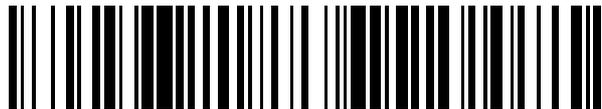


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 807 750**

51 Int. Cl.:

B64C 27/02 (2006.01)

B64C 27/467 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.12.2016 PCT/EP2016/079520**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.06.2017 WO17097669**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2016 E 16809685 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020 EP 3386854**

54 Título: **Pala de rotor de autogiro**

30 Prioridad:

10.12.2015 DE 102015121502

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

24.02.2021

73 Titular/es:

FRAUNDORFER, CHRISTOPH (100.0%)

Im Strassfeld 9

85128 Nassenfels, DE

72 Inventor/es:

ZÖBISCH, ANDRE y

FRAUNDORFER, CHRISTOPH

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 807 750 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Pala de rotor de autogiro

5 [0001] La presente invención se refiere a una pala de rotor de autogiro para la generación de elevación autorrotatoria. La pala de rotor de autogiro comprende una región de perfil interior en el lado de la raíz que tiene un primer perfil. Además, la pala de rotor de autogiro comprende una región de perfil principal que tiene un segundo perfil diferente del primer perfil. Además, la pala de rotor de autogiro comprende un trazado de profundidad de perfil que disminuye de forma monótonica en la dirección longitudinal de la pala de rotor de autogiro partiendo de la región de la raíz de la pala hacia la punta de la pala.

10 [0002] A diferencia de un helicóptero, el rotor del autogiro no es accionado sino que gira por la acción de un viento aparente y se denomina autorrotación. Para generar el viento aparente, el autogiro tiene una hélice que es accionada por medio de un motor y que genera un recorrido hacia adelante y, mediante el movimiento del autogiro a través del aire circundante se forma el viento aparente. Dado que el rotor del autogiro no es accionado, no es necesario un motor de cola que compense el par como en el helicóptero. Además, el autogiro tiene una alta fiabilidad debido a que el rotor del autogiro es autorrotante por lo que, en caso de un fallo de la hélice, el rotor del autogiro sigue estando en autorrotación, y el aterrizaje se parece, por ejemplo, al aterrizaje de un planeador y es relativamente seguro.

20 [0003] Para generar la autorrotación, las palas del rotor del autogiro extraen energía de una cantidad de aire que fluye de abajo hacia arriba a través de la superficie barrida por el rotor de autogiro y la convierten en rotación (automática) y fuerza ascensional. En este caso hay que tener en cuenta que una región interior, que es adyacente al eje de rotación del rotor del autogiro, de la pala del rotor del autogiro, tiene un efecto accionador para la autorrotación, es decir, acelera la pala del rotor del autogiro. Una región exterior de la pala del rotor del autogiro, que se encuentra a una distancia del eje de rotación, tiene un efecto de frenado en la autorrotación. Sin embargo, esta región exterior también genera la mayor fuerza ascensional debido a la mayor velocidad de rotación de la pala del rotor del autogiro. Durante el movimiento de la pala de rotor de autogiro, también se induce una resistencia al aire que depende de la velocidad de la pala del rotor del autogiro a través del aire circundante (velocidad de soplado efectiva) y de la forma de la pala del rotor del autogiro. Las mayores velocidades de circulación conducen a una mayor resistencia al aire. La resistencia al aire también depende de la fuerza ascensional. Cuanta más fuerza ascensional genere una región de la pala del rotor del autogiro, mayor será también la resistencia al aire. Por lo tanto, en general, la resistencia al aire aumenta drásticamente en dirección a la punta de la pala del rotor del autogiro.

[0004] De GB 452 366 A se conoce una pala de rotor para un autogiro según el preámbulo de la reivindicación 1.

[0005] En esta se describe una pala de rotor con un plano de planta sustancialmente rectangular. En este caso, se puede cambiar un perfil de sección transversal a lo largo de la pala de rotor. Una desventaja de una pala de rotor de este tipo es que presenta una gran resistencia al aire.

35 [0006] En US 2002/0154996 A1 se describe una pala de rotor para una aeronave de rotores basculantes.

[0007] En FR 1 369 600 A se describe una pala de rotor para un helicóptero.

[0008] En US 6.497.385 B1 se describe una pala de rotor para un helicóptero o una aeronave de rotores basculantes.

40 [0009] Por lo tanto, una tarea de la presente invención es proporcionar una pala de rotor de autogiro que tenga una baja resistencia al aire.

[0010] La tarea se resuelve mediante una pala de rotor de autogiro con las características de la reivindicación independiente 1.

45 [0011] Se propone una pala de rotor de autogiro para la generación de fuerza ascensional autorrotatoria con una región de perfil interior y una región de perfil principal. Además, la pala de rotor de autogiro tiene preferiblemente un plano de planta que se estrecha radialmente hacia el exterior. La sección transversal a través de la pala de rotor de autogiro, en particular en un ángulo de 90° con respecto a la dirección longitudinal, se denomina perfil de la pala de rotor de autogiro. La sucesión de perfiles individuales a lo largo de una línea y/o curva definida desde la raíz de la pala hasta la punta de la pala se denomina perfil de carenado.

5 [0012] Además, la pala de rotor de autogiro tiene un borde delantero situado delante en el rotor de autogiro autorrotatorio y un borde trasero situado detrás en el rotor de autogiro autorrotatorio. El borde delantero y el borde trasero delimitan un plano de planta de la pala de rotor de autogiro. La distancia entre el borde delantero y el borde trasero, en particular en un ángulo de 90° con respecto a la dirección longitudinal, se denomina profundidad del perfil.

10 [0013] Además, la pala de rotor de autogiro comprende un lado de presión negativa, en el que se forma una presión negativa en un estado de vuelo normal del autogiro, y un lado de presión positiva, en el que se forma una presión positiva en el estado de vuelo normal del autogiro. En este caso, el lado de presión negativa se puede diseñar como una superficie convexa de la pala de rotor de autogiro y el lado de presión positiva como una superficie esencialmente plana. En particular, sin embargo, el efecto de desplazamiento del aire que fluye en contra a través de un perfil de la pala de rotor de autogiro se desarrolla de tal manera que, en el caso de un flujo de aire alrededor de la pala de rotor de autogiro, el flujo en el lado superior de la pala de rotor de autogiro, es decir, el lado de presión negativa, se acelera de media más que en la parte inferior de la pala de rotor de autogiro, es decir, el lado de presión positiva. Según la ley de Bernoulli, se presenta una distribución de presión que corresponde a la velocidad de circulación local en donde la diferencia de presión producida entre el lado superior e inferior provoca la fuerza ascensional de la pala de rotor de autogiro. Esto produce la fuerza ascensional de todo el rotor de autogiro y, por lo tanto, del autogiro. La distribución de presión que se acaba de mencionar depende, en este caso, del perfil respectivo de la pala de rotor de autogiro. Si, por ejemplo, el perfil cambia de tal manera que la velocidad local del flujo de aire sobre el lado de presión negativa se vuelve mayor, la fuerza ascensional puede, por ejemplo, aumentarse. Por lo tanto, las propiedades aerodinámicas de la pala de rotor de autogiro, en particular su rendimiento de vuelo, dependen del perfil de la pala de rotor de autogiro.

25 [0014] Además, la pala de rotor de autogiro comprende una región de perfil interior en el lado de la raíz que tiene un primer perfil. Este primer perfil, por ejemplo, puede extenderse también por toda la longitud de la región del perfil interior. Además, la pala de rotor de autogiro comprende una región de perfil principal con un lado en punta que tiene un segundo perfil diferente del primer perfil. Este segundo perfil, por ejemplo, puede extenderse también por toda la longitud de la región del perfil principal. Pueden abordarse diferentes flujos en la pala de rotor de autogiro mediante al menos dos perfiles diferentes de la pala de rotor de autogiro.

30 [0015] Además, la pala de rotor de autogiro tiene una región de perfil interior en la raíz de pala y/o adyacente a esta, una región de perfil exterior en la punta de pala y/o adyacente a esta, y/o una región de perfil principal entre la raíz de pala y la punta de pala. Por lo tanto, la región del perfil interior, la región del perfil principal y la región del perfil exterior se disponen una detrás de otra desde la raíz de la pala hasta la punta de la pala. En este caso, cada una de la región de perfil interior, la región de perfil exterior y/o la región de perfil principal tiene un perfil, en particular un perfil diferente. Como ya se describió, la velocidad de circulación del aire circundante también aumenta alrededor de una región de la pala de rotor de autogiro. A través de las tres regiones pueden abordarse diferentes velocidades de circulación a lo largo de la pala de rotor de autogiro.

40 [0016] Además, la pala de rotor de autogiro tiene un trazado de profundidad de perfil que disminuye de forma monotónica en la dirección longitudinal de la pala de rotor de autogiro partiendo de la región de la raíz de la pala hacia la punta de la pala. En este caso, el trazado de profundidad de perfil solo disminuye a partir de una profundidad de perfil máxima. La región entre el extremo de la pala de rotor de autogiro en la raíz de la pala hasta el punto de la profundidad de perfil máxima solo tiene medios de sujeción con los que la pala de rotor de autogiro se fija a un cabezal de rotor de autogiro y, por lo tanto, no tiene un efecto apreciable en el rendimiento de vuelo.

45 [0017] En este caso, el trazado de profundidad de perfil es la profundidad de perfil en función de la dirección longitudinal de la pala de rotor de autogiro desde la región de la raíz de la pala en dirección a la punta de la pala. Por ello, el trazado de profundidad de perfil puede representarse, por ejemplo, como un gráfico, función, imagen o relación en un sistema de coordenadas cartesianas. En este caso, la dirección longitudinal desde la raíz de la pala hacia la punta de la pala se aplica en el eje X. Por ejemplo, se puede seleccionar $x = 0$ en la región de la raíz de la pala, en particular en la profundidad de perfil máxima de la pala de rotor de autogiro. La dirección longitudinal de la pala de rotor de autogiro se aplica entonces en dirección a los valores x positivos. Las profundidades del perfil se pueden aplicar, por ejemplo, como valores y . El trazado de profundidad del perfil es entonces la función de la profundidad del perfil que depende de los valores x o la dirección longitudinal. El trazado de profundidad de perfil es, por lo tanto, un gráfico o un diagrama en el sistema de coordenadas cartesianas, de modo que la profundidad de perfil de la pala de rotor de autogiro puede leerse en cualquier punto deseado, por ejemplo, a distancias específicas de la raíz de la pala en dirección a la punta de la pala.

55 [0018] Un trazado de profundidad de perfil decreciente de forma monotónica describe así una pala de rotor de autogiro cuya profundidad de perfil va disminuyendo de forma monotónica desde la raíz de la pala, en particular desde una profundidad de perfil máxima, en dirección a la punta de la pala.

[0019] De este modo, la profundidad de perfil puede disminuir de forma lineal, parabólica y/o exponencial desde la raíz de la pala hasta la punta de la pala. Además o como alternativa, el borde trasero en particular también puede tener una forma convexa y/o cóncava con respecto a la pala de rotor de autogiro.

5 [0020] Dado que la pala de rotor de autogiro rota alrededor de un eje de rotación del rotor de autogiro, la pala de rotor de autogiro tiene diferentes velocidades de rotación en función del radio. Una velocidad de circulación del aire circundante alrededor de una región de la pala de rotor de autogiro es una superposición del viento aparente y la velocidad de rotación de la región de pala de rotor de autogiro. La velocidad de circulación del aire que fluye en contra aumenta así con el radio en la pala de rotor de autogiro. En este caso, la velocidad de circulación es la más baja en la raíz de la pala y la más alta en la punta de la pala. Además, diferentes ángulos de flujo en contra en los
10 que la pala de rotor de autogiro fluye dan como resultado la superposición del viento aparente y la velocidad de rotación a lo largo de la pala de rotor de autogiro.

[0021] En el caso de una pala de rotor de autogiro sin alabear con un trazado de profundidad de perfil constante (pala rectangular), esta no está adaptada al flujo en contra localmente diferente. En este caso, el flujo alrededor de la pala de rotor de autogiro provoca un viento descendente en cada posición que se corresponde con las condiciones de flujo locales. Por lo tanto, se presenta un campo de viento descendente correspondiente para toda la pala de rotor de autogiro o todo el rotor de autogiro. En el caso de palas rectangulares sin alabear, este campo de viento descendente inducido es desfavorable, ya que se reduce la rotabilidad del rotor de autogiro y ocasiona una resistencia al aire correspondiente del rotor de autogiro.
15

[0022] Si la profundidad de perfil disminuye en dirección a la punta de la pala, con el flujo en contra local en la pala del rotor se tiene una distribución del viento descendente más ventajosa que provoca un aumento de la rotabilidad del rotor de autogiro y, en consecuencia, se reduce la resistencia al aire de todo el rotor de autogiro. La disminución monotónica de la profundidad del perfil en dirección a la punta de la pala da como resultado un tipo diferente de distribución de las fuerzas ascensionales en la pala de rotor de autogiro. En este caso, el trazado de profundidad de perfil se diseña de tal manera que el plano de planta de la pala de rotor de autogiro según la invención con un
20 campo de viento descendente optimizado, junto con la velocidad de soplado creciente (hacia el exterior), proporciona de media la misma fuerza ascensional que en el caso de una pala de rotor de autogiro con un trazado de profundidad de perfil constante, pero con menos resistencia.
25

[0023] En este caso, se puede lograr un mayor rendimiento de vuelo con una pala de rotor de autogiro que tiene una menor resistencia al aire. Por ejemplo, se puede alargar la duración de vuelo y, por lo tanto, el alcance del autogiro.

30 [0024] La pala de rotor de autogiro según la invención tiene un alabeo con un trazado del alabeo que disminuye de forma monotónica partiendo de la región de la raíz de la pala hacia la punta de la pala. El trazado del alabeo se puede describir en este caso de forma análoga al trazado de profundidad de perfil. Por ejemplo, como una función, diagrama, gráfico del alabeo de la pala de rotor de autogiro en función de la dirección longitudinal de la raíz de la pala hacia la punta de la pala. La distancia o la dirección longitudinal se aplica nuevamente en el eje x, donde la región de la raíz de la pala es de $x = 0$ y la punta de la pala toma el mayor valor x (positivo). El alabeo se aplica entonces en el eje y. Con la ayuda del gráfico, el alabeo de la pala de rotor de autogiro se puede leer así en varios
35 puntos de la pala de rotor de autogiro. El trazado del alabeo indica además la manera en la que la pala de rotor de autogiro se alabea sobre sí misma. Además, el alabeo indica un ángulo. El alabeo con un ángulo de ajuste de pala de la pala de rotor de autogiro indica la manera en la que está orientado un perfil con respecto a un plano de giro de la pala de rotor de autogiro rotatoria.
40

[0025] El plano de giro se define perpendicular al eje de rotación del rotor de autogiro (no se consideran los movimientos de aleteo ni giratorios de la pala de rotor de autogiro). Si la pala de rotor de autogiro tiene un ángulo de ajuste de pala, esta está girada en un ángulo alrededor del eje longitudinal que se entiende en dirección a la envergadura (de la raíz de la pala hacia la punta de la pala). El ángulo de ajuste de pala es el ángulo entre un plano de referencia definido fijo de una pala de rotor y el plano de giro.
45

[0026] El alabeo en sí mismo indica el ángulo en el que la sección de perfil local está alabeada con respecto a un plano de referencia. El ángulo de ajuste de pala forma con el alabeo el ángulo de ataque geométrico local de incidencia. Este es localmente diferente debido al alabeo y, en consecuencia, se define como el ángulo entre la cuerda del perfil y el plano de giro. La cuerda del perfil es la línea de conexión entre los puntos más distantes entre sí del borde delantero y el borde trasero del perfil.
50

[0027] El ángulo de alabeo de un perfil en un ángulo de ajuste de pala de cero grados es el ángulo que forma un perfil con el plano de giro de la pala de rotor de autogiro rotatoria. Este ángulo de alabeo es, por ejemplo, de cero grados (para un perfil en cuestión) si el perfil está alineado paralelo al plano de giro (en un ángulo de ajuste de pala de cero grados).

[0028] Además, la pala de rotor de autogiro tiene un alabeo en dirección longitudinal de modo que la pala de rotor de autogiro está retorcida alrededor de un eje en dirección longitudinal. Si los perfiles individuales están colocados en fila en un perfil de carenado con un ángulo diferente en cada caso, se forma el alabeo. Mediante el alabeo se puede cambiar el comportamiento del flujo en contra en la pala de rotor de autogiro. Por lo tanto, se puede lograr una distribución del viento descendente más ventajosa, de modo que se aumente el rendimiento de la pala de rotor de autogiro mientras que la resistencia al aire permanece constante. El alabeo hace que el ángulo de ataque geométrico de los perfiles individuales con respecto a un plano de rotación de las palas de rotor de autogiro (plano de giro) del rotor de autogiro sea diferente en la dirección longitudinal de la pala de rotor de autogiro. Si, por ejemplo, el ángulo de alabeo es pequeño, el perfil asociado es esencialmente paralelo al ángulo de ajuste de la pala, o con un ángulo de ajuste de la pala de cero grados es esencialmente paralelo al plano de rotación de las palas de rotor de autogiro.

[0029] De manera similar a la distribución de profundidad, el alabeo también influye significativamente en las condiciones de flujo local, que a su vez influye en el viento descendente local y, por lo tanto, contribuye en todo el campo de viento descendente/influye significativamente en todo el campo de viento descendente.

[0030] Un alabeo correspondiente de la invención da como resultado un campo de viento descendente más favorable, por lo que aumenta adicionalmente la rotabilidad del rotor y reduce adicionalmente la resistencia al aire de todo el rotor de autogiro. En este caso, el alabeo se diseña de tal manera que no solo conlleve una mejora del campo de viento descendente, sino que el campo de viento descendente que se presenta se forma/caracteriza de tal manera que la pala de rotor de autogiro está expuesta al flujo en contra de manera óptima según los perfiles utilizados localmente, por lo que los perfiles de pala una vez más aumentan la rotabilidad del rotor y, por lo tanto, pueden hacer una contribución adicional para reducir la resistencia al aire general del rotor de autogiro.

[0031] También es ventajoso que el alabeo esté diseñado, en dirección longitudinal desde la raíz de la pala hasta la punta de la pala, de modo que el borde trasero esté girado hacia el lado de presión negativa y el borde delantero hacia el lado de presión positiva. En la operación normal de vuelo, la pala de rotor de autogiro tiene un ángulo de ajuste de pala, es decir, el borde delantero está dispuesto más alto que el borde trasero, de modo que la cuerda del perfil (la línea de conexión entre el borde delantero y el borde trasero) presenta el ángulo de ataque geométrico. Esto significa que la pala de rotor de autogiro está inclinada hacia arriba con respecto al plano de rotación.

[0032] Dado que la velocidad de circulación en la región de la raíz es menor que en la región de la punta, es ventajoso que, mediante el alabeo, el ángulo de ajuste de los perfiles aumente en la región de la raíz y disminuya en la región de la punta o hacia la región de la punta. Esto mejora la distribución del viento descendente, por lo que se reduce la resistencia al aire del rotor de autogiro. La potencia de la pala de rotor de autogiro aumenta de este modo.

[0033] Además, el trazado del alabeo en la región del perfil interior y/o en la región del perfil principal tiene una inclinación variable. En este caso, el trazado del alabeo en esta región puede estar curvado de forma cóncava. Por lo tanto, el trazado del alabeo cambia a lo largo de la pala de rotor de autogiro, lo que es ventajoso para el rendimiento de vuelo de la pala de rotor de autogiro. Dado que, durante un vuelo del autogiro, la pala de rotor de autogiro se expone al flujo de manera diferente a lo largo de su longitud, es ventajoso que también el alabeo esté adaptado a estos flujos de aire diferentes. Si el trazado del alabeo se configura curvado de forma cóncava y de forma que disminuya de forma monotónica, el trazado del alabeo se acerca al eje x, es decir, el ángulo de alabeo se acerca a cero grados en dirección a la punta de la pala. Por lo tanto, el perfil en la punta de la pala es paralelo al plano de giro de la pala de rotor de autogiro rotatorio (en un ángulo de ajuste de pala de cero grados). Con ello se mejora el rendimiento de vuelo de la pala de rotor de autogiro, ya que se reducen los remolinos en dirección a la punta de la pala. Con una forma, perfil, alabeo y/o plano de planta especial, la pala de rotor de autogiro puede adaptarse a los requisitos especiales del autogiro. Si, por ejemplo, debe aumentarse el alcance del autogiro (con llenado constante del tanque, etc.) o transportarse una carga útil mayor, el trazado de profundidad de perfil según la invención se puede graduar con un factor que, por ejemplo, reduzca o aumente la profundidad de perfil. Por ejemplo, podría ser el factor 0,8, de modo que la profundidad de perfil se reduzca en este factor. Por lo tanto, la pala de rotor de autogiro se diseña en general más estrecha. Alternativamente, sin embargo, el factor también podría ser 1,2, de modo que la profundidad de perfil se incrementa en este factor. Por lo tanto, la pala de rotor de autogiro se vuelve más ancha por este factor. El factor también podría estar en un intervalo entre 0,8 y 1,2. El factor también podría ser variable en la longitud de la pala de rotor de autogiro. Por lo tanto, por ejemplo, la región del perfil interior y la región del perfil principal podrían tener un factor diferente. Con ello, el trazado de profundidad de perfil se puede adaptar de forma ideal a los objetivos de diseño. Además, el trazado de profundidad de perfil se puede adaptar de forma óptima a diferentes diámetros de rotor. Si, por ejemplo, el plano de planta de la pala de rotor de autogiro tiene una superficie más grande, la fuerza ascensional aumenta de modo que la pala de rotor de autogiro pueda soportar mayores cargas. En este caso, el plano de planta según la invención forma siempre la base para un campo de viento descendente optimizado, lo que en última instancia tiene como consecuencia una reducción de la resistencia del rotor de autogiro. Todo esto aumenta el rendimiento de vuelo de la pala de rotor de autogiro, lo que se logra con la pala de rotor de autogiro según la invención.

5 [0034] Asimismo, es ventajoso que la región del perfil principal se extienda sobre una longitud mayor en comparación con la región del perfil interior. Dado que la velocidad de rotación de la pala de rotor de autogiro es mayor en la región del perfil principal que en la región del perfil interior, la región del perfil principal tiene mayores efectos en el rendimiento de vuelo de la pala de rotor de autogiro. En este caso, la adaptación de una región de perfil principal más grande puede hacerse más efectiva.

10 [0035] Se dispone una región de perfil de transición entre la región del perfil interior y la región del perfil principal. La región del perfil de transición tiene un tercer perfil. En este caso, la geometría de perfil de la región del perfil de transición cambia continuamente y/o fluyendo radialmente hacia el exterior desde el primer perfil hasta el segundo perfil. Con ello, por ejemplo, se puede formar una transición continua y/o que fluya desde un primer y segundo perfil diferentes. Con ello, se pueden evitar discontinuidades, por ejemplo bordes y/o rebajes, entre el primer y el segundo perfil, lo que permite una transición continua de las propiedades aerodinámicas y, por lo tanto, aumentar el rendimiento de vuelo de la pala de rotor de autogiro. Además, también se podría disponer más de una región de perfil de transición entre la región del perfil interior y la región del perfil principal. Cada una de estas múltiples regiones de perfil de transición también podría tener un perfil, siendo al menos dos perfiles diferentes.

15 [0036] Además o como alternativa, también se puede disponer una segunda región de perfil de transición entre la región del perfil principal y la región del perfil exterior. Con ello, pueden abordarse mejor las condiciones de flujo del aire alrededor de la pala de rotor de autogiro. Además, también se podría disponer más de una segunda región de perfil de transición entre la región del perfil principal y la región del perfil exterior. Cada una de estas múltiples regiones de perfil de transición también podría tener un perfil, siendo al menos dos perfiles diferentes.

20 [0037] Además, es ventajoso disponer un borde de ataque en la región del borde trasero, de modo que la pala de rotor de autogiro esté curvada hacia el lado de presión negativa y/o que el lado de presión negativa y el de presión positiva estén esencialmente paralelos en la región del borde de ataque. Con el borde de ataque, que está curvado en particular hacia el lado de presión negativa, el flujo de aire que se desprende de la pala de rotor de autogiro se puede guiar mejor detrás del borde trasero de la pala de rotor de autogiro, por lo que se pueden reducir las cargas torsionales.

25

[0038] El trazado del alabeo en la región del perfil de transición tiene una inclinación constante, de modo que el trazado del alabeo es rectilíneo, en particular en toda la región del perfil de transición. Esto permite una transición continua de las propiedades aerodinámicas.

30 [0039] También es ventajoso que el alabeo, en particular el ángulo de alabeo, sea constante en dirección longitudinal en la primera y/o en la segunda región del perfil de transición. Esto simplifica la construcción de la pala de rotor de autogiro. Además o como alternativa, el alabeo en la primera y/o en la segunda región del perfil de transición puede ser mayor que en la región del perfil interior y/o principal. Con ello, por ejemplo, en un tramo corto en la dirección longitudinal de la pala de rotor de autogiro, puede compensarse o adaptarse un alabeo entre las regiones de perfil.

35 [0040] También es ventajoso que la inclinación y/o el alabeo total de la región del perfil de transición sea al menos la mitad de grande que la inclinación máxima y/o el alabeo total de la región del perfil interior y/o de la región del perfil principal. De este modo, el primer y el segundo perfil se pueden adaptar entre sí en una longitud más corta de la pala de rotor de autogiro.

40 [0041] En este caso, el alabeo puede variar linealmente de la raíz de la pala hacia la punta de la pala de la manera descrita anteriormente, lo que es ventajoso ya que la velocidad de circulación del aire alrededor de la pala de rotor de autogiro también aumenta linealmente con el radio hacia el exterior. El alabeo podría tener también un trazado parabólico, exponencial, polinómico y/o logarítmico desde la raíz de la pala hasta la punta de la pala. Además, el alabeo puede ser diferente en cada región, en particular las regiones del perfil de transición, la región del perfil interior, la región del perfil principal y/o la región del perfil exterior. Asimismo, al menos una de las regiones mencionadas podría no tener alabeo. De este modo, el alabeo puede adaptarse de manera óptima a las condiciones de flujo en estas regiones.

45

[0042] También tiene ventajas que el alabeo en la región del perfil interior, del perfil principal y/o del perfil exterior sea variable. Por lo tanto, las condiciones de flujo, en particular la velocidad de circulación que aumenta con el radio, pueden abordarse de manera particularmente ventajosa, lo que reduce la resistencia al aire y, por lo tanto, aumenta el rendimiento de vuelo.

50

[0043] Además, es ventajoso que la pala de rotor de autogiro tenga preferiblemente solo pequeños ángulos de alabeo en la región de la punta de la pala, en particular la región del perfil exterior. Mediante la región del perfil exterior, la pala de rotor de autogiro puede adaptarse mejor a las condiciones de flujo. Si, por ejemplo, el ángulo de alabeo es constante, la pala de rotor de autogiro no se retuerce en la región del perfil exterior, lo que permite una producción más sencilla de la pala de rotor de autogiro.

55

ES 2 807 750 T3

5 [0044] Además, es ventajoso que el trazado del alabeo tenga un ángulo de alabeo positivo en toda la región del perfil interior y/o en la región o regiones de transición. Como se describió anteriormente, el ángulo de alabeo indica el grado en que la sección de perfil local se retuerce con respecto a un plano de referencia definido. El ángulo de alabeo de un perfil en un ángulo de ajuste de pala de cero grados es el ángulo que forma un perfil con el plano de giro de la pala de rotor de autogiro rotatoria. En el caso de un ángulo de alabeo positivo, la pala de rotor de autogiro se inclina hacia arriba, lo que significa que el borde delantero de la pala de rotor de autogiro está a una distancia mayor del plano de giro que el borde trasero.

10 [0045] Además, es ventajoso que el trazado del alabeo tenga un ángulo de alabeo positivo en una primera subregión de la región del perfil principal en el lado de la raíz y un ángulo de alabeo negativo en una segunda subregión de la región del perfil principal en el lado de la punta. Además o como alternativa, el ángulo de alabeo entre la primera y la segunda subregión es cero. Por ejemplo, en esta región el perfil se encuentra paralelo al plano de giro con un ángulo de ajuste de pala de cero. Todo esto aumenta el rendimiento de vuelo de la pala de rotor de autogiro.

15 [0046] Además, es ventajoso que el trazado del alabeo tenga una primera curvatura en la transición de la región del perfil interior a la región del perfil de transición. Además o como alternativa, es ventajoso que el trazado del alabeo tenga una segunda curvatura en la transición desde la región del perfil de transición hasta la región del perfil principal. En este caso, la primera y/o la segunda curvatura se pueden diseñar, por ejemplo, de forma negativa y/o convexa.

20 [0047] Además, es ventajoso que el trazado de profundidad de perfil se diseñe como una curva arqueada, por ejemplo en la región del perfil de transición y/o en la región del perfil principal. Además o como alternativa, el trazado de profundidad de perfil puede diseñarse como una curva descendente de forma monótonica. La curva descendente de forma monótonica también puede ser una curva descendente de forma estrictamente monótonica.

25 [0048] Además, es ventajoso que la región del perfil interior tenga un espesor de perfil relativo que indique la relación del mayor espesor de perfil y la profundidad de perfil, entre el 11% y el 15%, preferiblemente el 13,5%, con una distribución de espesor relativo que indique la relación de la distancia del mayor espesor de perfil desde el borde delantero y la profundidad de perfil, entre el 25% y el 35%, preferiblemente cerca del 29,2%. En este caso, el espesor de perfil es la distancia vertical entre el lado de presión positiva y el de presión negativa.

30 [0049] Asimismo, es ventajoso que la región del perfil principal tenga un espesor de perfil relativo que indique la relación del mayor espesor de perfil y la profundidad de perfil, entre el 10% y el 14%, preferiblemente el 12,1%, con una distribución de espesor relativo que indique la relación de la distancia del mayor espesor de perfil del borde delantero y la profundidad de perfil, entre el 26% y el 36%, preferiblemente cerca del 31,1%.

35 [0050] Es ventajoso que la región del perfil interior tenga un arqueado máximo que indique la relación de la mayor distancia entre la cuerda del perfil hacia la línea de curvatura media y la profundidad de perfil, entre el 3% y el 4%, preferiblemente entre el 3,6% y el 3,8%, con una distribución de arqueado relativo que indique la relación entre la distancia del arqueado máximo del borde delantero y la profundidad de perfil, entre el 30% y el 40%, preferiblemente cerca del 35,3%. En este caso, la cuerda del perfil es la línea de conexión desde el borde delantero hacia el borde trasero. La línea de curvatura media es la línea que se extiende por el centro entre el lado de presión negativa y el de presión positiva.

40 [0051] Es ventajoso que la región del perfil principal tenga un arqueado máximo que indique la relación de la mayor distancia entre la cuerda del perfil hacia la línea de curvatura media y la profundidad de perfil, entre el 3% y el 4%, en particular entre el 3,2% y el 3,4%, con una distribución de arqueado relativo que indique la relación entre la distancia del arqueado máximo del borde delantero y la profundidad de perfil, entre el 30% y el 40%, preferiblemente cerca del 36,8%.

45 [0052] Además, es ventajoso que el perfil de sección transversal de la región del perfil interior se forme en coordenadas normalizadas en 1 según la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

X/c	Y/c
0,9999143	0,0013778
0,9096047	0,0057740
0,8094283	0,0215009
0,7018852	0,0380422
0,5942588	0,0547910

ES 2 807 750 T3

X/c	Y/c
0,5069711	0,0676497
0,4086232	0,0790094
0,3009582	0,0828136
0,1957930	0,0751251
0,1002021	0,0572140
0,0000021	-0,0001393
0,0993147	-0,0268982
0,2099724	-0,0272236
0,2992137	-0,0251922
0,4082850	-0,0217272
0,4999015	-0,0184438
0,5916794	-0,0151009
0,7018578	-0,0112716
0,7933965	-0,0082416
0,9019589	-0,0051074
1,0000250	-0,0013522

[0053] Los valores X/c e Y/c están normalizados en la profundidad de perfil (c en el divisor de los valores), el origen de las coordenadas está en el borde delantero y los valores se disponen en la tabla de arriba a abajo de tal manera que el punto de partida es el borde trasero, primero a lo largo del lado de presión negativa hacia el borde delantero y a continuación a lo largo del lado de presión positiva de nuevo de vuelta al borde trasero.

- 5 [0054] Además, es ventajoso que el perfil de sección transversal de la región del perfil principal se forme en coordenadas normalizadas en 1 según la siguiente Tabla 2.

Tabla 2

X/c	Y/c
0,9999143	0,0015200
0,9084306	0,0066846
0,7988078	0,0244418
0,7023305	0,0398598
0,6058425	0,0553892
0,4954016	0,0718163
0,4047419	0,0813044
0,3017767	0,0832083
0,1994129	0,0743986
0,1020109	0,0551867
0,0000031	-0,0001814
0,0957733	-0,0261818
0,2031406	-0,0278629
0,2994944	-0,0263669
0,3968387	-0,0235516
0,4948608	-0,0200729
0,6096461	-0,0157994

X/c	Y/c
0,7080685	-0,0121285
0,8063514	-0,0085282
0,9045046	-0,0051214
1,0000250	-0,0014784

[0055] Los valores X/c e Y/c están normalizados en la profundidad de perfil (c en el divisor de los valores), el origen de las coordenadas está en el borde delantero y los valores se disponen en la tabla de arriba a abajo de tal manera que el punto de partida es el borde trasero, primero a lo largo del lado de presión negativa hacia el borde delantero y a continuación a lo largo del lado de presión positiva de nuevo de vuelta al borde trasero.

5 [0056] Además, los valores Y/c de la Tabla 1 pueden proporcionarse con un factor de 0,7 a 1,1, preferiblemente 0,8, y/o los valores Y/c de la Tabla 2 con un factor de 0,7 a 1,1, preferiblemente 0,9. Por lo tanto, las dos tablas, en particular los valores Y/c, se pueden graduar con estos factores.

10 [0057] Por medio de estos perfiles de las regiones (región de perfil interior, principal y/o exterior) de la pala de rotor de autogiro diseñados de esta manera, esta puede adaptarse de manera óptima a los requisitos para el comportamiento de vuelo del rotor de autogiro. Si, por ejemplo, se requiere una velocidad de vuelo más alta, el espesor de perfil relativo puede seleccionarse, por ejemplo, menor, con lo que se contrarrestan los efectos transónicos que ocurren a velocidades de vuelo más altas, lo que conduce no solo a una menor resistencia al aire del rotor de autogiro, sino también a una correspondiente reducción de ruido.

[0058] Se describen otras ventajas de la invención en los siguientes ejemplos de realización. En el dibujo muestran:

15 Figura 1 una vista en perspectiva de una pala de rotor de autogiro,
 Figura 2 un diagrama de un trazado de profundidad de perfil y de un trazado del alabeo de una pala de rotor de autogiro,
 Figura 3 una sección transversal del perfil de la región del perfil interior y
 Figura 4 una sección transversal del perfil de la región del perfil principal.

20 [0059] La Figura 1 muestra una vista en perspectiva de una pala 1 de rotor de autogiro. Esta se extiende a lo largo de una dirección longitudinal desde una raíz 2 de pala hasta una punta 3 de pala, que se disponen en los respectivos extremos de la pala 1 de rotor de autogiro. En la región de la raíz 2 de pala, la pala 1 de rotor de autogiro se puede sujetar a un cabezal de rotor de un autogiro. Por lo tanto, la pala 1 de rotor de autogiro rota alrededor del cabezal de rotor durante la operación de vuelo del autogiro, estando la raíz 2 de pala en el interior durante la rotación y la punta 3 de pala en el exterior. Por ello, la punta 3 de pala tiene una velocidad periférica más alta que, por ejemplo, una región más hacia el interior en dirección a la raíz 2 de pala. Una superposición de la velocidad periférica de la pala 1 de rotor de autogiro y un viento aparente da como resultado la velocidad de circulación del aire en la pala 1 de rotor de autogiro. Por ejemplo, en el caso de la pala 1 de rotor de autogiro que va hacia adelante, la velocidad de flujo es mayor hacia el exterior.

30 [0060] Además, la pala 1 de rotor de autogiro tiene un borde delantero 4 que va por delante durante la operación de vuelo del autogiro, y un borde trasero 5 que va detrás durante la operación de vuelo del autogiro. El borde delantero 4 y el borde trasero 5 bordean la pala 1 de rotor de autogiro, de modo que su borde forma un plano de planta de la pala 1 de rotor de autogiro (véase la Figura 2).

35 [0061] Una sección, en particular una sección de 90°, transversal respecto a la dirección longitudinal designa un perfil 21a-f de la pala 1 de rotor de autogiro. Los perfiles respectivos 21a-f pueden cambiarse en la dirección longitudinal de la pala 1 de rotor de autogiro de modo que los perfiles respectivos 21a-f difieran. Además, los perfiles 21a-f pueden, por ejemplo, cambiarse continuamente, convirtiéndose el primer perfil 21c, por ejemplo, continua y constantemente en el tercer perfil 21d. Además, la pala 1 de rotor de autogiro también puede tener perfiles 21 significativamente más diferentes. Por ejemplo, la pala 1 de rotor de autogiro puede tener un perfil 21 adicional, en particular diferente, entre el primer perfil 21c y el tercer perfil 21d.

[0062] Los perfiles 21a-f en las diversas regiones de la pala 1 de rotor de autogiro determinan en este caso las propiedades de la pala 1 de rotor de autogiro, como por ejemplo la fuerza ascensional y la resistencia al aire.

[0063] El primer perfil 21c es la sección transversal de una región de perfil interior 9 (véanse las Figuras 2 y 3). El segundo perfil 21e es la sección transversal de una región de perfil principal 10 (véanse las Figuras 2 y 4).

[0064] Además, la distancia entre el borde delantero 4 y el borde trasero 5 se denomina profundidad de perfil 8. Según la invención, la profundidad de perfil 8 disminuye de forma monótonica desde una región de una profundidad de perfil máxima 15 hacia la punta 3 de pala. Además o como alternativa, la profundidad de perfil 8 también se puede diseñar para que sea constante en una región de la pala 1 de rotor de autogiro. La profundidad de perfil 8 también puede influir en las propiedades de la pala 1 de rotor de autogiro. Por ejemplo, un trazado de profundidad de perfil correspondiente origina un campo de viento descendente más favorable, lo que en última instancia origina una menor resistencia del rotor de autogiro.

[0065] Por lo tanto, los requisitos del autogiro pueden abordarse con una pala 1 de rotor de autogiro que se estrecha hacia el exterior y formas especiales de los perfiles 21a-f. Si, por ejemplo, el autogiro debe transportar cargas mayores, el trazado de profundidad de perfil puede graduarse con un factor que, por ejemplo, aumente la profundidad de perfil local, de modo que se aumente la fuerza ascensional. Este factor puede ser el mismo para cada región de la pala de rotor de autogiro. Además o como alternativa, las regiones individuales, por ejemplo la región del perfil interior, del perfil principal, del perfil exterior y/o la al menos una región de perfil de transición, podrían tener factores diferentes. En este caso, al menos dos factores son diferentes. Asimismo, se pueden formar perfiles 21a-f que tengan una mayor fuerza ascensional. En cambio, si el autogiro debe utilizarse, por ejemplo, para fines deportivos, el trazado de profundidad de perfil se puede reducir con un factor que, por ejemplo, reduzca la profundidad de perfil local de modo que el trazado de profundidad de perfil se pueda adaptar idealmente a cada radio de rotor de autogiro, y así se reduzca la resistencia al aire y, de este modo, se pueda lograr una mayor velocidad de vuelo con el autogiro. Por lo tanto, el rendimiento de vuelo de la pala 1 de rotor de autogiro en general puede aumentarse y adaptarse a los requisitos del autogiro.

[0066] La distancia transversal respecto a la dirección longitudinal, en particular 90° respecto a la dirección longitudinal, de la pala 1 de rotor de autogiro entre el borde delantero 4 y el borde trasero 5 se denomina profundidad de perfil 8. La profundidad de perfil 8 disminuye desde una región de una profundidad de perfil máxima 15 hacia la punta 3 de pala. Con una profundidad de perfil 8 decreciente, puede generarse un campo de viento descendente más favorable, por lo que se forman menos remolinos y se reduce la resistencia al aire. Con la reducción de la profundidad de perfil 8 hacia el exterior, se reduce la resistencia al aire del rotor de autogiro, lo que es ventajoso para el rendimiento de vuelo del autogiro.

[0067] La Figura 2 muestra un diagrama de un trazado de profundidad de perfil 22 y de un trazado del alabeo 23 de una pala 1 de rotor de autogiro. La extensión longitudinal 14 de la pala 1 de rotor de autogiro se aplica en el eje de abscisas u horizontal. En este caso, la raíz 2 de pala está dispuesta en el lado izquierdo y la punta 3 de pala en el lado derecho del eje de abscisas. Por lo tanto, la pala 1 de rotor de autogiro se extiende en una dirección de coordenadas positiva desde la raíz 2 de pala hacia la punta 3 de pala. En el eje de ordenadas o vertical, por un lado se aplica la profundidad de perfil 8, y por otro lado el alabeo de la pala 1 de rotor de autogiro o el ángulo de alabeo α . Los dos gráficos reproducen así el trazado de profundidad de perfil 22 y el trazado del alabeo 23.

[0068] La pala 1 de rotor de autogiro se divide, además, en diferentes regiones de perfil 9, 10, 11, 12. Se dispone una región de perfil interior 9 en la raíz 2 de pala y/o adyacente a esta. Se dispone una región de perfil exterior 11 en la punta 3 de pala y/o adyacente a esta. Se dispone una región de perfil principal 10 entre estas regiones de perfil 9, 11. Las tres regiones de perfil 9, 10, 11 pueden tener en este caso diferentes perfiles. En este caso, un perfil es una sección, en particular una sección de 90° , hacia la dirección longitudinal de la pala 1 de rotor de autogiro. Por ejemplo, la región del perfil interior 9 podría tener un perfil, en particular el primer perfil 21c de la Figura 1, según la Tabla 1 contenida en la descripción anterior o según la Figura 3. La región del perfil principal 10 podría, por ejemplo, tener un perfil, en particular el segundo perfil 21e de la Figura 1, según la Tabla 2 contenida en la descripción anterior o según la Figura 4.

[0069] Además, se dispone una región de perfil de transición 12 entre la región del perfil interior 9 y la región del perfil principal 10. Además, también se puede disponer una segunda región de perfil de transición entre la región del perfil principal 10 y la región del perfil exterior 11. En particular, la región del perfil interior 9 así como la región del perfil principal 10 tienen perfiles 21c, 21e diferentes. Se puede formar una transición entre los diversos perfiles mediante la región del perfil de transición 12.

[0070] Un alabeo en la pala 1 de rotor de autogiro es un retorcimiento de la misma alrededor de un eje en dirección longitudinal. El borde delantero 4 y el borde trasero 5 (véase la Figura 1) describen en un alabeo una hélice alrededor del eje en dirección longitudinal. En particular, el borde delantero 4 se hace girar desde la raíz 2 de pala hasta la punta 3 de pala en dirección al lado de presión positiva 7 y el borde trasero 5 en dirección al lado de presión negativa 6 (para el lado de presión positiva 7 y el lado de presión negativa 6 véanse las Figuras 3, 4). Durante el funcionamiento normal de vuelo del autogiro, la pala 1 de rotor de autogiro tiene, por tanto, un ángulo con respecto a un plano de rotación del rotor de autogiro mayor en la raíz 2 de pala que en la punta 3 de pala. Este ángulo mayor en la raíz 2 de pala también se refleja de nuevo en que el borde delantero 4 está a una distancia mayor con respecto a este plano de rotación que el borde trasero 5. En la punta 3 de pala, esta diferencia en las distancias del borde delantero 4 o del borde trasero 5 con respecto al plano de rotación es menor debido al alabeo. Esto conduce a una menor resistencia al aire de la pala 1 de rotor de autogiro.

- 5 [0071] Además, por ejemplo, una sección en el eje de ordenadas izquierdo 16, que indica la profundidad de perfil 8 de la pala 1 de rotor de autogiro, podría ser el 20% de la profundidad de perfil máxima. Por lo tanto, el eje de ordenadas izquierdo se extendería más del 120% (del 0% al 120%). Una sección del eje de ordenadas derecho 17, que indica el alabeo, podría ser, por ejemplo, 1°. Además, el eje de ordenadas derecho podría llegar de -1° a 5°. Una sección en el eje de abscisas 18 podría ascender al 10% de la extensión longitudinal 14, por lo tanto la pala 1 de rotor de autogiro se extiende del 0% al 100% de la extensión longitudinal 14, con lo que se normaliza en la extensión longitudinal 14.
- 10 [0072] Cabe señalar aquí que, aunque la región delante de la región del perfil interior 9 del 0% al 16% todavía pertenece a la pala 1 de rotor de autogiro, aquí, por ejemplo, los medios de sujeción están dispuestos y forman una transición a la región del perfil interior. Por esta razón, el trazado de profundidad de perfil 22 y el trazado del alabeo 23 tienen un valor constante y aumentan rápidamente en la transición a la región del perfil interior 9. Sin embargo, esta región debe excluirse al considerar la función de la pala 1 de rotor de autogiro. Por ello, la extensión longitudinal 14 y la consideración de la función de la pala 1 de autogiro solo empiezan en el 16% y terminan cerca del 100%.
- 15 [0073] Además, la pala 1 de rotor de autogiro se divide en diferentes regiones de perfil 9, 10, 11, 12. Se dispone la región de perfil interior 9 en la raíz 2 de pala y/o adyacente a esta. A continuación de esta se dispone la región del perfil de transición 12. De nuevo a continuación de esta se dispone la región del perfil principal 10. Finalmente, la pala 1 de rotor de autogiro tiene la región del perfil exterior 11. Además o como alternativa, se puede disponer una segunda región de perfil de transición entre la región del perfil principal 10 y la región del perfil exterior 11.
- 20 [0074] En este ejemplo de realización, la región del perfil interior 9 se extiende en un intervalo del 16% al 34% de la extensión longitudinal de la pala 1 de rotor de autogiro. La profundidad de perfil 8 se puede leer, por ejemplo, mediante el trazado de profundidad de perfil 22 para la región del perfil interior 9, y tiene, por ejemplo, valores de aproximadamente el 100% hasta el 90% de la profundidad de perfil máxima. La distancia entre el borde delantero 4 y el borde trasero 5 es, por lo tanto, estos valores de la profundidad de perfil máxima en esta región. El trazado de profundidad de perfil 22 disminuye de forma monotónica desde una región de la profundidad de perfil máxima 15 de la pala 1 de rotor de autogiro. Además o como alternativa, el trazado de profundidad de perfil 22 también se puede diseñar para que sea constante en una región de la extensión longitudinal 14. El trazado del alabeo 23 también disminuye de forma monotónica en esta región del perfil interior 9. En este caso, el alabeo en esta región está entre aproximadamente 4,5° y 2,8°, como se puede leer mediante el trazado del alabeo 23. En una sección de aproximadamente el 16% al 34% de la extensión longitudinal 14, el trazado del alabeo 23 es cóncavo, por ejemplo, parabólico y/o exponencialmente descendente.
- 30 [0075] Por ejemplo, la región del perfil de transición 12 puede extenderse del 35% al 50% de la extensión longitudinal 14. Aquí, el trazado de profundidad de perfil 22 es más o menos constante. El trazado del alabeo 23 disminuye linealmente o tiene una inclinación constante (negativa). Por ejemplo, el ángulo de alabeo α disminuye del 2,8° al 0,8°.
- 35 [0076] Por ejemplo, la región del perfil principal 10 se extiende del 50% al 96% de la extensión longitudinal 14 de la pala 1 de rotor de autogiro. En esta región, el trazado de profundidad de perfil 22 continúa disminuyendo de forma monotónica. En una primera sección de esta región, de aproximadamente el 50% al 64% de la extensión longitudinal 14, el trazado de profundidad del perfil 22 disminuye solo ligeramente de, por ejemplo, el 87% al 82%. Del 64% al 96%, el trazado de profundidad de perfil 22 disminuye en mayor medida, de un valor de por ejemplo el 82% al 42%.
- 40 [0077] El plano de planta de la pala 1 de rotor de autogiro disminuye de forma monotónica desde la raíz 2 de pala hacia la punta 3 de pala con una profundidad de perfil máxima 15 y tiene las profundidades de perfil enumeradas en la siguiente Tabla 3 en las posiciones de radio enumeradas. La profundidad de perfil máxima 15 está normalizada en el 100%. Todos los demás valores enumerados en la Tabla 3 se refieren a esta profundidad de perfil máxima. La profundidad de perfil 8 disminuye a partir de una profundidad de perfil máxima en dirección a la punta 3 de pala de modo que, por ejemplo, en el 60% del radio la profundidad de perfil 8 sigue siendo el 85% de la profundidad de perfil máxima. Entre las posiciones de radio, el plano de planta tiene transiciones uniformes y/o se extiende arqueado. Además, la profundidad de perfil 8 se puede graduar con un factor de 0,8 a 1,2 con el fin de adaptar idealmente el plano de planta para los respectivos objetivos de diseño:
- 45

Tabla 3

Radio	Profundidad de perfil desde	Profundidad de perfil hasta	% de profundidad máxima
20%	80%	120%	100%
30%	75,8%	113%	94,5%
50%	69,6%	104%	87,0%
60%	67,9%	102%	85,0%

Radio	Profundidad de perfil desde	Profundidad de perfil hasta	% de profundidad máxima
70%	62,1%	92,8%	77,5%
90%	43,0%	64,2%	53,6%

[0078] El trazado del alabeo 23 también disminuye en la región del perfil principal 10. El valor del trazado del alabeo 23 disminuye, por ejemplo, de $0,8^\circ$ a $-0,5^\circ$ y tiene, por ejemplo, un trazado descendente de forma parabólica, polinómica y/o exponencial.

5 [0079] Además, la región del perfil principal 10 tiene, en el lado de la raíz, una primera subregión 24 en la que el trazado del alabeo 23 tiene valores positivos, en particular ángulos de alabeo α positivos. Además, la región del perfil principal 10 tiene, en el lado de la punta, una segunda subregión 25 en la que el trazado del alabeo 23 tiene valores negativos, en particular ángulos de alabeo α negativos. Entre la primera subregión 24 y la segunda subregión 25 tiene lugar un cambio de signo 28 del trazado del alabeo 23 que está dispuesto en aproximadamente el 70% de la dirección longitudinal de la pala 1 de rotor de autogiro. En un ángulo de ataque de cero grados, el perfil se dispone paralelo al plano de giro de la pala 1 de rotor de autogiro rotatoria en el punto del cambio de signo 28. En la primera subregión 24, el ángulo de ataque geométrico local aumenta por el alabeo. En cambio, en la segunda subregión 25 el ángulo de ataque geométrico se reduce. Estos cambios en el ángulo de ataque geométrico provocan una distribución de viento descendente más favorable de modo que se producen menos remolinos en la estela, por lo que el rotor de autogiro autorrota más fácilmente, lo que conlleva una menor resistencia del rotor de autogiro.

15 [0080] Entre el 96% y el 100% de la extensión longitudinal 14 de la pala 1 de rotor de autogiro se puede disponer la región del perfil exterior 11, que completa la pala 1 de rotor de autogiro. Aquí, el trazado de profundidad del perfil 22 disminuye de forma parabólica, convexa, polinómica y/o no lineal en el 42% y va hacia cero. El trazado del alabeo 23 permanece esencialmente constante en esta región.

20 [0081] Una pala 1 de rotor de autogiro con este trazado de profundidad de perfil 22 y este trazado del alabeo 23 puede ajustarse a los requisitos de vuelo especiales. Por ejemplo, esta pala 1 de rotor de autogiro puede permitir una alta velocidad de vuelo del autogiro, ya que la resistencia al aire es particularmente baja.

[0082] El trazado de profundidad de perfil 22 se forma en la región del perfil de transición 12 y/o en la región del perfil principal 10 como una curva arqueada y/o descendente de forma monotónica. El trazado de profundidad de perfil 22 también se puede determinar mediante una curva descendente de forma estrictamente monotónica.

25 [0083] Además, el trazado del alabeo 23 tiene una primera curvatura 26 entre la región del perfil interior 9 y la región del perfil de transición 12 y una segunda curvatura 27 entre la región del perfil de transición 12 y la región del perfil principal 10.

30 [0084] Además, la inclinación del trazado del alabeo 23 en la región del perfil de transición 12 es al menos la mitad de grande que en la región del perfil interior 9 y/o la región del perfil principal 10. Además, el alabeo total en la región del perfil de transición 12 es al menos la mitad de grande que el alabeo total en la región del perfil interior 9 y/o la región del perfil principal 10. En este caso, una diferencia entre el trazado del alabeo 23 al principio y al final de una región debe definirse como alabeo total en una región. Por ejemplo, el alabeo total en la región del perfil de transición 12 es de aproximadamente $2,0^\circ$ ($2,8^\circ - 0,8^\circ$).

35 [0085] La Figura 3 muestra una sección transversal del perfil de la región del perfil interior 9 (véase la Figura 2). En este caso, la Figura 3 es la representación gráfica de la Tabla 1 de la descripción anterior. El perfil de la región del perfil interior 9 está delimitado por el borde delantero 4, el borde trasero 5, un lado de presión negativa 6 así como el lado de presión positiva 7. El lado de presión negativa 6 está arqueado mucho más que el lado de presión positiva 7, de modo que el efecto de desplazamiento del perfil provoca una aceleración del flujo de aire que fluye alrededor, por lo que se regula la distribución de presión correspondiente según la ley de Bernoulli. Esto provocará una presión menor en el lado de presión negativa que en el lado de presión positiva. Esto produce una fuerza en la dirección del lado de presión negativa 6 que genera la fuerza ascensional.

40 [0086] La profundidad de perfil 8 está normalizada en 1 en esta Figura 3, en donde el borde delantero 4 puede disponerse en el sistema de coordenadas en 0 y el borde trasero 5 en 1. Los valores X/c e Y/c contenidos en las Tablas 1, 2 son, en este caso, las coordenadas X e Y correspondientes del sistema de coordenadas, en donde c se encuentra en el denominador para la profundidad de perfil 8 (con el fin de normalizar las coordenadas).

[0087] El espesor de perfil 19 también está normalizado en la profundidad de perfil 8. Un espesor de perfil relativo de la pala 1 de rotor de autogiro se define como la relación entre el mayor espesor de perfil 20a y la profundidad de perfil 8. Por ejemplo, en el caso de una distribución de espesor relativo, el espesor de perfil relativo de la región del perfil interior 9 está entre el 25% y el 35%, y asciende entre el 11% y el 15%, preferiblemente el 13,5%. En este

caso, la distribución de espesor relativo es la relación de la distancia del mayor espesor de perfil 20a del borde delantero 4 y la profundidad de perfil 8. En este ejemplo de realización, el espesor relativo 20a se dispone en el 29,2%.

5 [0088] Además, el perfil de la región del perfil interior 9 tiene un arqueo máximo entre el 3% y el 4%, en particular entre el 3,6% y el 3,8%, en caso de una distribución de arqueo entre el 30% y el 40%, en particular el 35,3%. En este caso, el arqueo máximo es la relación de la distancia mayor entre la cuerda del perfil y la línea de curvatura media. La cuerda del perfil es la línea de conexión entre el borde delantero 4 y el borde trasero 5. La línea de curvatura media está en medio entre el lado de presión negativa 6 y el lado de presión positiva 7.

10 [0089] Por ejemplo, si la pala 1 de rotor de autogiro tiene un espesor de perfil 19 mayor, aumenta la fuerza ascensional. Con este perfil, por ejemplo, se puede transportar una carga mayor con el autogiro.

[0090] En cambio, si el espesor de perfil 19 es menor, se reduce la resistencia al aire de la pala 1 de rotor de autogiro. Entonces se puede lograr, por ejemplo, una mayor velocidad de vuelo y/o un mayor alcance con el autogiro, de modo que el autogiro se pueda utilizar con fines deportivos.

15 [0091] La Figura 4 muestra una sección transversal del perfil de la región del perfil principal 10. En este caso, la Figura 4 es la representación gráfica de la Tabla 2 de la descripción anterior. Aquí, además, solo deben abordarse las diferencias con respecto a la anterior Figura 3. El perfil de la región del perfil principal 10 tiene un espesor de perfil relativo entre el 10% y el 14%, preferiblemente del 12,1%, con una distribución de espesor relativo entre el 26% y el 36%, preferiblemente del 29,2%. El perfil tiene un mayor espesor de perfil 20b. Además, el perfil de la región del perfil principal 10 tiene un arqueo máximo entre el 3% y el 4%, en particular entre el 3,2 % y el 3,4%, con una distribución de arqueo relativo entre el 30% y el 40%, preferiblemente cerca del 36,8%.

[0092] La presente invención no se limita a los ejemplos de realización representados y descritos. También son posibles variaciones en el marco de las reivindicaciones, al igual que una combinación de las características, incluso si se representan y describen en distintos ejemplos de realización.

Lista de números de referencia

25 [0093]

- 1 pala de rotor de autogiro
- 2 raíz de pala
- 3 punta de pala
- 4 borde delantero
- 30 5 borde trasero
- 6 lado de presión negativa
- 7 lado de presión positiva
- 8 profundidad de perfil
- 9 región del perfil interior
- 35 10 región del perfil principal
- 11 región del perfil exterior
- 12 región del perfil de transición
- 14 extensión longitudinal
- 15 región de profundidad de perfil máxima
- 40 16 sección del eje de ordenadas izquierdo
- 17 sección del eje de ordenadas derecho
- 18 sección del eje de abscisas
- 19 espesor de perfil
- 20 mayor espesor de perfil
- 45 21a perfil
- 21b perfil
- 21c primer perfil
- 21d tercer perfil
- 21e segundo perfil
- 50 21f perfil
- 22 trazado de profundidad de perfil
- 23 trazado del alabeo
- 24 primera subregión
- 25 segunda subregión
- 55 26 primera curvatura
- 27 segunda curvatura

28 cambio de signo
 α ángulo de alabeo

REIVINDICACIONES

- 5 1. Pala de rotor de autogiro para la generación de elevación autorrotatoria con una región de perfil interior (9) en el lado de la raíz que tiene un primer perfil (21c), con una región de perfil principal (10) en el lado de la punta que tiene un segundo perfil (21e) diferente del primer perfil (21c), y con un trazado de profundidad de perfil (22) que disminuye de forma monotónica en la dirección longitudinal de la pala (1) de rotor de autogiro desde la región de la raíz (2) de pala en dirección a la punta (3) de pala, caracterizada por que la pala (1) de rotor de autogiro tiene un alabeo con un trazado del alabeo (23) que disminuye de forma monotónica partiendo desde la región de la raíz (2) de pala hacia la punta (3) de pala, por que el trazado del alabeo (23) tiene una inclinación variable en la región del perfil interior (9) y la región del perfil principal (10), de modo que el trazado del alabeo (23) está curvado de forma cóncava en estas regiones (9, 10), por que la pala (1) de rotor de autogiro tiene una región de perfil de transición (12) que está dispuesta entre la región del perfil interior (9) y la región del perfil principal (10), y que tiene un tercer perfil (21d) cuya geometría de perfil varía de forma continua radialmente hacia el exterior desde el primer perfil (21c) al segundo perfil (21e), y por que el trazado del alabeo (23) tiene una inclinación constante en la región del perfil de transición (12), de modo que el trazado del alabeo (23) es rectilíneo, en particular en toda la región del perfil de transición (12).
- 15 2. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que la inclinación del trazado del alabeo (23) y/o el alabeo total de la región del perfil de transición (12) es al menos la mitad de grande que la inclinación máxima y/o el alabeo total de la región del perfil interior (9) y/o la región del perfil principal (10).
- 20 3. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que el trazado del alabeo (23) tiene un ángulo de alabeo (a) positivo en toda la región del perfil interior (9) y/o la región de la transición (12).
- 25 4. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que el trazado del alabeo (23) tiene un ángulo de alabeo (a) positivo en una primera subregión (24) de la región del perfil principal (10) en el lado de la raíz y un ángulo de alabeo (a) negativo en una segunda subregión (25) de la región del perfil principal (10) en el lado de la punta (25), y/o por que el ángulo de alabeo (a) entre la primera subregión (24) y la segunda subregión (25) es cero.
- 30 5. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que el trazado del alabeo (23) tiene una primera curvatura (26), en particular negativa y/o convexa, en la transición de la región del perfil interior (9) a la región del perfil de transición (12) y/o una segunda curvatura (27), en particular positiva y/o cóncava, en la transición de la región del perfil de transición (12) a la región del perfil principal (10).
- 35 6. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que la pala de rotor de autogiro (1) tiene, en la región de la punta de pala (3), una región de perfil exterior (11) sobre cuya longitud el ángulo de alabeo es preferiblemente constante.
7. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que el trazado de profundidad de perfil (22) está diseñado como una curva arqueada y/o descendente de forma estrictamente monotónica, en particular en la región del perfil de transición (12) y/o en la región de perfil principal (10).
- 40 8. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que la región del perfil interior (9) tiene un espesor de perfil relativo entre el 11% y el 15%, preferiblemente el 13,5%, con una distribución de espesor relativo entre el 25% y el 35%, preferiblemente de cerca del 29,2%.
9. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que la región del perfil principal (10) tiene un espesor de perfil relativo entre el 10% y el 14%, preferiblemente el 12%, con una distribución de espesor relativo entre el 26% y el 36%, preferiblemente de cerca del 31,1%.
- 45 10. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que la región del perfil interior (9) tiene un arqueado máximo entre el 3% y el 4%, en particular entre el 3,6% y el 3,8%, con una distribución de arqueado relativo entre el 30% y el 40%, preferiblemente de cerca del 35,3%.
- 50 11. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que la región del perfil principal (10) tiene un arqueado máximo entre el 3% y el 4%, en particular entre el 3,2% y el 3,4%, con una distribución de arqueado relativo entre el 30% y el 40%, preferiblemente de cerca del 36,8%.
12. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que el primer perfil (21c) de la región del perfil interior (9) está diseñado según la siguiente Tabla 1

Tabla 1

X/c	Y/c
0,9999143	0,0013778
0,9096047	0,0057740
0,8094283	0,0215009
0,7018852	0,0380422
0,5942588	0,0547910
0,5069711	0,0676497
0,4086232	0,0790094
0,3009582	0,0828136
0,1957930	0,0751251
0,1002021	0,0572140
0,0000021	-0,0001393
0,0993147	-0,0268982
0,2099724	-0,0272236
0,2992137	-0,0251922
0,4082850	-0,0217272
0,4999015	-0,0184438
0,5916794	-0,0151009
0,7018578	-0,0112716
0,7933965	-0,0082416
0,9019589	-0,0051074
1,0000250	-0,0013522

en donde las coordenadas X/c e Y/c están normalizadas en la profundidad de perfil (8), el origen de las coordenadas está en el borde delantero (4) y los valores de la tabla se describen de arriba a abajo del trazado del perfil partiendo del borde trasero (5), a través del lado de la presión negativa (6) hacia el borde delantero (4) y a través del lado de presión positiva (7) de nuevo de vuelta hacia el borde trasero (5).

5

13. Pala de rotor de autogiro según una o más de las reivindicaciones anteriores caracterizada por que el segundo perfil (21e) de la región del perfil principal (10) está diseñado según la siguiente Tabla 2

Tabla 2

X/c	Y/c
0,9999143	0,0015200
0,9084306	0,0066846
0,7988078	0,0244418
0,7023305	0,0398598
0,6058425	0,0553892
0,4954016	0,0718163
0,4047419	0,0813044
0,3017767	0,0832083
0,1994129	0,0743986
0,1020109	0,0551867
0,0000031	-0,0001814

ES 2 807 750 T3

X/c	Y/c
0,0957733	-0,0261818
0,2031406	-0,0278629
0,2994944	-0,0263669
0,3968387	-0,0235516
0,4948608	-0,0200729
0,6096461	-0,0157994
0,7080685	-0,0121285
0,8063514	-0,0085282
0,9045046	-0,0051214
1,0000250	-0,0014784

en donde los valores X/c e Y/c están normalizados en la profundidad de perfil (8), el origen de las coordenadas está en el borde delantero (4) y los valores de la tabla se describen de arriba a abajo del trazado del perfil partiendo del borde trasero (5), a través del lado de la presión negativa (6) hacia el borde delantero (4) y a través del lado de presión positiva (7) de nuevo de vuelta hacia el borde trasero (5).

5

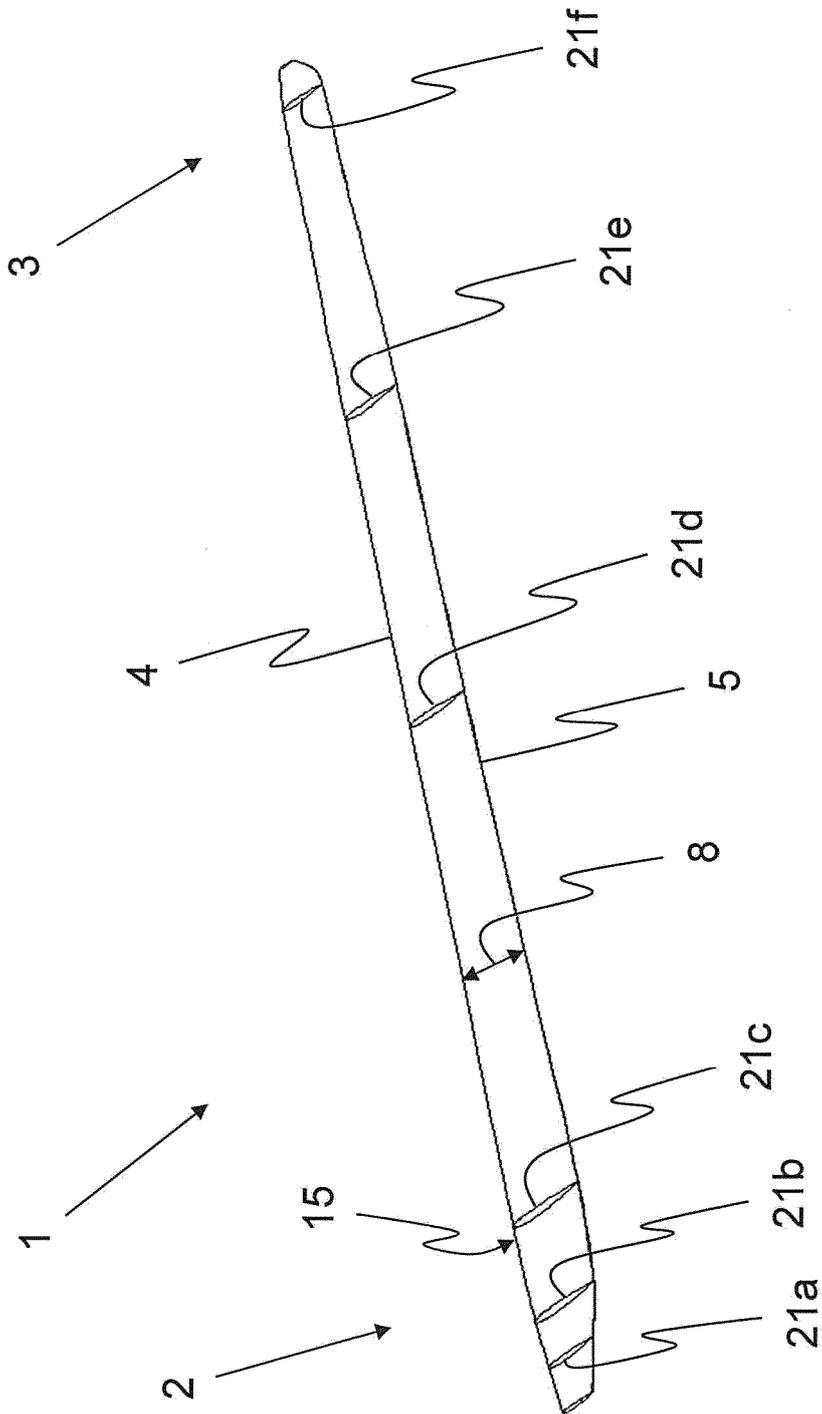


Fig. 1

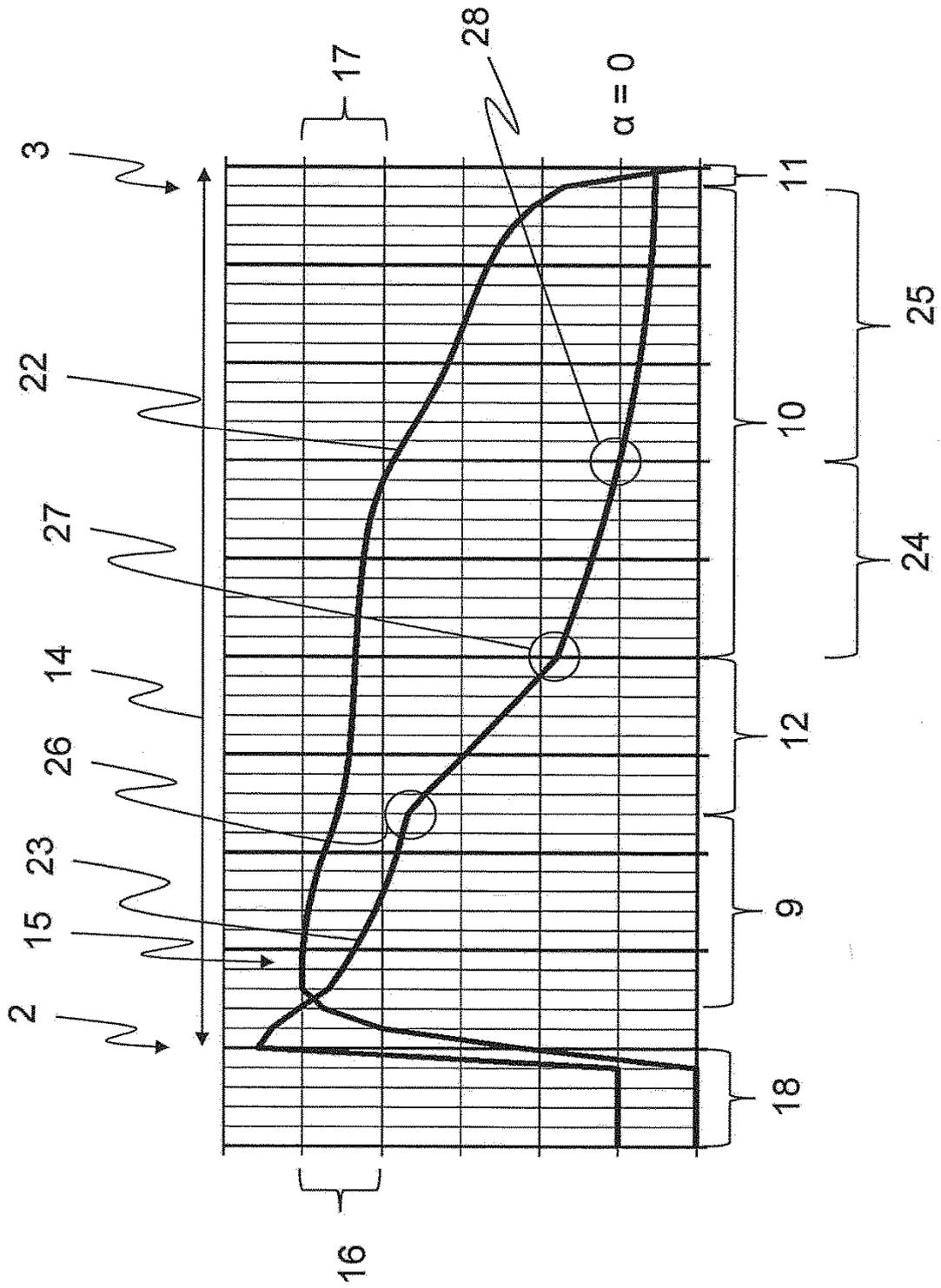


Fig. 2

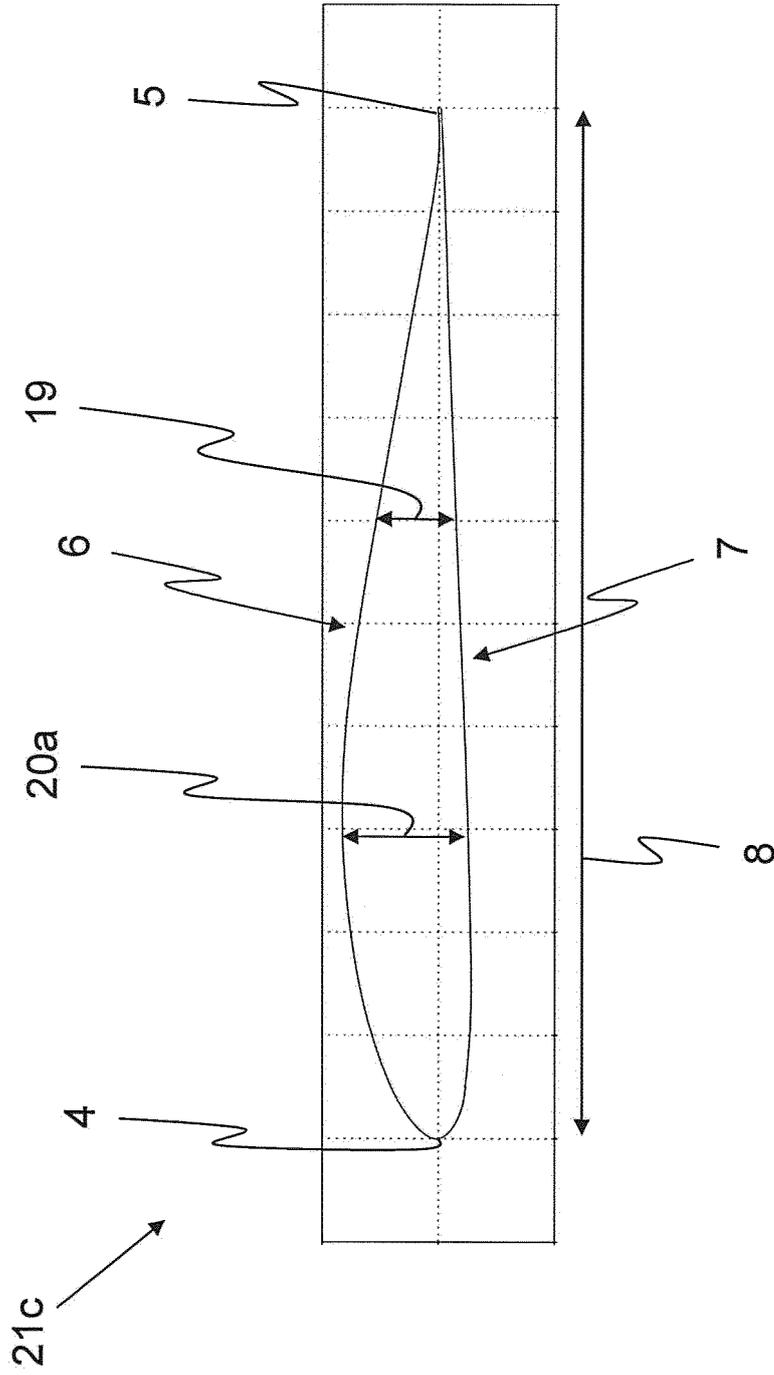


Fig. 3

