, Verjüngung und Abwinkelung nach unten die Schwebeflugleistungsfähigkeit um 3% oder mehr, was einer Verringerung des Rotordurchmessers um 3% äquivalent ist, erhöht den Rotorauftrieb um 1334 N (300 pounds) bei Hubschraubern mit 4536 kg (10 000 pounds) Gesamtfluggewicht und um etwa 8 896 N (2 000 pounds) bei Hubschraubern mit 31 751 kg (70 000 pounds) Gesamtfluggewicht und erhöht bei demselben Hubschraubergesamtfluggewicht die Schwebefluggipfelhöhe auf 213-244 m (700-800 feet).

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird unter Bezugnahme auf die beigelegte Zeichnung näher beschrieben. Es zeigt

Fig. 1 eine Teildraufsicht auf einen vierblättrigen Hubschrauberrotor, bei dem das Rotorblatt nach der Erfindung benutzt wird,

Fig. 2 in Draufsicht den Spitzenteil des Hubschrauberrotorblattes nach der Erfindung,

Fig. 3 eine Seitenansicht des in Fig. 2 gezeigten Spitzenteils des Hubschrauberrotorblattes nach der Erfindung,

Fig. 4 ein bekanntes Hubschrauberrotorblatt, mit dem die Vorteile des verbesserten Blattspitzenteils erzielt werden, indem eine in ausgewählter Weise geformte Blattspitzenkappe benutzt wird, die mit Abstand von dem übrigen Teil des bekannten Rotorblattes dargestellt ist,

Fig. 5 in Seitenansicht die Blattspitzenkappe von Fig. 4,

Fig. 6 die Position eines Hinterkantenblattspitzenwirbels, der auf das bekannte folgende Blatt, das nicht nach unten abgewinkelt ist, einwirkt,

Fig. 7 die Verlagerung des abgelösten Hinterkantenblattspitzenwirbels bei dem Hubschrauberrotorblatt nach der Erfindung, das die in ausgewählter Weise geformte Blattspitze aufweist, und

Fig. 8 ein Diagramm, das die Verbesserung im Schub (C_T/σ), der durch einen Hubschrauberrotor erzeugt wird, bei welchem das Hubschrauberrotorblatt nach der Erfindung benutzt wird, gegenüber einem Rotor zeigt, bei welchem bekannte Rotorblätter benutzt werden, wenn die Rotorblätter mit denselben erforderlichen Rotorantriebsleistung (C_Q/σ) im Schwebeflugbetrieb angetrieben werden.

Fig. 1 zeigt einen Hubschrauberrotor 10, bei dem das

Rotorblatt nach der Erfindung benutzt wird. Der Hubschrauberrotor 10 hat ein Nabenteil 12, das in herkömmlicher Weise an einem Hubschrauberrumpf abgestützt ist und um die Drehachse in Drehung versetzt wird. Mehrere Rotorblätter 14 stehen im wesentlichen radial von der Nabe 12 vor und sind an dieser in herkömmlicher Weise durch eine Wurzelbefestigung 13 abgestützt. Jede Anzahl von Rotorblättern 14 kann bei dem Rotor 10 benutzt werden. Bei dem in Fig. 1 teilweise dargestellten Rotor handelt es sich um einen vierblättrigen Rotor, bei dem die Rotorblätter jeweils einen Umfangsabstand von angenähert 90° haben. Da die Rotorblätter 14 jeweils den gleichen Aufbau haben, wird nur eines beschrieben.

Gemäß Fig. 1 hat das Blatt 14 einen Wurzelseitenteil 16, der in herkömmlicher Weise an der Nabe 12 befestigt ist, einen zentralen Teil 18 mit aerodynamischer Form sowie einen Spitzenteil 20, der in einer Blattspitze 22 kulminiert. Die Blattteile 16, 18 und 20 legen zusammen mit der Nabe 12 den Blattradius R zwischen der Drehachse und der Blattspitze 22 fest. Die Blattsehne C erstreckt sich zwischen der Blattvorderkante 24 und der Blatthinterkante 26.

Das Hubschrauberrotorblatt ist mit einer in ausgewählter Weise geformten Spitze hergestellt, welche eine ausgewählte Kombination von Rückwärtspfeilung, Verjüngung und Abwinkelung nach unten aufweist, die so zusammenwirken, dass die Blattspitze entlastet wird, um dadurch eine gleichmässigere Auftriebsverteilung über der gesamten Spannweite des Rotorblattes und außerdem einen gleichmässigeren Abwindeffekt zu erzeugen sowie die zum Antrieb des Rotors 10 erforderliche Leistung zu verringern.

Das hier beschriebene Rotorblatt verringert aufgrund seiner besonderen Kombination von Pfeilung, Verjüngung und Abwinkelung nach unten mit seiner Spitze die Intensität des Blattspitzenhinterkantenwirbels und richtet oder verlagert den Blattspitzenhinterkantenwirbel so, dass er eine minimale Störung des folgenden Rotorblattes verursacht. Diese Vorteile werden erreicht, ohne dass es erforderlich ist, in dem nach unten abgewinkelten Teil der Blattspitze eine Verdrehung zu benutzen.

Die besondere Form des hier beschriebenen Rotorblattspitzenteils 20 wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 2 und 3 beschrieben. Gemäß Fig. 2 ist der Blattspitzenteil 20 nach hinten gepfeilt, wobei der Vorderkantenteil 24a und der Hinterkantenteil 26a um den Winkel A nach hinten gepfeilt sind, während der Vorderkantenteil 24b um den Winkel B nach hinten gepfeilt ist. Der Winkel A beträgt ungefähr die Hälfte des Winkels B, wobei der Winkel A vorzugsweise etwa 20° und der Winkel B vorzugsweise etwa 35° beträgt. Der Blattspitzenteil 20 ist außerdem in einer 50 Richtung radial nach aussen verjüngt, so dass die Blattspitzensehne C_{Spitze} an der Blattspitze 22 ungefähr die Hälfte der Blattsehne C beträgt und vorzugsweise gleich 0,6 C ist.

Weiter ist gemäß Fig. 2 die Blattspitzenteilviertelsehne 23 um den Winkel A gegen die Blattviertelsehne und Achse 25 für periodische Blattverstellung nach hinten gepfeilt.

Weiter ist die Blattspitzenteilviertelsehne 27 um den Winkel C gegen die Blattviertelsehne und Achse 25 für periodische Blattverstellung nach hinten gepfeilt. Der Winkel

60 C beträgt vorzugsweise etwa 26° . Der Blattspitzenteil 20 ändert sich in der Dicke zwischen der Abmessung t an seinem inneren Ende, die gleich der Dicke des zentralen Teils 18 des Rotorblattes ist, und der Blattspitzendicke t_{Spitze} ,

die ungefähr $t/2$ und vorzugsweise 0,6t beträgt, so dass das 65 Verhältnis von Profilsehne zu Dicke des Blattspitzenteils 20 konstant ist.

Ausser der Pfeilung und der Verjüngung, die in Fig. 2 gezeigt sind, hat der Blattspitzenteil 20 gemäß Fig. 3 eine

derartige Abwinkelung nach unten, dass er um den Winkel C, welcher vorzugsweise etwa 20° beträgt, auf den äusseren 4% des Rotorblattradius R nach unten geneigt ist.

Die 20° -Abwinkelung nach unten auf den äusseren 4% des Rotorblattradius R erzeugt eine Blattspitzenverlagerung aus der Rotorebene heraus, die etwa gleich 0,014 . Rotorblattradius R ist. Versuche haben gezeigt, dass diese 20° -Abwinkelung nach unten zur Ablösung von Hinterkantenblattspitzenwirbeln führt und die äusserst günstige Verlagerung des abgelösten Wirbels erzeugt, die in Fig. 7 gezeigt ist.

Es ist wichtig zu beachten, dass die in ausgewählter Weise gepfeilte, verjüngte und nach unten abgewinkelte Blattspitze eine ausgewählte radiale Abmessung hat, wobei die Pfeilung bei 93% Rotorblattradius beginnt und wobei die Verjüngung und die Abwinkelung nach unten bei 96% Rotorblattradius beginnen. Dieser Aufbau hat viele Vorteile. Erstens, die in ausgewählter Weise geformte Blattspitze kann gemäss den Fig. 4 und 5 hergestellt werden, indem eine in ausgewählter Weise geformte Blattspitzenkappe 29 in Verbindung mit einem herkömmlichen bekannten Rotorblatt benutzt wird. Das gibt dem hier beschriebenen Rotorblattaufbau den Vorteil, dass das Rotorblatt mit minimalen Kosten hergestellt werden kann und dabei bekannte Herstellungsverfahren benutzt werden können und dass vorhandene bekannte Rotorbäcker nachgerüstet werden können, so dass auch bei diesen von der in ausgewählter Weise geformten Rotorblattspitze Gebrauch gemacht werden kann. Zweitens, die kurze radiale Ausdehnung der Rotorblattspitze macht sie zur Verwendung bei torsionsstifen Hubschrauberrotorblättern mit hoher äquivalenter linearer Blattverdrehung von etwa -16° bestens geeignet, so dass im Rotorbetrieb die aerodynamische Belastung des Blattes und der Blattspitze bewirkt, dass das Blatt eine elastische Torsionsverformung nur um zusätzlich 1° oder 2° bis zu einem Punkt optimaler Verdrehung im Schwebeflugbetrieb erfährt. Weitere Einzelheiten bezüglich eines Rotorblattes mit starker Verdrehung finden sich in der US-PS 3 822 105. Drittens, da der nach unten abgewinkelte Teil der Rotorblattspitze nach der Erfahrung keine Verdrehung aufweist, werden die eingangs erwähnten Nachteile der Rotorblattverdrehung in den äusseren Blattspitzenteilen vermieden.

In der Praxis geht gemäss der Darstellung in Fig. 4, um eine Strömungsablösung und den davon begleiteten Luftwiderstand zu vermeiden, die verursacht würden, wenn der Pfeilungswinkel der Vorderkantenblattspitzenteilfläche 24a abrupt beginnen würde, die Vorderkante 24 des zentralen Teils 18 vorzugsweise glatt trommelförmig in die gepfeilte Vorderkante 24a des Blattspitzenteils über.

Es ist daher zu erkennen, dass der hier beschriebene Blattspitzenteil 20 in ausgewählten Verhältnissen gepfeilt, verjüngt und nach unten abgewinkelt ist. Darüber hinaus hat der nach unten abgewinkelte Abschnitt des Blattspitzenteils 20 vorzugsweise 0° lineare Verdrehung. Die Gründe für diese ausgewählte Kombination von Pfeilung, Verjüngung, Abwinkelung nach unten und Verdrehung in dem Blattspitzenteil 20 werden nun erläutert. Ziel ist es, wie oben dargelegt, den Blattspitzenteil 20 zu entlasten, um eine gleichmässigere Auftriebsverteilung über der Spannweite des Blattes, einen gleichmässigeren Abwindeffekt und einen geringeren Leistungsbedarf für den Antrieb des Rotors zu erzielen und um ausserdem die Stärke des Hinterkantenblattspitzenwirbels zu verringern und den Blattspitzenwirbel so abzulenken oder zu verlagern, dass er das folgende Rotorblatt minimal stört. Diese Ziele sollten im Auge behalten werden, damit die folgende Beschreibung des in aus-

gewählter Weise geformten Blattspitzenteils 20 voll verständlich wird.

Die Pfeilung des Blattspitzenteils 20 nach hinten dient zum Verringern der Blattspitzenbelastung, da der Parameter, der das Ausmass des durch ein Rotorblatt erzeugten Auftriebs festlegt, die Geschwindigkeitskomponente des freien Luftstroms rechtwinklig zu der lokalen Viertelprofil sehne ist, und durch Pfeilen der Blattspitze nach hinten, wie es in Fig. 2 gezeigt ist, wird diese Geschwindigkeitskomponente und damit der durch die Blattspitze erzeugte Auftrieb verringert. Diese lokalen Viertelprofilsehnen sind in der Blattspitze 20 als Linien 23 und 27 dargestellt. Diese Verringerung des Blattspitzenauftriebes aufgrund der Blattspitzenpfeilung dient zum Verringern der Intensität des Hinterkantenblattspitzenwirbels, der während des Rotorbetriebes erzeugt wird und sich ablöst, durch Verringern der Geschwindigkeit der freien Strömung, die rechtwinklig zu der lokalen gepfeilten Viertelprofilsehne wirkt.

Die Blattspitzenpfeilung entlastet außerdem die Blattspitze, weil die gepfeilte Blattspitze nicht die vollen Anstell eingangsrössen empfängt, die der übrige Teil des Rotorblattes empfängt, und weil somit die Blattspitze nicht die vollen Blattverstellbelastungen empfängt, die auf den übrigen Teil des Blattes ausgeübt werden.

Die Verjüngung der Blattspitze 20, die in Fig. 2 gezeigt ist, dient außerdem zum Verringern der Blattspitzenbelastung durch Verringern der Blattspitzengrundrissfläche, auf die aerodynamische Belastungen ausgeübt werden, und verringert dadurch ebenfalls die Intensität des Blattspitzen hinterkantenwirbels.

Leider hat die Verringerung der Intensität des Blattspitzenhinterkantenwirbels durch die Kombination aus Pfeilung und Verjüngung, die vorstehend erläutert ist, den nachteiligen Effekt, dass sich die Trajektorie des abgelösten Blattspitzenwirbels in einer unerwünschten Weise ändert. Diese geänderte Blattspitzenwirbeltrajektorie bringt den Blattspitzenwirbel geringerer Intensität in innigere Be rührung mit dem folgenden Rotorblatt und hat deshalb eine stärkere Auswirkung auf das folgende Rotorblatt.

Es ist wünschenswert, dass die Blattspitze den schwachen Blattspitzenwirbel einer unbelasteten Blattspitze und die erwünschte Trajektorie des Blattspitzenwirbels einer belasteten Blattspitze erreicht, die eine geringere Störwirkung auf das folgende Rotorblatt ausüben. Dieses erwünschte Ergebnis wird erzielt, indem eine Abwinkelungskomponente der in Fig. 3 gezeigten Art bei der gepfeilten und verjüngten Blattspitze benutzt wird. Es ist eine bekannte Eigenschaft eines abgelösten Hubschrauberhinterkantenblattspitzenwirbels, dass seine Trajektorie im Radius kontraktiert oder abnimmt, so dass bei einer nach unten abgewinkelten Spitze aufgrund der Kontraktion im Radius des abgelösten Blattspitzenwirbels eines vorderen Rotorblattes dieser Blattspitzenwirbel unter dem folgenden Rotorblatt hindurchgehen wird, und zwar wegen seiner radialen Kontraktion und der nach unten abgewinkelten Form des folgenden Rotorblattes. Versuche der Anmelderin haben gezeigt, dass, während der Blattspitzenwirbel, der sich von dem vorangehenden Rotorblatt abgelöst hat, sich bei einer bekannten herkömmlichen, nicht nach unten abgewinkelten (ebenen) Blattspitze an einer in Fig. 6 gezeigten Stelle V₁ befinden wird, der Blattspitzenwirbel, der sich von dem vorangehenden Rotorblatt abgelöst hat, von dem folgenden Rotorblatt weiter verlagert ist und sich an einer Stelle V₂ befindet, wenn die nach unten abgewinkelte Blattspitze gemäss der Erfahrung benutzt wird, wie es in Fig. 7 gezeigt ist. Der Vorteil dieser Blattspitzenwirbelverlagerung von der Stelle V₁ zur Stelle V₂ ist eine geringere Störung des folgenden Rotorblattes. Ein weiterer Vorteil der nach

unten abgewinkelten Blattspitze nach der Erfindung, die bewirkt, dass der Blattspitzenwirbel im wesentlichen unter dem folgenden Blatt an der Stelle V_2 vorbeigeht, besteht darin, dass dieser Abstand des Wirbels von der Blattspitze die Auswirkung des Wirbels auf die Blattspitze verringert, wobei diese Auswirkung im allgemeinen darin besteht, dass auf die Spitze ein Auftrieb ausgeübt wird damit die Blattspitze, im Gegensatz zur Lehre der Erfindung, belastet wird.

Es ist daher zu erkennen, dass das Hubschrauberrotorblatt nach der Erfindung mit der in ausgewählter Weise gepfeilten, verjüngten und nach unten abgewinkelten Blattspitze dazu dient, die Blattspitze zu entlasten, und dass es die oben erwähnten Vorteile derselben erreicht und außerdem die Intensität des Blattspitzenwirbels wirksam verringert und ihn zu einer Stelle minimaler Störung des folgenden Rotorblattes verlagert. Diese Vorteile werden erreicht, ohne dass es erforderlich ist, eine Verdrehung in dem nach unten abgewinkelten Teil der Blattspitze zu benutzen.

Die Wirksamkeit des Rotorblattes nach der Erfindung wird anhand von Fig. 8 deutlich, die ein Diagramm des Schubes oder Auftriebs von Rotoren im Schwebeflug bei Verwendung des Rotorblattes nach der Erfindung und von bekannten Rotorblättern über der zum Antrieb des Rotors erforderlichen Leistung zeigt. Es ist zu erkennen, dass der Rotor, bei dem das Rotorblatt nach der Erfindung mit der nach unten abgewinkelten Blattspitze benutzt wird, eine grössere Wirksamkeit — Kurve a — als der Rotor mit bekannten Rotorblättern — Kurve b — in den Betriebsbereichen zeigt. Ein solches bekanntes Rotorblatt ist ausführlich in der US-PS 3 822 105 dargestellt und beschrieben. Berechnungen und Versuche zeigen, dass das Rotorblatt nach der Erfindung die Schwebeflugleistungsfähigkeit oder den Auftrieb zwischen 3 und 5% erhöht. Das führt zu einer Schwebeflugauftriebserhöhung von etwa 1334 N für einen Hubschrauber mit einem Gesamtfluggewicht von 4536 kg und bis zu 8896 N für einen Hubschrauber mit einem Gesamtfluggewicht von 31751 kg. Bei dem Hubschrauber mit demselben Gesamtfluggewicht würde die Schwebefluggipfelhöhe zwischen 213-244 m ansteigen. Darüber hinaus wird es bei dem verbesserten Rotor zu einer Verringerung an durch den Rotor verursachtem Lärm kommen.

Es ist zwar das Hauptziel des Rotorblattes nach der Erfindung, die Hubschrauberschwebeflugleistungsfähigkeit zu steigern, es bietet jedoch auch Vorteile im Vorwärtsflugbetrieb, da die gepfeilte Spitze die Blattspitzen-Mach-Zahl normal zu der Flügelprofilvorderkante verringert. Weiter sind die Schwingungstorsionsmomente, die durch die gepfeilte Blattspitze verursacht werden, bestrebt, nachteilige Torsionsmomente aufzuheben, die durch aerodynamische Anstellmomente des Rotorblattes im Vorwärtsflug erzielt werden, und außerdem werden vertikale Blattschwingungs Kräfte, die auf die Nabe und den Rumpf übertragen werden, verringert.

Es ist zwar eine spezielle Kombination von Rotorblattspitzenpfeilung, -verjüngung und -abwinkelung nach unten beschrieben worden, die dem Ziel dient, den Blattspitzenwirbel zu schwächen und zu verlagern, so dass das nachfolgende Rotorblatt minimal gestört und dadurch die Schwebeflugleistungsfähigkeit vergrössert und die zum Antrieb des Rotors im Schwebeflug erforderliche Leistung verringert wird, es kann jedoch mehr oder weniger Pfeilung, Verjüngung und Abwinkelung nach unten in Abhängigkeit von den Eigenschaften des besonderen Hubschraubers, bei dem der Rotor benutzt wird, erforderlich sein, um das Gesamtziel zu erreichen.

Das verbesserte Hubschrauberrotorblatt ist, wie weiter oben erwähnt, ein Rotorblatt, das durch irgendeine der bekannten Methoden und Konstruktionen des Standes der Technik einschliesslich den aus der US-PS 3 822 105 bekannten hergestellt wird und eine starke äquivalente lineare Blattverdrehung von etwa -16° hat, so dass während des Schwebeflugbetriebes die aerodynamische Belastung des Rotorblattes und der Blattspitze bewirken wird, dass das Rotorblatt nur um etwa 0° bis 2° torsionsverformt wird, um das Rotorblatt auf die optimale Schwebeflugverdrehung zu bringen.

Der Grad der soeben erwähnten Torsionsverformung kann auf verschiedenerlei Weise gesteuert werden, beispielsweise durch die Verwendung der hier beschriebenen Blattspitze bei einem torsionssteifen Rotorblatt oder durch die Verwendung der hier beschriebenen Blattspitze bei einem torsionsnachgiebigen Rotorblatt, bei dem keine Vorderkantengegengewichte zum Ausgleichen des hinteren Massenmittelpunktes der gepfeilten Blattspitze nach der Erfindung benutzt werden. Der besondere Blattspitzenteil 20, der oben beschrieben ist, macht vorteilhaften Gebrauch von den Schwebeflugleistungsfähigkeitsverbesserungen und den Herstellungs- und Nachrüstungsvorteilen, die dadurch verfügbar gemacht werden, dass ein kurzer Blattspitzenteil benutzt wird, der als eine Blattspitzenkappe benutzt werden kann. Es gibt Hubschrauberrotorblattkonstruktionen, die torsionsnachgiebiger sind als das hier interessierende Rotorblatt und die mit einem mässigen Grad an Blattverdrehung aufgebaut sind, und zwar aus den vielfältigsten Fertigungs- und Leistungsfähigkeitsgründen, nicht aber wegen der Schwebeflugleistungsfähigkeit, die die Verwendung einer Blattspitze erfordern, deren Pfeilung, Verjüngung und Abwinkelung nach unten anders als hier angegeben sind. Ein solches verbessertes Rotorblatt bildet den Gegenstand einer weiteren Patentanmeldung der Anmelderin, für die die Priorität der auf den Namen Robert C. Moffitt eingereichten US-Patentanmeldung «Improved Helicopter Blade With a Tip Having a Selected Combination of Sweep, Taper and Anhedral to Improve Hover Efficiency» vom 21. Januar 1980 in Anspruch genommen worden ist.

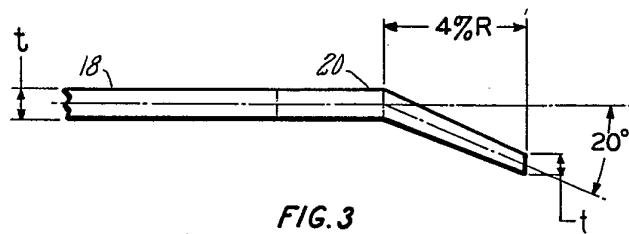
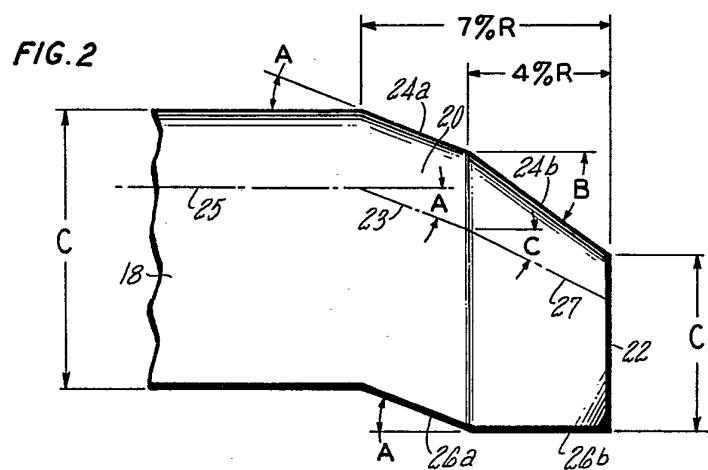
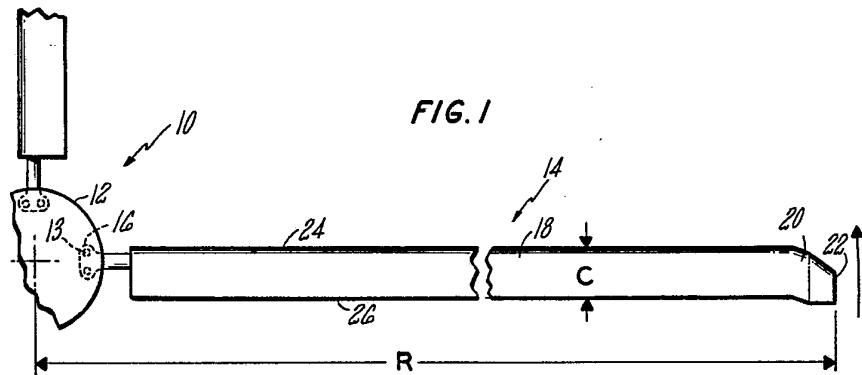


FIG. 4

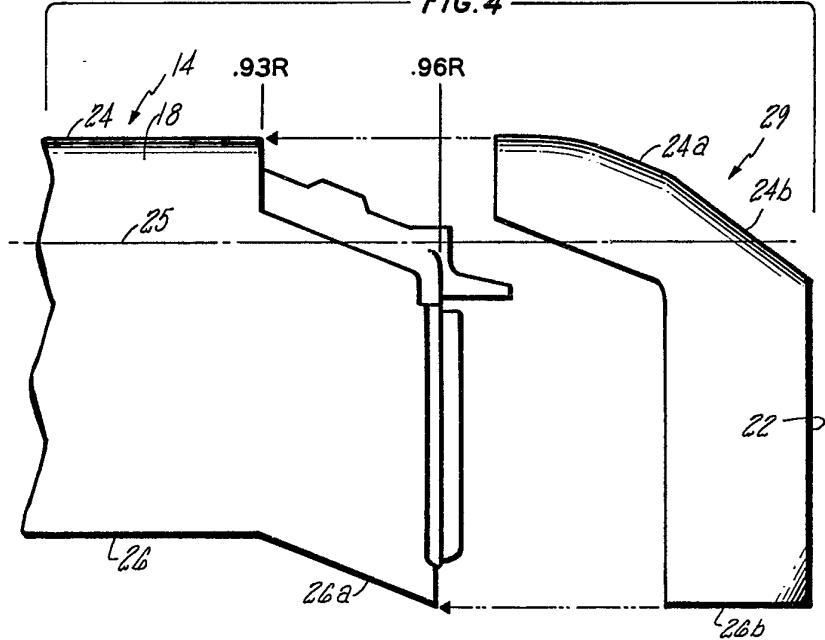


FIG. 5

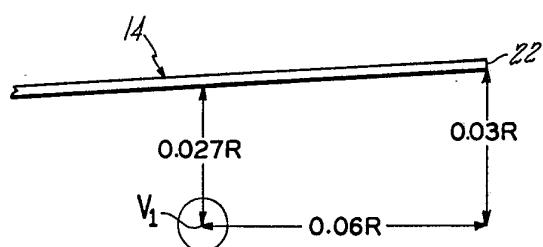
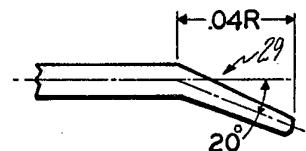


FIG. 6

FIG. 7

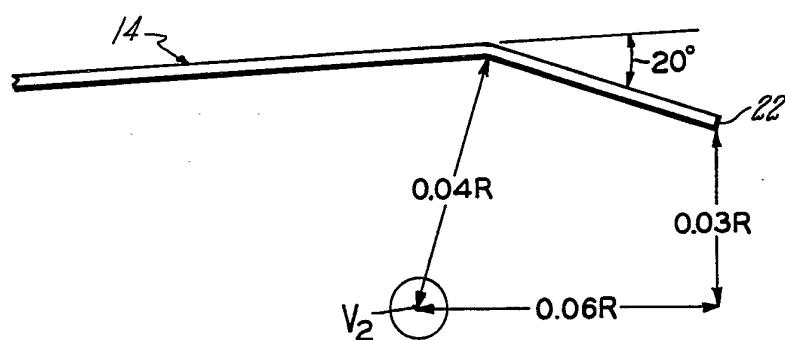


FIG. 8

