

(19)



(11)

EP 1 801 422 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
27.06.2007 Patentblatt 2007/26

(51) Int Cl.:
F04D 29/38 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06003819.7**

(22) Anmeldetag: **24.02.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
 HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
 SK TR**
 Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(71) Anmelder: **Ziehl-Abegg AG
74653 Künzelsau (DE)**

(72) Erfinder: **Neumeier, Ralf
74638 Waldenburg (DE)**

(30) Priorität: **22.12.2005 EP 05028264**

(74) Vertreter: **Samson & Partner
Patentanwälte
Widenmayerstraße 5
80538 München (DE)**

(54) **Ventilator und Ventilatorflügel**

(57) Die Erfindung stellt einen Ventilatorflügel (1) mit einer in der Flügelblattebene S-förmig gekrümmten Anströmkante (2) und einer Außenkante (4), die kürzer als die Anströmkante ist, bereit, bei dem der Mittelpunkt der Außenkante (4) in der Nähe des Radialstrahls (x) des Ventilatorflügels (1) liegt, sowie einen Ventilator (9), der wenigstens einen erfindungsgemäßen Ventilatorflügel (1) verwendet.

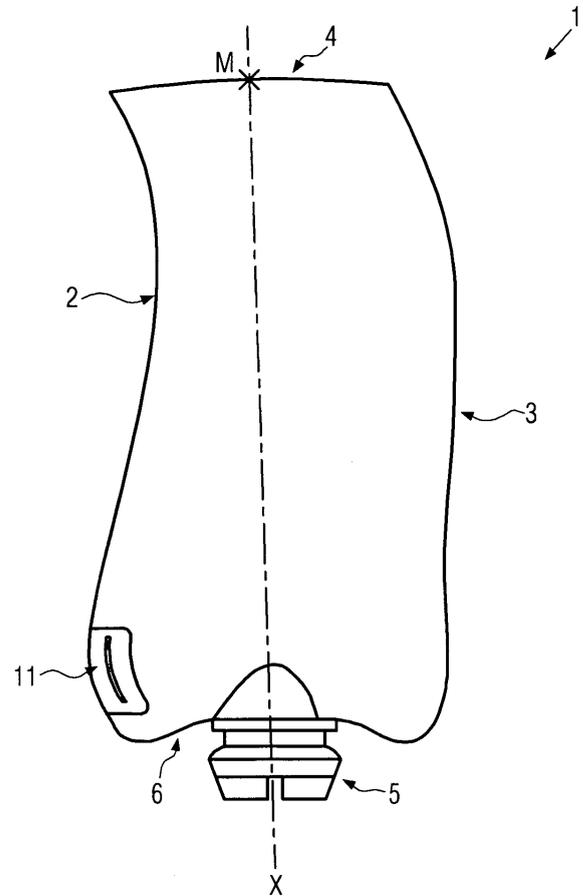


FIG. 2

EP 1 801 422 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Ventilator und einen Ventilatorflügel.

[0002] Bei modernen Ventilatoren oder Lüfterrädern ermöglichen strömungsmechanisch günstig geformte Ventilatorflügel eine hohe Leistungsfähigkeit z.B. hinsichtlich des erreichten Durchströmvolumens oder des Ausströmdrucks. Problematisch ist dabei jedoch häufig eine starke Geräuschentwicklung im Betrieb des Ventilators.

[0003] Die DE 199 480 75 verwendet zur Reduzierung des Laufgeräuschs einen Axialventilator mit Flügeln, die eine S-förmige, voreilende Flügelkante mit einem vorstehenden äußeren Eck aufweisen.

[0004] Die EP 887 558 B1 schlägt Ventilatorflügel mit einer S-förmigen Anströmkante und einer zu der Anströmkante gespiegelten Abströmkante vor.

[0005] Die US 3 416 725 zeigt eine Flügelform mit einer doppelt gesichelten Anströmkante und einer leicht einfach gesichelten Abströmkante.

[0006] Die DE 103 26 637 B3 beschreibt einen Lüfter mit wechselnder Drehrichtung, der Flügel mit S-förmiger, nach außen hin stark zurückweichender Anströmkante aufweist.

[0007] Die WO 1998005868 offenbart ein numerisches Verfahren zur aeroakustischen Optimierung eines Axiallüfters bzw. seiner Blattgeometrie.

[0008] Die US 2 649 921 stellt einen Lüfter mit sehr kurzen und breiten Flügeln und dreifach geschwungenen Anström- und Abströmkanten bereit.

[0009] Die FR 27 280 28 stellt Flügel mit konvexen Kantenbereichen mit großen Winglets dar.

[0010] Zuletzt offenbart die US 5 533 865 einen Rotor für ein Windrad, dessen Flügel eine sägezahnförmige Hinterkante aufweisen.

[0011] Vor diesem technischen Hintergrund befasst sich die Erfindung mit dem Problem, einen geräuscharm arbeitenden Ventilator bzw. Ventilatorflügel bereitzustellen.

[0012] Die Erfindung löst dieses Problem mit einem Ventilator bzw. einem Ventilatorflügel gemäß den unabhängigen Ansprüchen. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen.

[0013] Bevor die Erfindung näher beschrieben wird, werden zur Verständniserleichterung einige Begriffe erläutert. Dazu betrachtet man einen Ventilator mit meist mehreren, sternförmig mittels Befestigungsvorrichtungen an einer Nabe angeordneten Ventilatorflügeln (ein erfindungsgemäßer Ventilator verwendet dafür erfindungsgemäße Ventilatorflügel, wie sie im Folgenden beschrieben werden) zum Bewegen des den Ventilator umgebenden Stoffs, wie beispielsweise Luft oder ein anderes Gas oder auch eine Flüssigkeit. Die Nabe bildet den Mittelpunkt des Ventilators.

[0014] Für jeden Ventilatorflügel wird ein Radialstrahl definiert, der als Gerade vom Mittelpunkt der Nabe aus mittig durch den jeweiligen Flügelfuß des Ventilatorflü-

gels nach außen verläuft.

[0015] Jeder Ventilatorflügel weist eine Anströmkante auf, die im Betrieb in der normalen Bewegungsrichtung voraneilt, und eine Abströmkante, die im Betrieb in der normalen Bewegungsrichtung nacheilt. Vorzugsweise ist auch ein Betrieb der beschriebenen Vorrichtung in entgegengesetzter Laufrichtung möglich. Trotzdem sind die Anström- und Abströmkante meist nur für eine Laufrichtung optimal ausgeformt; der Betrieb in Gegenrichtung kann keine optimale Leistung liefern.

[0016] "Innen" ist bei einem beschriebenen Ventilator die Nabe, "außen" das Gehäuse oder der Schacht (falls vorhanden, was aber meist der Fall ist). Die Außenkante des Ventilatorflügels ist demnach die Kante, die sich am weitesten entfernt von der Nabe befindet; sie ist oftmals kürzer als die Anström- und Abströmkanten.

[0017] Weiterhin besitzt das Ventilatorflügelblatt eine Saugseite, die im Betrieb die anströmende Luft etc. ansaugt, sowie eine gegenüberliegende Druckseite, auf der sich der Druck zum Ausstoßen der Luft etc. aufbaut.

[0018] Ein erfindungsgemäßer Ventilator zeichnet sich nun gegenüber einem vergleichbaren konventionellen Ventilator durch einen geräuschreduzierten Betrieb aus. Wie oben schon erwähnt, verwendet ein erfindungsgemäßer Ventilator wenigstens einen erfindungsgemäßen Ventilatorflügel, den bzw. die er (im Fall von mehreren Ventilatorflügeln vorzugsweise in gleichen Abständen) um eine Nabe anordnet. Zur Befestigung des wenigstens einen Flügels umfasst der Ventilator entsprechende Befestigungsvorrichtungen; beispielsweise nimmt eine Vorrichtung an der Nabe ein am Flügel angebrachtes Gegenstück auf. Naturgemäß verfügt der Ventilator über einen ansteuerbaren Motor, der für seinen Betrieb, also die Rotation des wenigstens einen Ventilatorflügels um eine durch den Mittelpunkt der Nabe gedachte Achse, sorgt. Meist befindet sich der Ventilator in einem Schacht oder Gehäuse. Dem Fachmann sind weitere Einzelheiten zu Aufbau und Funktion der konventionellen Bestandteile eines Ventilators, wie Antrieb oder Ansteuerung, bekannt, auf die hier deshalb nicht näher eingegangen werden muss.

[0019] Der von einem erfindungsgemäßen Ventilator verwendete wenigstens eine erfindungsgemäße Ventilatorflügel erreicht durch eine spezielle Kantenform eine gegenüber vergleichbaren konventionellen Ventilatoren verminderte Geräuschbildung im Betrieb. Und zwar ist die Anströmkante eines erfindungsgemäßen Flügels in der Flügelblattebene S-förmig ausgebildet, weist also zwei Bögen mit einem Umkehrpunkt auf. Der Umkehrpunkt befindet sich vorzugsweise etwa in der Mitte der Anströmkante; der vom Umkehrpunkt aus außen gelegene Bogen wölbt sich vorzugsweise konkav in die Flügelfläche hinein, also in Richtung des Radialstrahls, während sich der vom Umkehrpunkt aus innen gelegene Bogen vorzugsweise konvex vom Radialstrahl weg wölbt. Die Bezeichnung "in der Flügelblattebene" soll dabei lediglich verdeutlichen, dass die S-Form der Anströmkante eine Ausbuchtung in die Flügelfläche hinein bzw. aus ihr

hinaus bewirkt und nicht etwa eine dazu senkrechte Wölbung. Es ist jedoch anzumerken, dass in den meisten Ausgestaltungen die einzelnen Punkte des Flügelblatts im geometrischen Sinn nicht auf einer Ebene liegen; auch die einzelnen Punkte der Anströmkannte befinden sich meist nicht auf einer Geraden. Insofern ist, streng geometrisch gesehen, eine "Flügelblattebene" in den seltensten Fällen vorhanden.

[0020] Die beschriebene S-Form der Anströmkannte führt bei Betrieb des Ventilators zu einer verminderten Geräuschbildung, weil die einzelnen Punkte der Anströmkannte zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf eine (etwa durch eine Störung verursachte) Wellenfront treffen, die ihnen zum Beispiel in ihrer Bewegungsrichtung entgegen kommt. Deswegen entstehen innerhalb eines bestimmten Zeitraums durch das zeitversetzte Auftreffen der einzelnen Punkte der Anströmkannte auf der Wellenfront nacheinander viele (schwache) akustische Wellen, während bei nicht-geschwungenen Ventilatorflügeln das quasi gleichzeitige Auftreffen aller Punkte der Anströmkannte auf der Wellenfront eine einmalige (starke) akustische Welle verursacht. Demnach ergibt sich im Gegensatz zu nicht-geschwungenen Ventilatorflügeln, die einen kurzen, hohen Geräusch-Peak in einem schmalen Frequenzband bewirken, beim erfindungsgemäßen Ventilatorflügel ein teilweise etwas länger andauerndes, aber breitbandiges, wenig wahrnehmbares Geräusch von geringer Amplitude.

[0021] Jedoch vermeidet ein erfindungsgemäßer Ventilator bestimmte Einschränkungen, die durch eine geschwungene Kantenform der Ventilatorflügel auftreten können.

[0022] Bei Ventilatoren wird nämlich versucht, die Luftströmung von der Druckseite zur Saugseite der Ventilatorflügel über deren Außenkanten zu minimieren. Hierzu wird oftmals zwischen der Außenkannte eines Ventilatorflügels und einem Gehäuse vorzugsweise nur ein möglichst schmaler Spalt vorgesehen. Auf der anderen Seite soll die Möglichkeit gewährleistet bleiben, den Blattstellwinkel (Winkel zwischen anströmender Luft und Profilsehne, wobei die Profilsehne die gedachte Gerade zwischen dem Staupunkt am vorderen Ende des Flügels, wo sich die Luftströme teilen, und seinem hinteren Ende ist) des Ventilatorflügels an äußere Bedingungen oder Anwenderwünsche anzupassen, also den Ventilatorflügel um den Radialstrahl als Drehachse zu drehen. Die Anpassung erfolgt meist vor der Inbetriebnahme des Ventilators, wenn das Leistungsprofil der Anlage auf die spezielle Anwendung abgestimmt wird. Alternativ ist der Ventilator mit einer Steuereinheit und Sensoren oder einem Bedienerdisplay sowie Aktuatoren ausgestattet. Dann kann die Steuereinheit beispielsweise in Abhängigkeit von den Sensorsignalen bzw. Bedieneingaben mit der Hilfe der Aktuatoren ständig einen optimalen Anstellwinkel einstellen.

[0023] Je schmaler nun der Spalt zwischen Außenkannte des Flügels und Gehäuse bzw. Schacht gewählt wird, desto kleiner ist der einstellbare Flügelverstellbereich, in

dem der Flügel nicht in Anschlag mit der Gehäusewand gerät. Hier muss ein Kompromiss in der Spaltbreite gefunden werden, der keine allzu großen strömungsmechanischen Nachteile in sich birgt, aber trotzdem eine Mindestdrehbereich für den Anstellwinkel des Ventilatorflügels zulässt.

[0024] Bei den bekannten Flügelformen mit S-förmiger Anströmkannte fehlt jedoch aus geometrischen Gründen jegliche Verstellbarkeit des Anstellwinkels.

[0025] Aufwändige strömungsmechanische Untersuchungen haben ergeben, dass die Verstellbarkeit des Anstellwinkels bei Ventilatorflügeln mit S-förmiger Anströmkannte gewährleistet bleibt, bei denen der Mittelpunkt der Flügel-Außenkannte in der Nähe der Drehachse bzw. des Radialstrahls liegt, im Idealfall auf dem Radialstrahl. Mit "Mittelpunkt" ist dabei beispielsweise der auf der Außenkannte liegende Schnittpunkt von zwei auf der Außenkannte verlaufenden Linien bezeichnet. Die eine dieser Linien ist dadurch definiert, dass sie vom vorderen Anströmende der Außenkannte (also dort, wo die Anströmkannte und die Außenkannte sich treffen) zum hinteren Abströmende (an dem sich die Außenkannte und die Abströmkannte treffen) verläuft und dabei an jedem Punkt denselben Abstand zur einen langen Seitenkannte der Außenkannte (an der sich die Saugseite bzw. Druckseite des Flügelblatts und die Außenkannte treffen) wie zur anderen einhält. Die andere Linie ist dadurch definiert, dass sie die Mitte der langen Seitenkanten der Außenkannte miteinander verbindet und dabei ebenfalls an jedem Punkt in der Mitte zwischen dem Anström- und Abströmende verläuft. Der maximal zulässige Abstand des Mittelpunkts vom Radialstrahl hängt dabei insbesondere vom zu erzielenden Drehbereich des Anstellwinkels und der tolerierbaren Spaltbreite zwischen Außenkannte und Gehäuseinnenwand ab. Meist ist in Längsrichtung der Außenkannte ein kleinerer Abstand zum Mittelpunkt zulässig als in dazu senkrechter Richtung. Idealerweise liegt der Schnittpunkt des Radialstrahls mit der Außenkannte so nah wie möglich am Mittelpunkt.

[0026] Da der Mittelpunkt der Außenkannte in der Nähe des Radialstrahls liegt, bleibt der Anstellwinkel des Ventilatorflügels bei gleicher Spaltbreite gleich weit wie bei einem entsprechenden nicht-geschwungenen Flügel einstellbar; ein erfindungsgemäßer Ventilator verbindet daher den Vorteil der Geräuschreduktion mit dem Vorteil der variablen Verstellbarkeit.

[0027] Manche Ausgestaltungen des Ventilatorflügels erreichen eine zusätzliche Geräuschverminderung durch eine zumindest teilweise gefranste Abströmkannte. Ein nicht zu vernachlässigender Anteil der Geräuschemission im Ventilatorbetrieb entsteht nämlich regelmäßig durch eine Wechselwirkung der Abströmkannte mit einer turbulenten Grenzschicht, die sich an der Oberfläche des Flügels bildet: Beispielsweise streut und beugt die Abströmkannte die sie überstreichende Strömung, wodurch Schall erzeugt wird. Vor allem im nicht-optimalen Betriebsbereich des Ventilators brechen die Fransen der Abströmkannte die über die Abströmkannte streichenden

Wirbel sozusagen auf und sorgen dadurch für eine deutliche Geräuschreduktion. In Versuchen wurde beispielsweise für einen Flügel mit einer gefransten Abströmkante eine bis zu 3dB geringere Geräuschbildung gemessen als für einen bis auf die Form der Abströmkante mit dem ersten Flügel identischen Flügel.

[0028] Je nach Ausgestaltung weist die Fransenform der Abströmkante zwischen zwei und mehreren Dutzend bis hin zu mehreren hundert Fransen auf. Vorzugsweise sind die Fransen zackenförmig ausgebildet und umfassen zwei Kanten, die in einer Spitze zusammenlaufen. In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung steht die innen liegende Kante ungefähr senkrecht auf den Radialstrahl. Alternativ weicht die innen liegende Kante von der Senkrechten ab, beispielsweise fällt sie gegenüber dem Lot auf den Radialstrahl nach innen. Bei anderen Ausführungsformen steht die außen liegende Kante senkrecht auf dem Radialstrahl oder fällt gegenüber dem Lot nach außen. Vorzugsweise schließen die beiden Kanten einen Winkel zwischen 10 und 80 Grad ein. Meist ist die von den Kanten gebildete Spitze abgerundet. In einigen Ausgestaltungen haben die Fransen eine ellipsoide, kreisförmige oder sinusförmige Kontur.

[0029] In einer Ausgestaltung sind die einzelnen Fransen der Abströmkante unterschiedlich ausgebildet. Beispielsweise weisen die innen gelegenen Spitzen leicht nach innen, während die weiter außen angeordneten Spitzen in eine zum Radialstrahl senkrechte Richtung zeigen oder nach außen gerichtet.

[0030] Die Größe der einzelnen Fransen hängt in einer Ausgestaltung von der Anströmgeschwindigkeit des Fluids und/oder einer vorzugebenden Grenzfrequenz, oberhalb derer die Geräuschminderung erzielt werden soll, ab. Die Anströmgeschwindigkeit für einzelne Punkte auf der Abströmkante des Ventilatorflügels wird u.a. anhand von deren Abstände zur Nabe und der Drehgeschwindigkeit des Ventilators berechnet oder anhand von Messungen mit vergleichbaren Flügeln (mit oder ohne gefranster Abströmkante) bestimmt. Da die Anströmgeschwindigkeit für auf der Abströmkante liegende Punkte nach außen hin zunimmt, werden die Fransen ebenfalls nach außen hin größer. Für diese Ausgestaltung lassen sich in Versuchen besonders gute Ergebnisse nachweisen. In einigen Ausgestaltungen wird für den Ort jeder einzelnen Franse eine Anströmgeschwindigkeit bestimmt, beispielsweise indem der Durchschnitt aus mehreren, für verschiedene Punkte einer Franse bestimmte Anströmgeschwindigkeiten ermittelt wird. Alternativ wird nur eine mittlere Anströmgeschwindigkeit für mehrere oder alle Zacken bestimmt. Zudem kann die Abhängigkeit der Fransengröße von der Anströmgeschwindigkeit für jede einzelne Franse oder Gruppen von Fransen unterschiedlich sein. Fransen der gleichen Fransengruppe können auch die gleiche Fransengröße haben, wobei dann nebeneinander liegende Fransengruppen deutlich unterschiedliche Fransengrößen aufweisen. Andere Ausführungen umfassen Fransen, deren Größe nicht von der Anströmgeschwindigkeit und/oder der

Grenzfrequenz abhängt. Zum Beispiel wechseln sich kürzere und längere Fransen entlang der Abströmkante ab.

[0031] Für die folgende Beschreibung wird eine Abströmkante ohne Fransenform definiert. Bei einigen Ausgestaltungen sind die Fransen quasi auf diese Abströmkante ohne Fransenform aufgesetzt oder ragen wenigstens über sie hinaus und verbreitern so den Flügel; bei anderen Ausgestaltungen fügen die Fransen der Breite des Flügels nichts hinzu, sondern es wird vielmehr im Vergleich zum Flügel ohne Fransenform zur Ausbildung der Fransen Flügelmaterial entnommen. In diesem Fall definiert die Abströmkante ohne Fransenform die Lage der Spitzen. Oftmals ist auch ein Abschnitt der Abströmkante nahe der Innen- und/oder Außenkante nicht gefranst. Die Außen- und Innenkante wird also gegenüber dem Flügel ohne Fransenform nicht verkürzt. Andere Ausgestaltungen weisen keine solchen Abschnitte auf und können dadurch unter Umständen die Außen- und/oder Innenkante verkürzen. Außerdem existieren Ausgestaltungen mit nicht gefransten Abschnitten in der Mitte oder an anderen Stellen der Abströmkante.

[0032] Um die Fertigung zu vereinfachen, ist bei einer Ausgestaltung des Ventilatorflügels einer der Übergänge der Fransenkanten zur Druck- und zur Saugseite abgerundet und der andere scharfkantig.

[0033] In den nachfolgenden Ausgestaltungen ist die Abströmkante mit oder ohne Fransen strömungsmechanisch günstig an die S-förmige Anströmkante und die festgelegte Position der Außenkante angepasst. Vorzugsweise bildet die Abströmkante dabei in der "Flügelblattebene" ebenfalls mindestens einen Bogen, in den meisten Ausgestaltungen jedoch zwei oder drei Bögen, wobei aber häufig nur ein Bogen in ähnlich starker Weise wie bei der Anströmkante gekrümmt ist. Meist liegt der stark ausgebildete Bogen im äußeren Drittel der Abströmkante und weist eine zum äußeren Bogen der Anströmkante parallele Krümmung auf. In der inneren Hälfte der Abströmkante liegen beispielsweise zwei flache Bögen mit einem Umkehrpunkt. Der zweite Bogen geht dann sehr flach und mit einem weiteren Umkehrpunkt in den äußeren, zur Anströmkante parallelen Bogen über. Vorzugsweise liegt die breiteste Stelle des Ventilatorflügels, also der Punkt, an dem die Anström- und Abströmkante am weitesten auseinander liegen, in seinem inneren Fünftel. Es ist jedoch auch möglich, dass der innerste Punkt der Anström- und der Abströmkante die breiteste Stelle markiert. In den meisten Ausgestaltungen stellt die Außenkante die schmalste Stelle des Flügels dar.

[0034] Die erfindungsgemäße S-Form der Anströmkante beeinflusst die Strömung im Ventilatorbetrieb: beispielsweise ändern sich die radialen Geschwindigkeiten und damit die Verteilung der Flügelbelastung entlang des Radius usw. Um dies möglichst auszugleichen, sieht eine Ausgestaltung eine spezielle Struktur des Ventilatorflügels vor, bei der das Ventilatorflügelblatt entlang des Radialstrahls eine Längskrümmung aufweist. Vorzugsweise wölbt sich der Flügel dadurch auf seiner Saugseite

konvex, auf der Druckseite konkav. Diese Längskrümmung ist meist in der äußeren Hälfte des Flügels besonders stark ausgeprägt. Zusätzlich ist meist eine weitere Querkrümmung über die Breite des Flügels vorhanden, so dass auch die einzelnen Punkte der Innen- und Außenkante (von innen bzw. außen betrachtet) nicht auf einer geraden Linie liegen. Beispielsweise ist der Flügelbereich in der Nähe der Anströmkannte über seine ganze Länge von der angesaugten Luft weg quergekrümmt, so dass auch Innen- und Außenkante in Richtung ihres Anströmendes eine solche Querkrümmung aufweisen. Die Querkrümmung kann längs des Flügels unterschiedlich groß sein. Eine solche komplexe Form des Ventilatorflügels erweist sich als strömungsmechanisch günstig und verhindert oder verringert einen durch die Sichelform verursachten Leistungsabfall, der sonst gegenüber konventionellen Flügeln mit mehr oder weniger geraden Kanten unter Umständen entstehen könnte. Vielmehr können sich für einen derartigen Flügel dieselben Anströmungs-, Abströmungs- und Umströmungsbedingungen ergeben wie für einen vergleichbaren konventionellen Flügel.

[0035] Bei den meisten Ausgestaltungen des Flügels ist die Außenkante vorzugsweise an die Form des meist runden Schachts oder Gehäuses um den Ventilator herum angepasst (wenn er sich denn in einem solchen befindet), indem sie in etwa die gleiche Krümmung wie die Gehäuseinnenwand hat. Betrachtet man die Außenkante von außen in Richtung des Radialstrahls, weist sie meist eine "Flügelform" auf: ihr vorderes, die Anströmkannte treffendes Ende und ihr hinteres, die Abströmkannte treffendes Ende haben vorzugsweise eine abgerundete Form zwischen der Saug- und der Druckseite, wobei der Radius der Rundung beim vorderen Anströmende größer ist als beim hinteren Abströmende. Vom Anströmende in Richtung des Abströmendes nimmt die Außenkantenbreite im Bereich des ersten Drittels der Außenkante erst zu und dann langsamer wieder ab. Bei den meisten Ausführungsformen wird die Zunahme der Außenkantenbreite hauptsächlich durch Aufwölbung einer (und zwar meist der sich mit der Saugseite des Ventilatorflügels treffenden) langen Seitenkante der Außenkante erreicht. Diese Flügelform mit konvexer Wölbung verstärkt den Geschwindigkeitsunterschied zwischen Saug- und Druckseite und das Ausmaß der Luftablenkung. Auch die Profile von zur Außenkante parallelen Schnitten des Flügels weisen eine Flügelform auf.

[0036] In einer Ausführungsform ist über die gesamte Länge der Außenkante oder sogar über sie hinausgehend ein Querstück oder Winglet angebracht. Ein derartiges Querstück hilft beim Reduzieren bzw. Fernhalten von Luftwirbeln, die sich häufig am Ende des Flügels bilden. Es steht vorzugsweise nach beiden Seiten senkrecht zum Radialstrahl ab, wobei sich die beiden Winkel gegenüber der Flügelfläche in Abhängigkeit von deren Krümmung entlang des Radialstrahls häufig beträchtlich von 90° unterscheiden, zusammen aber annähernd 180° ergeben. Eine andere Ausführungsform sieht ein schräg nach außen und der angesaugten Luft entgegenstehen-

des Querstück vor.

[0037] Beispielsweise verdoppelt oder verdreifacht das Querstück - von außen her betrachtet - die Breite der Außenkante. Dabei steht das Querstück meist nach beiden Richtungen gleich weit über die Breite der Außenkante hinaus. In einer Ausführungsform ändert sich die Breite von einem Eckpunkt der Außenkante bis zum anderen, wobei bis zur Mitte der Außenkante eine Zunahme und danach eine Abnahme der Breite erfolgt. An den Enden der Außenkante liegt demnach die geringste Breite des Querstücks vor, die jedoch meist die Breite der Außenkante überschreitet. Eine andere Ausführungsform sieht keine Überschreitung der Breite der Außenkante an deren Enden vor. Alternativ liegt über die Länge der Außenkante eine konstante Breite vor, oder eine konstante Breite mit einem langsam abnehmenden Abschluss zu den Enden. Die Varianten mit abnehmender Breite des Querstücks zu den Enden der Außenkante hin erweisen sich dabei für den zulässigen Verstellbereich des Anstellwinkels als besonders günstig.

[0038] Ein Ventilatorflügel misst in der Länge beispielsweise das 1,5- bis 4-fache seiner maximalen Breite. Dabei variiert die Breite in einigen Ausführungsformen beträchtlich; beispielsweise unterscheidet sich die Breite an verschiedenen Stellen des Flügels um den Faktor 2. Die absolute Flügelgröße wird in Abhängigkeit vom gewünschten Fördervolumen skaliert.

[0039] Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsformen nebst den angefügten Zeichnungen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 eine Ansicht auf die Druckseite einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Ventilators;
- Fig. 2 eine Ansicht auf die Druckseite einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Ventilatorflügels;
- Fig. 3 eine sichtliche Ansicht auf eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Ventilatorflügels;
- Fig. 4 eine Ansicht auf die Saugseite einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Ventilatorflügels;
- Fig. 5 einen Schnitt des Ventilatorflügels aus Fig. 4;
- Fig. 6 eine Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Ventilatorflügels von innen;
- Fig. 7 eine Ansicht auf die Saugseite einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Ventilatorflügels;
- Fig. 8 eine Ansicht von außen auf die Außenkante einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Ventilatorflügels; und
- Fig. 9 eine Ansicht auf die Saugseite einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Ventilatorflügels.

[0040] Figur 1 zeigt auf die Druckseite einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Ventilators.

rungsform eines Ventilators 9. Der Ventilator 9 weist vier sternförmig um die Nabe 7 angeordnete Ventilatorflügel 1 auf, von denen entsprechend der Betrachtungsrichtung jeweils die Druckseite zu sehen ist. Zur Befestigung nehmen an der Nabe angebrachte Befestigungsvorrichtungen 8 die Flügelfüße 5 der Ventilatorflügel 1 auf. Beispielsweise werden die Flügelfüße 5 in die Befestigungsvorrichtungen 8 gesetzt und dann um den Radialstrahl verdreht, bis sie die gewünschte Verdrehstellung erreicht haben. Das Fixieren in der gewählten Position wird beispielsweise durch Schrauben, Klemmvorrichtungen wie Federn oder durch zwischen Ventilatorflügelfuß 5 und Befestigungsvorrichtung 8 eingesetzte, einstellbare oder angepasste Zwischenstücke (die nicht gezeigt sind) erreicht. Bei der Wahl der Befestigungsform sind die (teilweise beträchtlichen) Fliehkräfte zu berücksichtigen, die im Betrieb auf die Ventilatorflügel 1 wirken.

[0041] Nicht in der Figur dargestellt ist der Motor, der den Ventilator 9 in eine Rotationsbewegung um eine durch den Mittelpunkt N der Nabe 7 aus der Bildebene herausragende Achse versetzt. Die normale Bewegungsrichtung des Ventilators 9 deutet Pfeil B an. Für diese Bewegungsrichtung, in der die Anströmkanten 1 voraneilen, ist die Form der Flügel 1 optimiert. Jedoch ist bei Bedarf auch eine Bewegung in die andere Richtung möglich.

[0042] Anstelle von vier Flügeln 1 kann ein Ventilator 9 jede andere gerade oder ungerade Anzahl von Ventilatorflügeln 1 umfassen, die meist im selben Abstand voneinander angeordnet sind.

[0043] In der Figur ist das Gehäuse des Ventilators 9 nicht gezeigt. Typischerweise besteht zwischen der Gehäuseinnenwand und den Außenkanten 4 der Ventilatorflügel 1 ein Spalt, der beispielsweise sechs Promille des Ventilator-Außendurchmessers misst. Bei dieser Breite ist der Anstellwinkel der Flügel 1 des gezeigten Ventilators 9 um ca. 10 bis 12 Grad verstellbar.

[0044] Verschiedene Ausführungsformen von Ventilatorflügeln 1 sind in den Figuren 2 bis 7 dargestellt.

[0045] Dabei zeigt Figur 2 die Druckseite einer maßstabgetreuen Ausführungsform eines Ventilatorflügels 1. Die Anströmkante 2, die im Betrieb voraneilt, weist eine flache S-Form auf, wobei sich der Umkehrpunkt von innen gesehen nicht ganz in der Mitte der Anströmkante 2 befindet. Auch die Abströmkante 3 ist geschwungen. Im äußeren Drittel verläuft sie parallel zu der Anströmkante 3; in den beiden inneren Dritteln zeigt sie zwei kleine, kaum ausgeprägte Krümmungen mit zwei Umkehrpunkten. Die Ecken der Innenkante 6 sind gegenüber den anderen Kantenpunkten etwas heruntergezogen, so dass die Innenkante 6 insgesamt eine im Bild nach unten offene Krümmung beschreibt, die der Flügelfuß 5 in der Mitte unterbricht.

[0046] Der Flügelfuß 5 ist dazu ausgelegt, den Ventilatorflügel 1 mit der an der Nabe 7 angebrachten Befestigungsvorrichtung 8 (siehe Figur 1) zu verbinden und den gewünschten Anstellwinkel einzustellen.

[0047] Die Radialstrahlen x der einzelnen Flügel 1 ver-

laufen vom Nabenmittelpunkt N des Ventilators 9 mittig durch den Flügelfuß 5 des jeweiligen Flügels 1 sternförmig nach außen. Der Mittelpunkt M der Außenkante 4 des Ventilatorflügels 1 fällt auf den Radialstrahl x als Drehachse für die Flügelverstellung. Damit bewegen sich die Enden der Außenkante 4 bei einer Drehung um die Drehachse x auf einem Kreis mit der Entfernung des Endes vom Mittelpunkt M als Radius. Wie zu sehen ist, weist die Außenkante 4 außerdem eine leichte Krümmung auf, so dass sie an die Form des (nicht gezeigten) Gehäuses angepasst ist.

[0048] Nachfolgend werden zur Verdeutlichung der Ventilatorflügelausbildung Längenangaben einzelner Flügelabschnitte angegeben, die sich auf eine bestimmte Ausführungsform beziehen. Abhängig vom Fördervolumen oder anderen Ventilatorparametern können diese Längenangaben entsprechend skaliert werden. Selbstverständlich sind auch die angegebenen Längenverhältnisse nicht einschränkend zu verstehen.

[0049] Die Länge des in Figur 2 gezeigten Ventilatorflügels 1 beträgt ohne den Flügelfuß 5 beispielsweise 13 cm. Die Breite des Ventilatorflügels nimmt im Großen und Ganzen von innen bis zur Außenkante 4 nach außen ab. Die breiteste Flügelstelle befindet sich nicht am innersten Punkt, sondern etwas nach außen verschoben; sie misst ungefähr 7 cm. An der schmalsten Stelle hat der Flügel 1 eine Breite von ca. 5,5 cm. Damit bewegt sich das Verhältnis der Länge des Ventilatorflügels 1 zu seiner Breite in einer Größenordnung von 1,8 bis 2,4. Bei anderen Ausführungsformen ist das Verhältnis der Flügellänge zur Flügelbreite für den ganzen Flügel oder stellenweise kleiner als 1, beispielsweise ist dann die Außenkante 4 länger als die Anströmkante 2 und die Abströmkante 3.

[0050] Figur 3 stellt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Ventilatorflügels 1 in einer seitlichen Ansicht auf die Abströmkante 3 dar; im Bild liegt die Saugseite des Flügels 1 rechts.

[0051] Aus dieser Perspektive ist die Krümmung des Flügels 1 entlang des Radialstrahls x deutlich sichtbar: die Saugseite des Flügels wölbt sich konvex, die gegenüberliegende Druckseite konkav. Die Innenkante 6 ist im Vergleich zur Außenkante 4 deutlich von der angesaugten Luft weg gekrümmt.

[0052] Der gezeigte Flügel 1 weist außerdem ein Querstück (Winglet) 10 auf. Es ist auf die Außenkante 4 aufgesetzt und steht zur Saug- und zur Druckseite gleich weit über diese hinaus. Der Winkel zwischen dem zur Druckseite abstehenden Querstückteil und dem Flügelblatt beträgt aufgrund der Flügelkrümmung deutlich mehr als 90°, während der Winkel zwischen dem zur Saugseite abstehenden Querstückteil und dem Flügelblatt deutlich darunter liegt.

[0053] Figur 4 zeigt die Saugseite einer weiteren Ausführungsform eines Ventilatorflügels 1 aus leicht seitlicher Perspektive. Auch dieser Flügel 1 verfügt über ein Querstück 10, das - wie hier zu sehen ist - mit der Länge der Außenkante 4 abschließt und nicht über diese hin-

ausragt. In dieser Figur ist auch ein Schlitz 11 an der Anströmkante 2 gezeigt, der bei Bedarf als Aufnahme für Wuchtgewichte dient.

[0054] Figur 5 präsentiert einen Schnitt des Flügels 1 aus Figur 4 entlang der Achse A-A.

[0055] Die Materialdicke bleibt in dieser Ausführungsform über den größten Teil der Flügellänge etwa konstant. Erst im äußeren Drittel nimmt sie deutlich ab, da dort geringere Kräfte wirken als im inneren Flügelteil. Vorzugsweise ist die Materialdicke gegenüber weiteren, zum gezeigten Schnitt parallelen Schnittprofilen nicht konstant.

[0056] Die Perspektive der Figur 6, die einen Flügel 1 von der Nabe nach außen gesehen zeigt, verdeutlicht noch einmal die komplexe Struktur des Flügels 1. Nicht nur weist die Anströmkante 2 eine S-Form auf, sondern der Flügel 1 ist auch in Richtung des Radialstrahls x von innen nach außen gekrümmt. Weiterhin zeigt der Flügel 1 auch eine Krümmung über seine Breite, wie an der Innenkante 6 zu sehen ist. Das Ende der Innenkante 6, das die Abströmkante 3 trifft, springt in dieser Ausführungsform etwas vor.

[0057] Das Querstück 10 verläuft über die ganze Länge der Außenkante 4, schließt aber mit der Anströmkante 2 ab und steht nicht über diese hinaus. Um einen strömungstechnisch günstigen Abschluss zu schaffen, geht die Breite des Querstücks 10 langsam bis auf die Breite der Anströmkante zurück. An der Stelle seiner überstehenden Breite vervielfacht das Querstück 10 die Breite der Außenkante, beispielsweise um den Faktor 3. In der gezeigten Ausführungsform ist das zur Saugseite hin abstehende Querstückteil breiter ausgebildet als das zur Druckseite hin abstehende Querstückteil.

[0058] Der Flügelfuß 5 weist in dieser Ausführungsform einen teilweise durchbrochenen Kreisring auf, auf den beispielsweise ein passendes (nicht gezeigtes) Zwischenstück aufgesetzt werden kann. Eine Befestigungsvorrichtung 8 an der Nabe 7 nimmt wiederum das Zwischenstück auf und sorgt so für einen festen Halt des Flügels 1. Die Wahl bzw. Einstellung des Zwischenstücks gibt den Anstellwinkel des Flügels 1 vor.

[0059] Figur 7 zeigt die Saugseite einer weiteren Ausführungsform eines Ventilatorflügels. Hier ist wiederum die Krümmung des Flügels 1 entlang des Radialstrahls x gut sichtbar, die auf der Saugseite konvex sichtbar ist. Auch diese Ausführungsform weist einen in Bezug auf Fig. 6 beschriebenen Flügelfuß 5 und ein Querstück 10 auf.

[0060] Mit Blickrichtung von außen in Richtung des Radialstrahls zeigt Figur 8 die Außenkante 4 einer Ausführungsform eines Ventilatorflügels 1. Aus dieser Blickrichtung ist die Flügelform der Außenkante 4 zu erkennen. Das Anströmende 15 der Außenkante, an dem sich die Anströmkante mit der Außenkante trifft, weist genauso wie das gegenüberliegende Abströmende 16 eine abgerundete Form auf. Der Krümmungsradius der Rundung ist beim Anströmende 15 deutlich größer als beim Abströmende 16. An der langen Seitenkante 18 treffen sich

die Saugseite des Flügels 1 und die Außenkante 4, an der Seitenkante 17 die Druckseite und die Außenkante 4. Durch die Flügelform der Außenkante 4 ist die Seitenkante 18 länger als die Seitenkante 17. Aufgrund des längeren Weges entlang der Seitenkante 18 muss im Ventilatorbetrieb Luft, die entlang der Seitenkante 18 strömt, schneller strömen als Luft, die entlang der kürzeren Seitenkante 17 strömt. Dadurch bildet sich ein Unterdruck bzw. Sog auf der Saugseite des Flügels 1 aus, der Luft aus der Umgebung des Ventilators 9 ansaugt, und Druck auf der Druckseite, der die Luft vom Ventilator 9 weg verteilt.

[0061] Ebenfalls eingezeichnet ist der Mittelpunkt M der Außenkante 4, der durch den Schnittpunkt von zwei Linien gebildet ist, wobei die erste Linie das Anströmende 15 mit dem Abströmende 16 und die zweite Linie die Mitte der beiden langen Seitenkanten 17 und 18 miteinander verbindet.

[0062] Zuletzt stellt Figur 9 eine Ausführungsform eines Ventilatorflügels 1 dar, dessen Abströmkante 3 gefranst ist. Zwei Abschnitte der Abströmkante 3 in der Nähe der Außenkante 4 und der Innenkante 6 sind nicht gefranst, so dass Außen- und Innenkante gegenüber einem Flügel ohne Fransenform nicht verkürzt sind. Insgesamt weist die Abströmkante 3 dreiundzwanzig verschieden große zackenförmige Fransen 25 auf, die jeweils eine innen liegende Kante 23, eine außen liegende Kante 21 und eine Spitze 22 umfassen. Von innen nach außen bilden die innersten vier, die darauffolgenden sieben, die nächsten sechs und die auf diese folgenden sechs Fransen 25 jeweils Gruppen mit gleich großen Fransen. Die Fransengröße einer Gruppe nimmt von der innersten zu äußerster Gruppe zu. Für diese Ausführungsform wird die Größe h der einzelnen Fransen ent-

sprechend der Formel $f \gg \frac{w_\infty}{2\pi h}$ (siehe Thomas

Carolus: Ventilatoren - Aerodynamischer Entwurf, Schallvorhersage, Konstruktion) bestimmt. Dabei ist f eine Grenzfrequenz, oberhalb derer die Geräuschminderung eintritt. Sie kann vom Bediener (unter Beachtung anderer Designparameter) vorgegeben werden. w_∞ ist die Anströmgeschwindigkeit, die in dieser Ausführungsform für jede Franse 25 einzeln berechnet wird. Sie hängt u.a. vom Abstand der Franse von der Nabe und der Drehgeschwindigkeit des Ventilators ab.

[0063] Auch hinsichtlich ihrer Form unterscheiden sich die Fransen von innen nach außen. Während die innen liegenden Kanten 23 der innen und außen liegenden Fransen 25 bezüglich des Lotes y auf den Radialstrahl x leicht nach innen zeigen, steht die innen liegende Kante 23 der mittig gelegenen Fransen 25 in einem rechten Winkel auf dem Radialstrahl x, wie das eingezeichnete Lot y auf den Radialstrahl x deutlich macht. In diesem Fall bildet die innen gelegene Kante 23 mit der außen gelegenen Kante 21 einen Winkel von ungefähr 45 Grad. Dieser Winkel nimmt bei den weiter außen und innen

gelegenen Fransen 25 kontinuierlich ab.

[0064] Alle Spitzen 22 liegen auf einer gedachten ungefranten Abströmkante, die in Figur 9 durch eine gestrichelte Linie 24 dargestellt ist. Wie zu sehen ist, weist die gezeigte Ausführungsform gegenüber einem ungefranten Flügel Materialausparungen auf. In Entsprechung zu den in den vorangehenden Figuren gezeigten Abströmkanten 3 besitzt auch die ungefrante Abströmkante 24 eine strömungsmechanisch günstige Form.

Patentansprüche

1. Ventilatorflügel (1) mit:

einer in der Flügelblattebene S-förmig gekrümmten Anströmkante (2) und einer Außenkante (4), die kürzer als die Anströmkante ist, bei dem der Mittelpunkt (M) der Außenkante (4) in der Nähe des Radialstrahls (x) des Ventilatorflügels (1) liegt.

2. Ventilatorflügel (1) nach Anspruch 1, der eine zumindest teilweise gefranste Abströmkante (3) aufweist.

3. Ventilatorflügel (1) nach Anspruch 2, bei dem die Größe jeder Franse (25) der zumindest teilweise gefranste Abströmkante (3) von der Anströmgeschwindigkeit eines die jeweilige Franse anströmenden Fluids und/oder einer vorzugebenden Grenzfrequenz abhängt, oberhalb derer die Geräuschminderung erzielt werden soll.

4. Ventilatorflügel (1) nach Anspruch 2 oder 3, bei dem jede Franse (25) der zumindest teilweise gefranste Abströmkante (3) zwei Kanten (21, 23) aufweist, von denen eine senkrecht auf den Radialstrahl (x) steht.

5. Ventilatorflügel (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dessen Abströmkante (3) in der Flügelblattebene gekrümmt ist.

6. Ventilatorflügel (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, an dessen Außenkante (4) ein Querstück (10) angebracht ist.

7. Ventilatorflügel (1) nach Anspruch 6, bei dem das Querstück (10) über die gesamte Länge der Außenkante (4) verläuft und über die gesamte oder einen Teil der Länge nach beiden Seiten über die Breite der Außenkante (4) hinaussteht.

8. Ventilatorflügel (1) nach Anspruch 6 oder 7, bei dem das Querstück an den Enden der Außenkante (4) die Breite der Außenkante (4) hat.

9. Ventilatorflügel (1) nach einem der vorangehenden

Ansprüche, dessen Flügelblatt entlang des Radialstrahls (x) gekrümmt ist.

10. Ventilatorflügel (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dessen zur Außenkante paralleles Schnittprofil an jeder Stelle eine Flügelform aufweist.

11. Ventilatorflügel (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, der über seine Breite gekrümmt ist.

12. Ventilatorflügel (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Anströmkante (2) und die Abströmkante (3) im äußeren Bereich des Flügels (1) parallel zueinander verlaufen.

13. Ventilatorflügel (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Anströmkante (2) und die Abströmkante (3) an ihrem jeweils äußersten Punkt den geringsten Abstand voneinander haben.

14. Ventilatorflügel (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Abströmkante (3) insgesamt drei Krümmungen und zwei Umkehrpunkte aufweist.

15. Ventilator (9), der wenigstens einen um eine angeordnete Nabe (7) angeordneten Ventilatorflügel (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14 umfasst.

16. Ventilator (9) nach Anspruch 15, bei dem eine Verdrehstellung der Ventilatorflügel (1) um ihren jeweiligen Radialstrahl (x) eingestellt werden kann.

17. Ventilator (9) nach einem der Ansprüche 15 oder 16, der in einem Gehäuse angeordnet ist, so dass zwischen der Gehäuseinnenwand und den Außenkanten (4) der Ventilatorflügel (1) ein schmaler Spalt ist, der eine parallel Verdrehung der Ventilatorflügel (1) um den Radialstrahl (x) um einen vorgegebenen Winkel zulässt.

18. Ventilator (9) nach Anspruch 17, bei dem die Außenkanten (4) der Ventilatorflügel (1) eine Krümmung aufweisen, die an die Krümmung des Gehäuses angepasst ist.

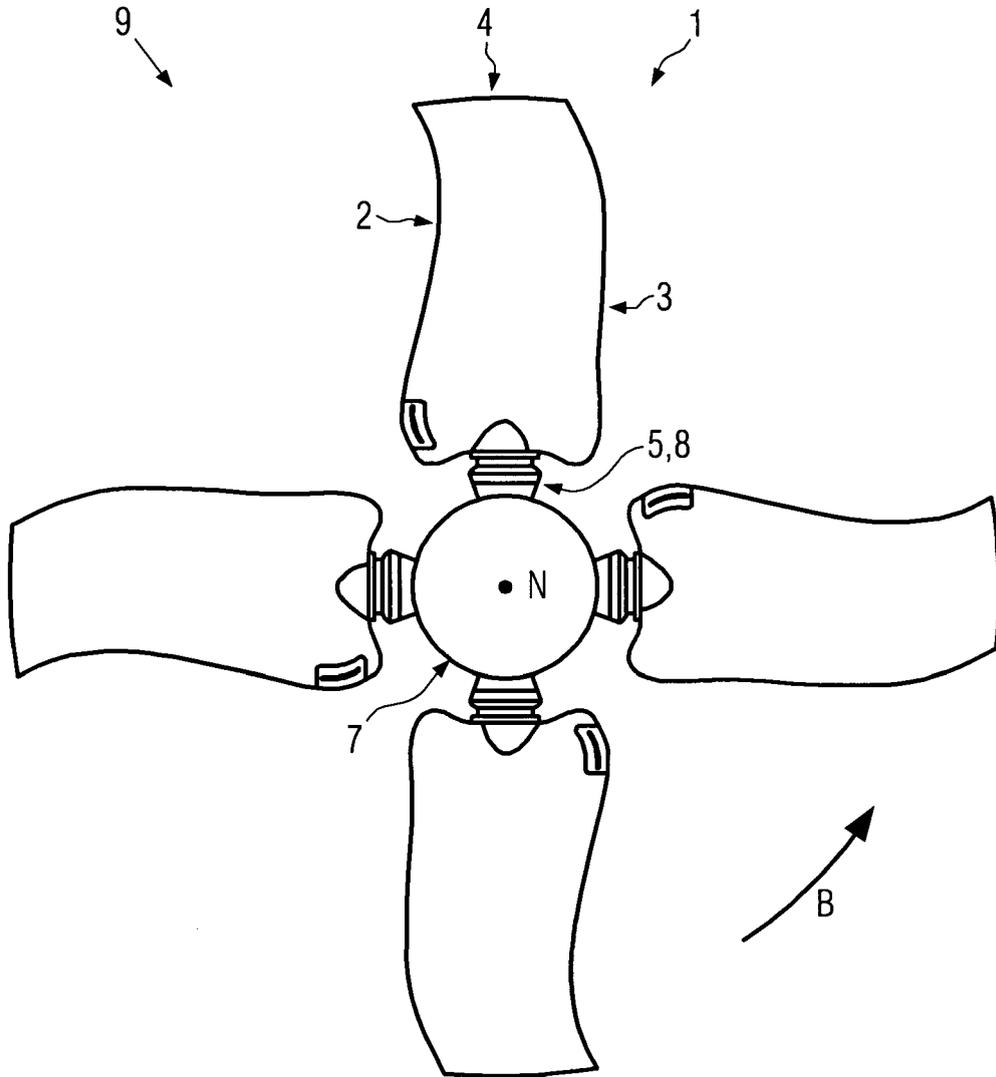


FIG. 1

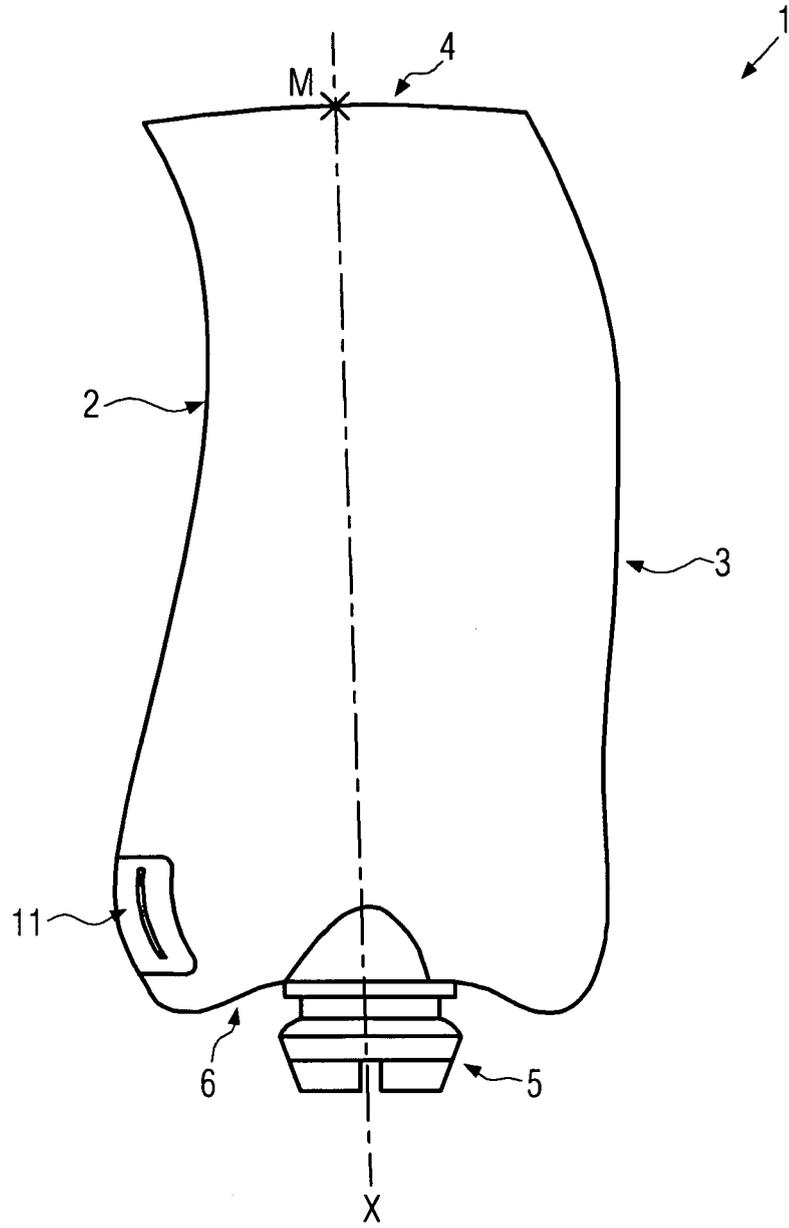


FIG. 2

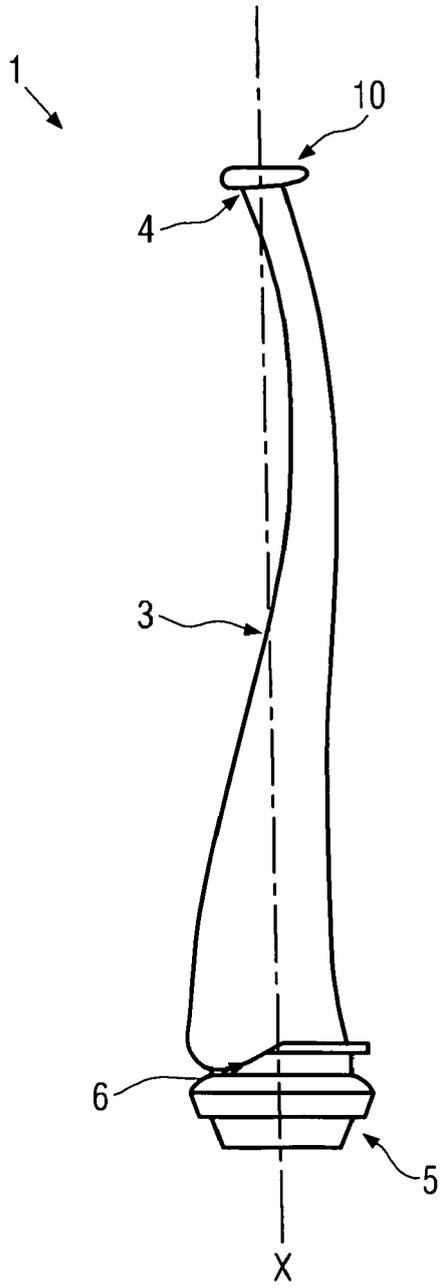
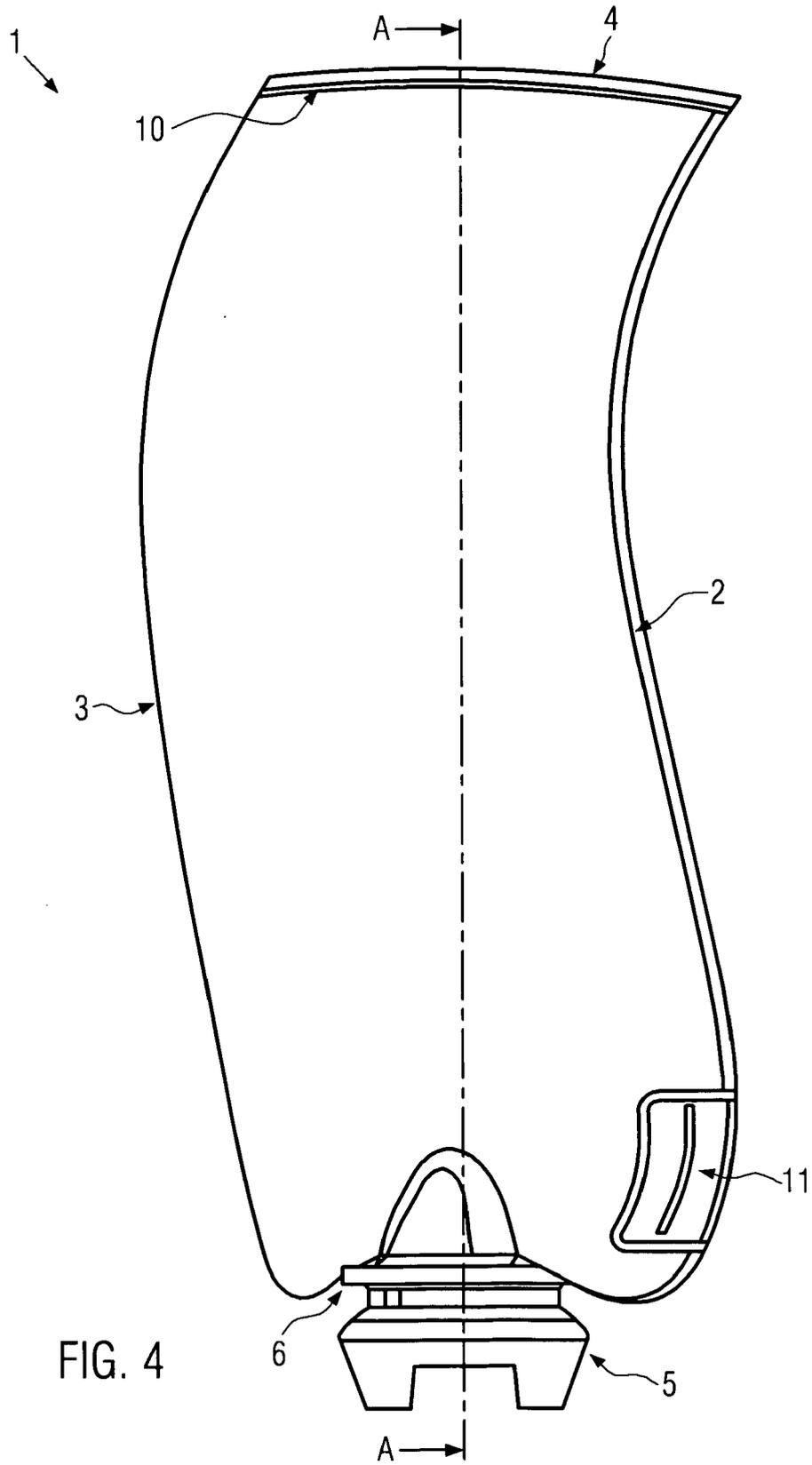
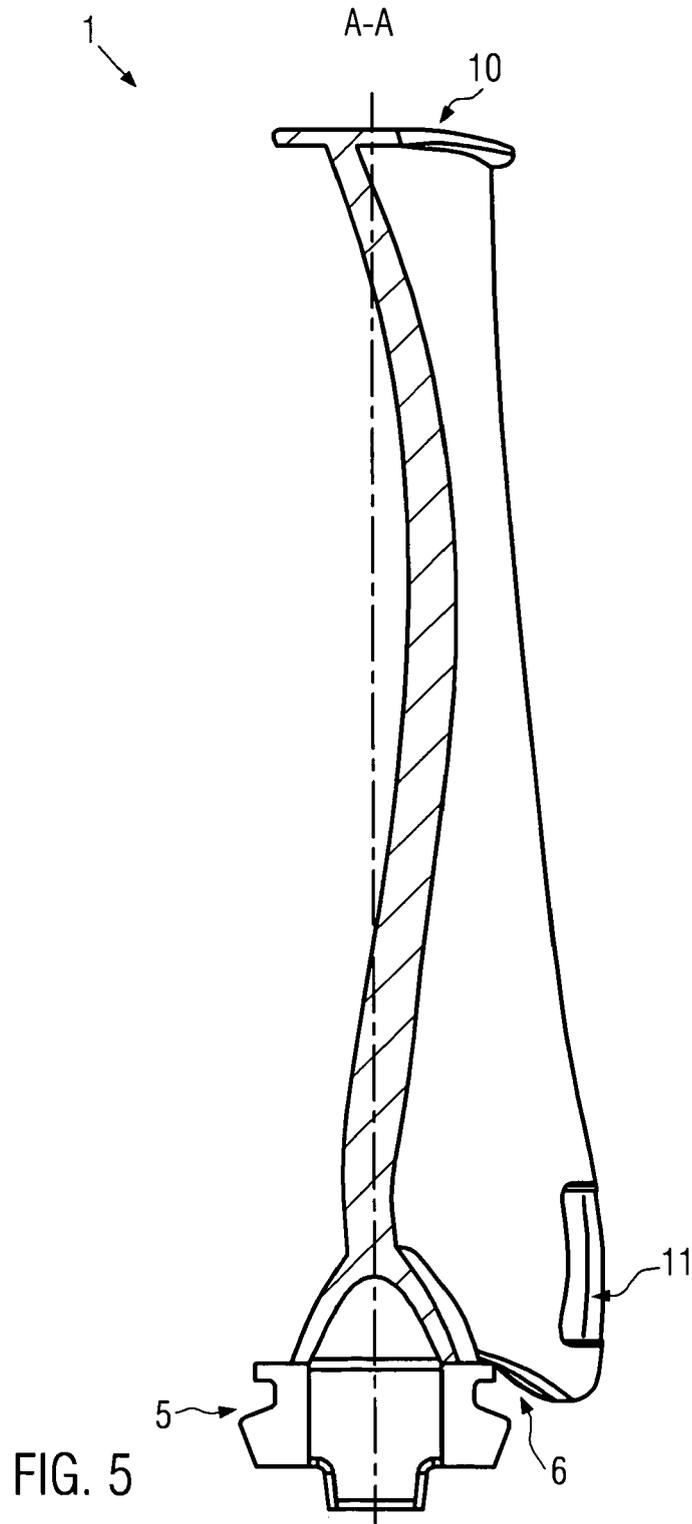


FIG. 3





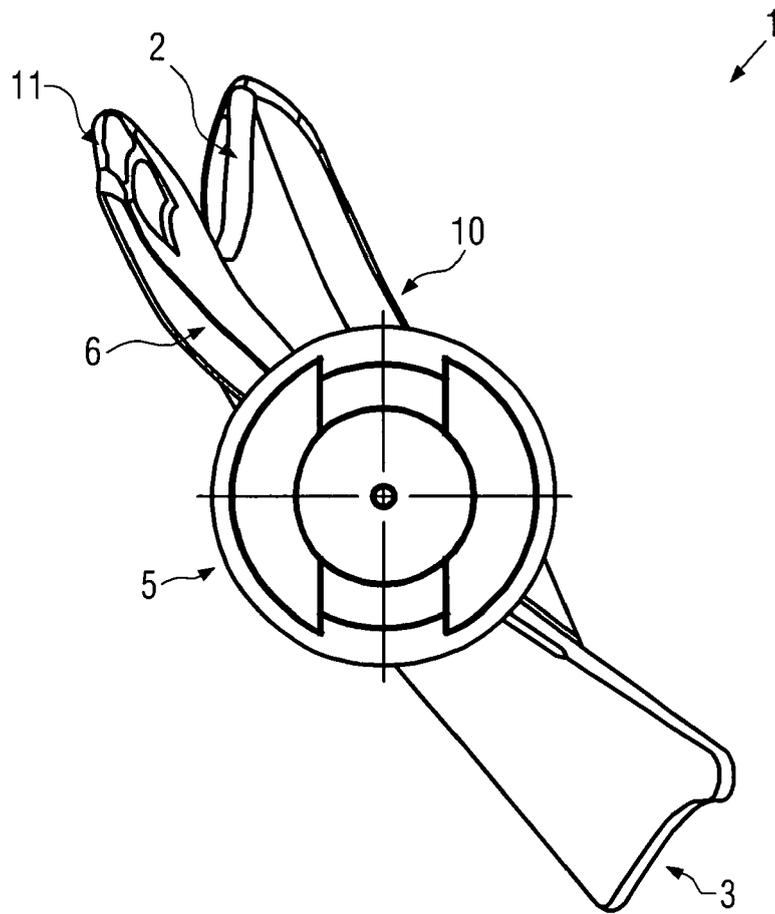


FIG. 6

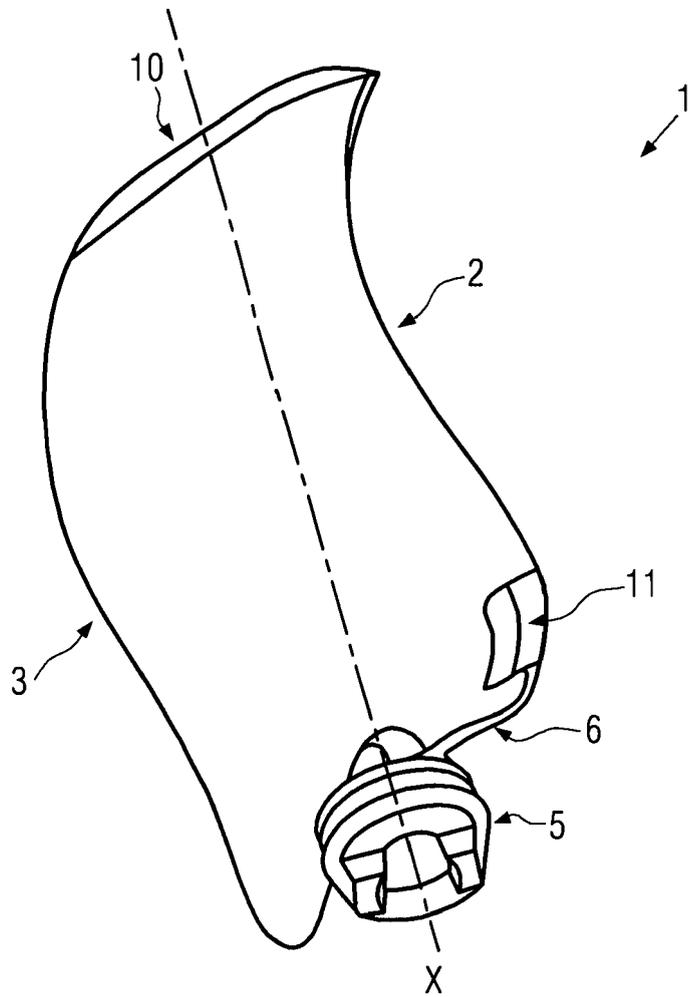


FIG. 7

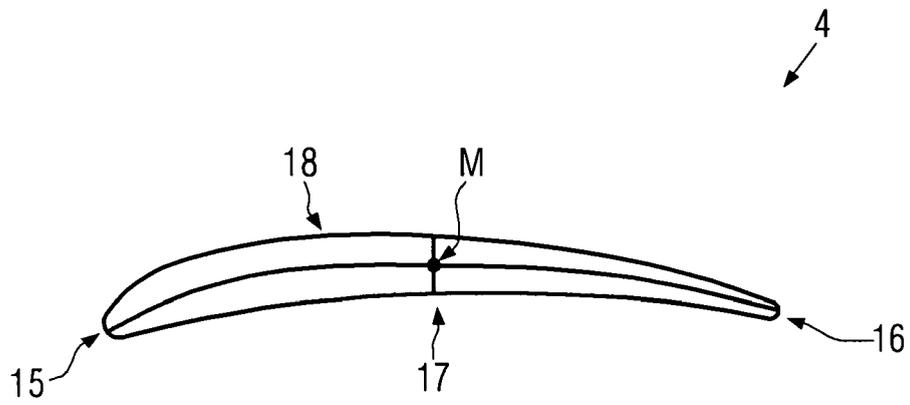


FIG. 8

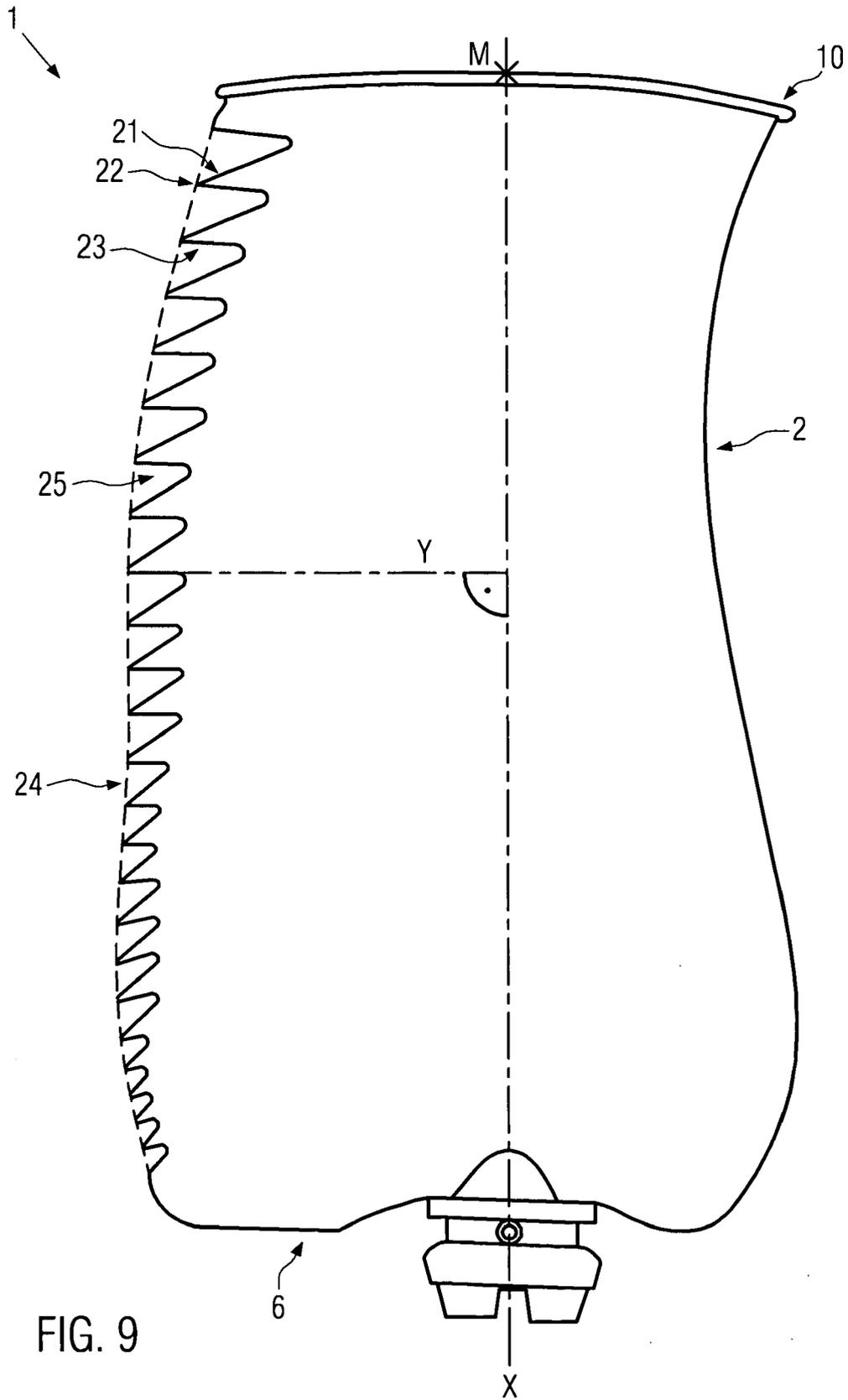


FIG. 9

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 19948075 [0003]
- EP 887558 B1 [0004]
- US 3416725 A [0005]
- DE 10326637 B3 [0006]
- WO 1998005868 A [0007]
- US 2649921 A [0008]
- FR 2728028 [0009]
- US 5533865 A [0010]