

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
06. Februar 2020 (06.02.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/025635 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F01D 1/04 (2006.01) *F01D 5/22* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/070542

(22) Internationales Anmeldedatum:
30. Juli 2019 (30.07.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 006 175.3
01. August 2018 (01.08.2018) DE

(72) Erfinder; und
(71) Anmelder: GRIMM, Friedrich [DE/DE]; Züricher Str. 18,
70376 Stuttgart (DE).

(74) Anwalt: RAIBLE DEISSLER LEHMANN PATENT-ANWÄLTE; Senefelderstrasse 26, 70176 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,

(54) Title: CASCADE TURBINE

(54) Bezeichnung: KASKADENTURBINE

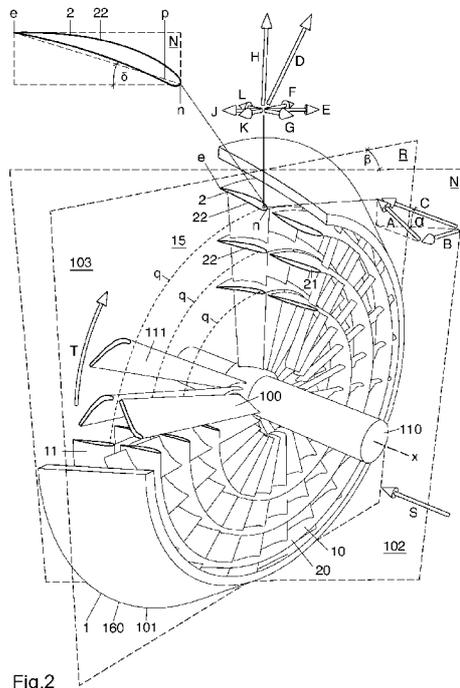


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a turbine (1) that has a housing (101) and a module (13, 15) which is arranged in the housing (102) and has a multi-stage design and which has an impeller assembly and a diffuser assembly. The diffuser assembly has a plurality of diffusers (10) which are rigidly connected to the housing (101) and comprise diffuser blades (100), and the impeller assembly has a shaft (110), which rotates about a rotational axis (x), and a plurality of impellers (11) with turbine blades (111), at least some of said impellers (11) and diffusers (10) having at least one impeller ring blade (2) and diffuser ring blade (20), respectively, which are arranged concentrically to the rotational axis (x). The impeller ring blade and diffuser ring blade has an asymmetrical impeller and diffuser ring blade profile (22), respectively, with a suction side and a pressure side, wherein the suction sides of the diffuser ring blade (20) and the impeller ring blade (2) are arranged opposite one another on the exterior or interior of the diffuser ring blade (20) and the impeller ring blade (2), respectively.

(57) Zusammenfassung: Eine Turbine (1) hat ein Gehäuse (101) und ein im Gehäuse (102) angeordnetes mehrstufig aufgebautes Modul (13, 15), welches Modul (13, 15) ein Laufwerk und ein Leitwerk aufweist, welches Leitwerk eine Mehrzahl von starr mit dem Gehäuse (101) verbundenen Leiträdern (10) mit Leitschaufeln (100) aufweist, welches Laufwerk eine um eine Rotationsachse (x) rotierende Welle (110) und eine Mehrzahl von Laufrädern (11) mit Turbinenschaufeln (111) aufweist, welche Laufräder (11) und welche Leiträder (10) zumindest teilweise mindestens einen konzentrisch zu der Rotationsachse (x) angeordneten Laufringflügel (2) bzw. Leitringflügel (20) aufweisen, welcher Laufringflügel bzw. Leitringflügel ein asymmetrisches Lauf-, Leitringflügelprofil (22) mit einer Saugseite und einer Druckseite aufweist, wobei die Saugseiten des Leitringflügels (20) und des Laufringflügels (2) jeweils entgegengesetzt zueinander auf der Außenseite oder der Innenseite des Leitringflügels (20) oder des Laufringflügels (2) angeordnet sind.



WO 2020/025635 A1

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)*

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Beschreibung

Kaskadenturbine

Die Erfindung betrifft eine Turbine mit einem Leitwerk und einem Laufwerk, deren Gehäuse zwischen dem Strömungseinlass und dem Strömungsauslass mindestens ein mehrstufiges Verdichtungsmodul und/oder mindestens ein mehrstufiges Expansionsmodul aufnimmt. Das Leitwerk der Turbine besteht aus mehreren, jeweils mit einem Abstand zueinander angeordneten und starr mit dem Gehäuse verbundenen Leiträdern, während das Laufwerk aus einer Kaskade mehrerer, zwischen den Leiträdern in einer Rotationsebene laufender und durch eine gemeinsame Welle untereinander verbundener Laufräder besteht, wobei eine einzelne Stufe des mehrstufigen Verdichtungs- und des mehrstufigen Expansionsmoduls von einem Leitrad und einem Laufrad gebildet wird. Die Laufräder der Turbine weisen jeweils mindestens einen Laufringflügel mit einer konvexen Saug- und einer konkaven Druckseite auf, der in einer mit einem Neigungswinkel gegenüber der Rotationsebene geneigten Neigungsebene von einer aus der Strömungsgeschwindigkeit, aus der Umlaufgeschwindigkeit des Laufrads und aus einem in der Rotationsebene vorhandenen Konuswinkel der Strömung gebildeten resultierenden Anströmung angeströmt wird und in der Neigungsebene ein asymmetrisches Flügelprofil hat.

Eine Ausführungsform betrifft Strömungsmaschinen, die dazu ausgebildet sind, die innere Energie eines kompressiblen Fluids in eine Rotationsleistung an der Welle der Turbine zu wandeln. Eine bevorzugte Dampfmaschine besteht z.B. aus mehreren Expansionsmodulen, die als Hoch-, Mittel- und Niederdruck-Expansionsmodule ausgebildet sind. Ausführungsformen betreffen auch Gasturbinen für die Stromerzeugung und Turbinen-Strahltriebwerke für Flugzeuge, wie z. B. ein Mantelstromtriebwerk, bei dem das Hochdruck-Verdichtungsmodul von einem Hochdruck-Expansionsmodul und der Fan von einem Niederdruck-

Expansionsmodul jeweils mit einer separaten Welle angetrieben werden. Die Turbine kann aber auch als Wärmepumpe oder als Kühlturbine ausgebildet werden, bei denen das Verdichtungsmodul mit einem Wärmeübertrager verbunden ist. Besondere Aufmerksamkeit wird bei den Ausführungsformen elektrischen Turbinen-Strahltriebwerken geschenkt, bei denen das antreibende Expansionsmodul durch einen Elektromotor ersetzt ist und das Strahltriebwerk eine Schubstufe hat, die als Niederdruck-Verdichtungsmodul arbeitet. Weitere Anwendungen des Niederdruck-Verdichtungsmoduls betreffen allgemein einen Lüfter oder ein Gebläse und auch einen Ventilator in Verbindung mit einem Gerät, z.B. für den Luftaustausch in einem Raum oder für die thermische Konditionierung eines Gebäudes oder eines Fahrzeugs und auch in Verbindung mit einem Turbinensauger.

Stand der Technik

Große Turbinen gehören als Strömungsmaschinen zu den leistungsfähigsten Maschinen überhaupt. Aus der Verstromung von Kohle und Atomenergie sind Strömungsmaschinen als Dampfturbinen mit einer nutzbaren mechanischen Leistung von bis zu 1,5 Gigawatt bekannt. Die im Jahr 1888 von Carl Gustaf Patrik de Laval vorgestellte Dampfturbine hatte bereits einen Wirkungsgrad von 30%. Der Wirkungsgrad aktueller Hochdruckdampfturbinen erreicht fast 50% - mehr nicht. Im Sinne einer jederzeit verfügbaren Energieversorgung besteht heute ein Bedarf an Gasturbinen, die in Kraftwerken temporär immer dann eingesetzt werden, wenn die Energie aus Sonne und Wind nicht zur Verfügung steht. Mit einer Kombination von Gas- und Dampfturbine ist ein elektrischer Wirkungsgrad von bis zu 60% erreichbar. Die Angaben zum Wirkungsgrad sind jeweils auf den Gesamtwirkungsgrad des Systems bezogen und betreffen den thermodynamischen Prozess und die Turbine selbst. Für sich betrachtet erreicht eine Stufe einer Gas- oder Dampfturbine einen Wirkungsgrad von 90%. Turbinen-Strahltriebwerke bilden mit ihrer hohen Leistung, ihrer Schubkraft

und ihrer Zuverlässigkeit das Rückgrat des weltweiten Flugverkehrs. Dabei sind unterschiedliche Bauformen für Turbinen-Strahltriebwerke bekannt, wie z.B. ein Mantelstromtriebwerk, ein Turboprop-Fantriebwerk, ein Turboprop-Strahltriebwerk, eine Wellenturbine oder ein Einstrom-Strahltriebwerk. Eine doppelreihige Anordnung der radialen Leitschaufeln eines Verdichtungsmoduls ist als sog. Tandem-Schaufel für den Axialverdichter eines Flugzeugtriebwerks bekannt. Diese Tandem-Schaufeln bewirken eine maximale Umlenkung der Strömung an einem Leitrad des Verdichtungsmoduls, ohne dass es zu unerwünschten Strömungsablösungen innerhalb einer Kaskade von Leit- und Laufrädern kommt. Alternative Antriebe für den Flugverkehr sind notwendig, um den Eintrag schädlicher Treibhausgase in die Atmosphäre zu vermeiden. Ein Strahltriebwerk besteht in Strömungsrichtung aus einem zur Strömung ausgerichteten Lufteinlass mit einem Fan als Niederdruckstufe des mehrstufigen Verdichtungsmoduls, mit sich daran anschließenden, jeweils von einem Leit- und einem Laufrad gebildeten höher verdichtenden Stufen, auf die mehrere Brennkammern und das eigentliche Expansionsmodul folgen. Eine Schubdüse am Strömungsauslass des Gehäuses ist dazu ausgebildet, den heißen Luft- und Abgasstrahl in die umgebende Luft auszustoßen. Dem Rückstoßprinzip entsprechend wirkt die das Flugzeug antreibende Schubkraft in Flugrichtung. Bei einem Turbinen-Strahltriebwerk wird im Unterschied zu einem Propeller, der eine große Luftmasse mäßig beschleunigt, eine vergleichsweise geringe Luftmasse sehr stark beschleunigt. Deshalb ist es wünschenswert, die von einem Turbinen-Strahltriebwerk erfasste Luftmasse zu vergrößern. Bei hohen Geschwindigkeiten in großen Flughöhen ist ein Turbinen-Strahltriebwerk sehr effizient. Bei geringen Geschwindigkeiten sind Triebwerke mit Propeller-Antrieb effizienter. Bei Mantelstromtriebwerken mit einem Fan wird durch den Mantelstrom zusätzliche Antriebsenergie für die Schubentwicklung zur Verfügung gestellt. Bei einem Mantelstromtriebwerk, bei dem der Fan einen wesentlich größeren

Durchmesser hat als das Verdichtungsmodul, besitzt der Fan eine eigene Welle, um einerseits die Fliehkräfte an seinen Turbinenschaufeln zu begrenzen und andererseits Überschallgeschwindigkeiten an den Blattspitzen der Turbinenschaufeln zu vermeiden. Der Fan befindet sich deshalb auf einer eigenen Welle, die von dem Niederdruck-Expansionsmodul angetrieben wird. Am Ausgang der Verdichtungsstufe strömt die durch Kompressionswärme erhitzte Luft in die Brennkammer. Durch die Verbrennung des eingespritzten Kraftstoffs ist das Triebwerk hohen Temperaturen von bis zu 2200°C ausgesetzt und benötigt deshalb eine aufwändige Kühlung. Im Sinne eines thermodynamischen Kreisprozesses sind die Ausführungsformen der Strömungsmaschinen und Turbinen- Strahltriebwerke rechtsdrehend und betreffen Prozesse, bei denen Wärme in Arbeit umgewandelt wird. Eine Ausführungsform betrifft jedoch auch eine Wärmepumpe und eine Kühlturbine, die im Sinne eines linksdrehenden Kreisprozesses unter Aufwendung von Arbeit Wärme von einem niedrigen auf ein höheres Temperaturniveau fördert und als Wärmepumpe bzw. als Kältemaschine ausgebildet ist.

Aus der CH 509 502 geht eine Regelvorrichtung für Dampfturbinen, die aus mehreren Expansionsmodulen für Hoch-, Mittel- und Niederdruck bestehen, hervor.

Aus der CH 700 013 B1 geht ein Laufrad (Diaphragma) für eine Dampfturbine hervor, bei der die radialen Turbinenschaufeln (Rotorblätter) jeweils an ihrem inneren und äußeren Ende mit einem Ring verbunden sind, um die strukturelle Integrität des Laufrads zu verbessern.

Aus der DE 102 57 044 A1 geht ein Leitschaufelgitter für eine Gasturbine hervor, bei dem die Wölbung der einzelnen Leitschaufeln zur Optimierung der Strömung unabhängig voneinander einstellbar ist.

Aus der DE 198 58 702 B4 gehen ein Verfahren zum Verbinden von Schaufelteilen einer Gasturbine sowie die Schaufel und der Rotor einer Gasturbine hervor.

Aus der DE 10 2014 206 216 B4 geht ein Verdichtungsgitter für einen Axialverdichter hervor, bei dem die radialen Leitschaufeln doppelreihig angeordnet sind und in Strömungsrichtung eine vordere und eine hintere Schaufel haben, wobei sich die Schaufeln gegenseitig überdecken.

Aus der US 2009/0047132 A1 geht eine Anordnung von radialen Rotorblättern mit einer Saug- und einer Druckseite hervor, die durch einen konzentrisch zu der Rotationsachse angeordneten Kragen untereinander verbunden sind.

Aus der EP 2 743 453 A1 geht eine Anordnung von Rotorblättern für eine Turbine hervor, die jeweils eine Flügelnase und eine Flügelhinterkante haben und untereinander durch abkragende, sich verjüngende Verbindungsstücke in tangentialer Richtung verbunden werden, sodass ein die Rotorblätter eines Laufrads verbindender Kragen mit einem tropfenförmigen Profil gebildet wird.

Aus der EP 3 187 688 A1 geht ein radiales Rotorblatt mit einer konvexen Saugseite und einer konkaven Druckseite für eine Gasturbine hervor. Zwischen der Blattwurzel und der Rotorblattspitze sind jeweils zwei von dem Rotorblatt abkragende Flügel vorgesehen, die auf der konvexen Saugseite als Saugflügel und auf der konkaven Druckseite als Druckflügel bezeichnet werden, wobei an zwei einander benachbarten Rotorblättern eine Schnittstelle gebildet wird. Diese Kragflügel bilden an einem Laufrad der Turbine untereinander einen stabilisierenden Kragen, der im Betrieb der Turbine eine Torsionsverformung der einzelnen Rotorblätter verhindern soll und außerdem den Austausch eines einzelnen Rotorblatts des Laufrads ermöglicht. Der in Strömungsrichtung jeweils vorgelagerte Flügel ist dicker ausgebildet als der in Strömungsrichtung nachgelagerte Flügel, sodass eine Stufe gebildet wird und die Schnittstelle zwischen den Flügeln im Windschatten der Strömung liegt.

Aufgabenstellung

Ausgehend von dem dargestellten Stand der Technik besteht die Aufgabe der Erfindung darin, eine neue Turbine bereitzustellen.

Die Aufgabe wird durch den Gegenstand des Anspruchs 1 gelöst.

Eine Turbine hat ein Gehäuse und ein im Gehäuse angeordnetes mehrstufig aufgebautes Modul, welches Modul ein Laufwerk und ein Leitwerk aufweist, welches Gehäuse einen Strömungseinlass und einen Strömungsauslass aufweist und für die Führung eines zwischen dem Strömungseinlass und Strömungsauslass strömenden Fluids ausgebildet ist, welches Leitwerk eine Mehrzahl von starr mit dem Gehäuse verbundenen Leiträdern mit Leitschaufeln aufweist, welches Laufwerk eine um eine Rotationsachse rotierende Welle und eine Mehrzahl von Laufrädern mit Turbinenschaufeln aufweist, welche Laufräder in einer zugeordneten Rotationsebene antreibbar sind und zumindest teilweise zwischen den Leiträdern angeordnet sind, wobei jeweils ein Leitrad und ein Laufrad eine Stufe des mehrstufig aufgebauten Moduls bilden, welche Laufräder zumindest teilweise mindestens einen konzentrisch zu der Rotationsachse angeordneten Laufringflügel aufweisen, welcher Laufringflügel ein asymmetrisches Laufringflügelprofil mit einer Saugseite, einer Druckseite, einer zum Strömungseinlass des Gehäuses orientierten Flügelnase und einer zum Strömungsauslass des Gehäuses orientierten Flügelhinterkante aufweist, welche Leiträder zumindest teilweise mindestens einen konzentrisch zu der Rotationsachse angeordneten, Leitringflügel aufweisen, welcher Leitringflügel ein asymmetrisches Leitringflügelprofil mit einer Saugseite und einer Druckseite aufweist, welcher Leitringflügel mindestens einem Laufringflügel des Laufrads in Richtung der Strömung mit einem Steigungswinkel gegenüber der Rotationsachse vorangestellt ist, wobei die Saugseiten des Leitringflügels und

des Laufringflügels jeweils entgegengesetzt zueinander auf der Außenseite oder der Innenseite des Leitringflügels oder des Laufringflügels angeordnet sind.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist das Modul als Verdichtungsmodul oder Expansionsmodul ausgebildet. Es ist in Abhängigkeit vom Anwendungsfall für eine Verdichtung (z.B. bei einer Dampfturbine) oder für eine Expansion (z.B. hinter einer Brennkammer) einsetzbar.

Bevorzugt hat die Turbine einen thermodynamischen oder elektrischen Antrieb und ist aus mindestens einem mehrstufigen Verdichtungsmodul und/oder aus mindestens einem mehrstufigen Expansionsmodul aufgebaut. Die Laufräder wirken strömungsdynamisch als Auftriebsläufer, sodass der Wirkungsgrad der Turbine erheblich verbessert werden kann. Bevorzugt wird ein über die radialen Turbinenschaufeln mit der Welle verbundener Laufringflügel für das Laufrad einer Turbine in einer mit einem Neigungswinkel gegenüber der Rotationsebene geneigten Neigungsebene so angeströmt, dass in der Rotationsebene eine aus dem dynamisch bewirkten Auftrieb des Laufringflügels resultierende, in Drehrichtung des Laufrads wirkende tangentialen Antriebskraft und parallel zu der Rotationsachse eine am Strömungseinlass des Gehäuses wirkende Saugkraft gebildet werden. Bevorzugt wirkt ein Profil für den Laufringflügel in der mit einem definierten Neigungswinkel gegenüber der Rotationsebene geneigten Neigungsebene strömungsdynamisch als Auftriebsläufer und weist ein asymmetrisches Flügelprofil auf.

Weitere Aufgaben und vorteilhafte Eigenschaften gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Die Erfindung hat zumindest teilweise die folgenden Vorteile:

- Aktivierung von dynamischem Auftrieb an den Laufringflügeln der Laufräder des Laufwerks einer Turbine
- Bereitstellung einer aus dem dynamischen Auftrieb einer Vielzahl von Laufringflügeln des Laufwerks resultierenden tangentialen Antriebskraft, die eine Rotationsleistung an der Welle einer mehrstufig aufgebauten Turbine bewirkt
- Bereitstellung einer aus dem dynamischen Auftrieb einer Vielzahl von Laufringflügeln des Laufwerks resultierenden Saugkraft am Strömungseinlass der mehrstufig aufgebauten Turbine
- Angabe eines von mehreren Leitringflügeln und einer Mehrzahl/Vielzahl von radialen Leitschaufeln gebildeten Profilgitters
- Angabe eines Leittrads mit mindestens einem Leitringflügel, der strömungsdynamisch mit dem Laufringflügel des Laufrads zusammenwirkt
- Angabe eines biege-, schub- und torsionssteifen Schaufelgitters für ein Leitrad des Leitwerks und eines biege-, schub- und torsionssteifen Turbinenschaufelgitters für ein Laufrad des Laufwerks einer Turbine
- Angabe eines Laufrads mit mindestens einem Laufringflügel für eine niedrige Reynolds-Zahl im subsonischen Bereich
- Angabe eines von mehreren Laufringflügeln und einer Mehrzahl/Vielzahl von radialen Turbinenschaufeln gebildeten Turbinenschaufelgitters
- Angabe einer Verbindungstechnik für einen Kreissektor eines Laufrads des Laufwerks der Turbine, die die Auswechslung einer einzelnen radialen Turbinenschaufel ermöglicht
- Vermeidung der Wirbelbildung und Wirbelablösung an den Enden der radialen Turbinenschaufeln
- Angabe einer leisen Turbine mit vergleichsweise sehr geringer Geräusentwicklung
- Verbesserung des Wirkungsgrads eines thermodynamischen Luftstrahltriebwerks für Luftfahrzeuge um bis zu 25%

- Angabe eines elektrisch angetriebenen Turbinen-Strahltriebwerks
- Angabe eines elektrisch angetriebenen Niederdruck-Verdichtungsmoduls für einen Turbinensauger
- Angabe eines Lüfters mit einem elektrisch angetriebenen Niederdruck-Verdichtungsmodul
- Angabe einer elektrisch angetriebenen Kühlturbine, bei der das Verdichtungsmodul und das Expansionsmodul eine Kühlfunktion haben
- Angabe einer elektrisch angetriebenen Kühlturbine mit Verdichtungs- und Expansionsmodul zur Luftkühlung der Traktionsbatterie eines Elektrofahrzeugs
- Angabe einer Wärmepumpe zur Förderung von Wärme aus der Umgebungsluft

Das Leitwerk der Turbine

Das Gehäuse der Turbine nimmt mindestens ein mehrstufiges Verdichtungsmodul und/oder mindestens ein mehrstufiges Expansionsmodul auf, welche Module jeweils von einer inneren und einer äußeren, rotationssymmetrisch ausgebildeten Strömungsleitfläche begrenzt werden. An einem mehrstufigen Verdichtungsmodul verengt sich der Querschnitt des Gehäuses in Strömungsrichtung, wobei der Konuswinkel der Strömung entweder von den Strömungsleitflächen und/oder von den Leitringflügeln des Leitwerks der Turbine vorgegeben wird. An dem mehrstufigen Verdichtungsmodul sind die konvexen Seiten der radialen Leitschaufeln und die konvexen Seiten der radialen Turbinenschaufeln jeweils gegen die Drehrichtung der Laufräder orientiert. An dem mehrstufigen Expansionsmodul dagegen sind die konvexen Seiten der radialen Leitschaufeln gegen die Drehrichtung der Laufräder und die konvexen Seiten der radialen Turbinenschaufeln in Drehrichtung der Laufräder orientiert. An dem mehrstufigen Expansionsmodul bildet sich der Konuswinkel strömungsdynamisch bei ansteigendem Druck und abnehmender

Geschwindigkeit eines strömenden Fluids von selbst aus, wobei sich der Querschnitt des Gehäuses in Strömungsrichtung mit einem Konuswinkel erweitert. In einer besonders vorteilhaften Ausführungsvariante der Erfindung weist das dem Laufrad in Strömungsrichtung vorangestellte Leitrad mindestens einen Leiringflügel mit einem asymmetrischen Flügelprofil auf. Der Leiringflügel ist entweder einteilig oder zweiteilig ausgebildet und verleiht dem in dem Gehäuse strömenden Fluid den Konuswinkel für die resultierende Anströmung des nachfolgenden Laufringflügels. Ein zweiteiliger Leiringflügel hat ein Tandemflügelprofil aus zwei hintereinander angeordneten und sich gegenseitig überlappenden asymmetrischen Flügelprofilen, jeweils mit einer bzgl. der Rotationachse geneigten Profilsehne, die den Konuswinkel für die resultierende Anströmung des stromab angeordneten Laufringflügels vorgibt. Die Profilsehnen der Leiringflügel sind steiler geneigt als die Profilsehnen der Laufringflügel. An dem Leitschaufelgitter des Leittrads entsteht eine Düsenströmung, die mit dem Nachlauf des Turbinenschaufelgitters des Laufrads interagiert, sodass eine beschleunigte Strömung die Anströmung der Laufringflügel des Laufrads mit einem maximalen Konuswinkel ermöglicht. Die innere und die äußere Strömungsleitfläche des Gehäuses können in diesem Fall parallel zueinander angeordnet werden. Mit der Überströmung des Laufringflügels wird die Strömung an jeder Stufe eines mehrstufigen Verdichtungs- oder Expansionsmoduls wieder parallel zu der Rotationsachse ausgerichtet, sodass sich die aus der Überströmung des stromab folgenden Leiringflügels resultierenden Kräfte gegenseitig aufheben. An einer Verdichtungsstufe und an einer Expansionsstufe wechselt die konvexe Saugseite an dem Leiringflügel und an dem Laufringflügel jeweils von der der Rotationsachse zugewandten Innenseite auf die der Rotationsachse abgewandte Außenseite oder umgekehrt von der Außenseite auf die Innenseite.

Das Laufwerk der Turbine

Die radialen Leitschaufeln der Leiträder geben den Neigungswinkel für die aus der Strömungsgeschwindigkeit, aus der Umlaufgeschwindigkeit und aus dem Konuswinkel resultierende Anströmung der Laufringflügel in der gegenüber der Rotationsebene mit einem Neigungswinkel geneigten Neigungsebene vor. Dabei sind die radialen Leitschaufeln des Leitrads und die radialen Turbinenschaufeln des Laufrads jeweils als in sich verwundene asymmetrische Flügelprofile ausgebildet, deren Anstellwinkel gegenüber der Rotationsebene von ihrem der Welle zugekehrten Ende zu ihrem äußeren Ende hin jeweils kontinuierlich abnimmt. Die radialen Turbinenschaufeln und die Laufringflügel durchdringen einander so dass die Flügelnasen der Turbinenschaufeln und die Flügelnasen der Laufringflügel möglichst in einer Ebene liegen. Das Laufwerk des mehrstufigen Verdichtungsmoduls und des mehrstufigen Expansionsmoduls besteht jeweils aus einer Kaskade von Laufrädern. Ein einzelner und mehrere Laufringflügel eines Laufrads, die in der Rotationsebene mit einer Mehrzahl von radialen Turbinenschaufeln verbunden sind, haben jeweils ein Ringprofil, das in dem Querschnitt entlang der Rotationsachse und senkrecht zu der Rotationsebene so ausgebildet ist, dass der Schrägschnitt des Laufringflügels in einer mit einem Neigungswinkel gegenüber der Rotationsebene geneigten Neigungsebene ein strömungsdynamisch wirksames, asymmetrisches Flügelprofil aufweist. In der Rotationsebene des Laufrads weisen die radialen Turbinenschaufeln einen von der jeweiligen Umlaufgeschwindigkeit abhängigen Anstellwinkel auf, dessen Betrag vom wellenseitigen zum äußeren Ende der radialen Turbinenschaufeln hin abnimmt. Die radialen Turbinenschaufeln eines Laufrads sind in der Rotationsebene entweder mit nur einem einzelnen Laufringflügel kraftschlüssig verbunden oder das Laufrad weist eine Mehrzahl konzentrisch zueinander angeordneter Laufringflügel auf, die in der Rotationsebene jeweils mit den radialen Turbinenschaufeln verbunden sind. Der Laufringflügel

hat eine leicht nach Luv geneigte, sich zwischen der Flügelnase und der Flügelhinterkante erstreckende Profilsehne sowie eine kreisförmig ausgebildete Druckpunktlinie und wird über seinen gesamten Umfang von der resultierenden Anströmung angeströmt, sodass der Laufringflügel in der Neigungsebene einen senkrecht zu der resultierenden Anströmung an der kreisförmigen Druckpunktlinie angreifenden dynamischen Auftrieb erzeugt. Während der gesamte Ringflügel eine kreisförmig ausgebildete Druckpunktlinie hat, ist bei Betrachtung des jeweiligen Flügelprofils ein Druckpunkt vorhanden. Der Druckpunkt eines Körpers in der Strömung befindet sich dort, wo sich alle wirksamen Strömungskräfte zusammenfassen lassen, und in Bezug auf den Druckpunkt wirkt kein Drehmoment.

Strömungsdynamisch bewirkte Kräfte

In der Neigungsebene teilt sich der dynamische Auftrieb des Laufringflügels in die senkrecht zu der Rotationsachse wirkende Sogkraft und in den Widerstand sowie in die Vortriebskraft, die ihrerseits in eine in der Rotationsebene in Drehrichtung des Laufringflügels wirkende und an der Welle ein Drehmoment erzeugende, tangentiale Antriebskraft und in eine der Strömung entgegenwirkende Saugkraft aufteilbar ist, wobei der tangentialen Antriebskraft in der Rotationsebene der Rotationswiderstand und der senkrecht zu der Rotationsebene wirkenden Saugkraft die Schubkraft entgegenwirkt. Während die tangentiale Antriebskraft ein Drehmoment an der Welle erzeugt, sodass eine vorgegebene Drehzahl mit weniger Energieaufwand erreicht wird, addiert sich die Saugkraft einer Vielzahl, jeweils aus einem Leit- und einem Laufrad bestehender Stufen des Verdichtungs- und /oder des Expansionsmoduls zu der am Strömungseinlass des Gehäuses wirkenden Saugkraft der Turbine. Die Antriebsleistung einer Strömungsmaschine oder eine Turbinen-Strahltriebwerks kann deshalb um bis zu 25% reduziert werden.

Herstellung, Montage und Wartung der Turbine

Das Laufrad einer elektrisch angetriebenen Turbine kann aus einem Stück aus Kunststoff in einem Spritzgussverfahren oder aus Metall in einem Druckgussverfahren hergestellt werden. Thermisch beanspruchte Laufräder einer Turbine bestehen aus speziellen Metalllegierungen und können z.B. aus einer strömungszugewandten und einer strömungsabgewandten Hälfte, die untereinander verschweißt werden, aufgebaut werden. Ein Laufrad einer thermodynamisch angetriebenen Turbine kann aber auch aus radialen Segmenten bestehen, wobei eine obere und eine untere Hälfte des Laufrads die Wartung und Reparatur des Laufrads erleichtern, indem das Leitwerk von dem Turbinenschaft abgehoben werden kann. Um den Austausch einer einzelnen radialen Turbinenschaufel zu erleichtern, hat der Laufringflügel jeweils eine Fuge mit einer Ausnehmung für die Aufnahme einer Feder zur Herstellung einer Nut-und-Feder-Verbindung zwischen zwei benachbarten Turbinenschaufeln. Für den Austausch einer einzelnen Turbinenschaufel werden die Schraubverbindungen der linken und rechten Feder mit dem Laufringflügel gelöst, wobei die Federn vollständig in die Ausnehmung des Hohlkammerprofils geschoben werden, um die Turbinenschaufel aus den Nuten der Welle herausschieben zu können. In der Arbeitsstellung ist die Feder kraftschlüssig mit dem Laufringflügelsegment einer ersten Turbinenschaufel verbunden und ragt zur Hälfte in das anschließende Laufringflügelsegment einer zweiten Turbinenschaufel hinein, sodass die Verbindung einander benachbarter Turbinenschaufeln jeweils ein Fest- und ein Gleitlager aufweisen. Ein Laufrad, bei dem die Flügelnasen und die Flügelhinterkanten der radialen Turbinenschaufeln und der Laufringflügel jeweils in einer Ebene liegen, bildet eine biege-, schub- und torsionssteife Scheibe, die sich durch hohe Stabilität und geringes Gewicht auszeichnet. Die Scheibe kann an einem Stück oder, wie beschrieben, aus einer Mehrzahl untereinander verbundener Kreissektoren hergestellt werden. Zum

Auswechseln eines Laufrads kann eine genutete Welle vorgesehen sein, die in Richtung der Rotationsachse aus dem Laufwerk herausgeschoben wird. Zwischen der Welle und einer einzelnen Turbinenschaufel kann eine hinterschnittene Verbindung vorgesehen sein.

Turbinen-Strahltriebwerke

Bei einem thermodynamisch oder elektrisch angetriebenen Turbinen-Strahltriebwerk bildet am Strömungseinlass des Gehäuses ein Laufrad zusammen mit dem sich stromab anschließenden Leitrad die erste Stufe eines mehrstufigen Verdichtungsmoduls. Die radialen Turbinenschaufeln des Laufrads sind an ihrem äußeren Ende mit einem Laufringflügel verbunden, dessen konvexe Saugseite zur Rotationsachse orientiert ist. Bei einem thermodynamischen Turbinen-Strahltriebwerk schließt sich in Richtung der Strömung mindestens eine Brennkammer sowie mindestens ein mehrstufiges Expansionsmodul mit einer Schubdüse als Strömungsauslass an das mehrstufige Verdichtungsmodul an. Das Turbinen-Strahltriebwerk ist entweder als ein Mantelstromtriebwerk oder als ein Propfan-Triebwerk oder als eine Wellenturbine oder als ein Turboprop-Triebwerk oder als ein Einstrom-Strahltriebwerk ausgebildet.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsvariante eines Turbinen-Strahltriebwerks besteht das Gehäuse der Turbine aus zwei konzentrisch zueinander angeordneten Schalen und weist entweder am Strömungseinlass oder am Strömungsauslass eine von einem Leit- und einem Laufrad gebildete Schubstufe auf. Bei einem Mantelstromtriebwerk ist die Schubstufe am Strömungseinlass des Gehäuses unmittelbar vor dem mehrstufigen Verdichtungsmodul, und bei einem Propfan-Triebwerk ist die Schubstufe unmittelbar hinter dem Expansionsmodul am Strömungsauslass des Gehäuses angeordnet. Das als Fan ausgebildete Laufrad am Strömungseinlass des Gehäuses bildet zusammen mit dem stromab folgenden Leitrad die erste Stufe des

Verdichtungsmoduls eines Turbinen-Strahltriebwerks, das von einer Brennkammer und einem mehrstufigen Expansionsmodul thermodynamisch angetrieben wird. Die hohe Drehzahl des Fans beschleunigt die anströmende Luft und bewirkt in der Rotationsebene einen schlagartigen Druckabfall in der Strömung, sodass sich der Konuswinkel für die Anströmung des Laufringflügels strömungsdynamisch einstellt. An einem elektrisch angetriebenen Mantelstromtriebwerk bildet die Schubstufe den Strömungseinlass der Turbine und ist unmittelbar vor dem mehrstufig aufgebauten Verdichtungsmodul angeordnet. Das Verdichtungsmodul ist dazu ausgebildet, den Druck der Luft stufenweise zu erhöhen, sodass die vorgespannte Strömung an der Schubdüse als kalter Luftstrahl mit hoher Geschwindigkeit in die Atmosphäre ausgestoßen wird und ein Fahrzeug nach dem Rückstoßprinzip beschleunigt. Bei einem Mantelstrom- und bei einem Propfan-Triebwerk sind aufgrund der unterschiedlichen Umlaufgeschwindigkeiten des Fans und der Laufräder der Verdichtungs- und Expansionsmodule zwei Wellen vorgesehen, wobei der Fan von einem Niederdruck-Expansionsmodul und das Verdichtungsmodul von einem Hochdruck-Expansionsmodul angetrieben werden.

Strömungsmaschinen

Eine Dampf- oder Gasturbine weist mindestens ein mehrstufig aufgebautes Expansionsmodul auf, das dazu ausgebildet ist, ein mit hohem Druck und hoher Temperatur beaufschlagtes Arbeitsmedium zwischen dem Strömungseinlass und dem Strömungsauslass des Gehäuses der Turbine in mehreren, jeweils von einem Leitrad und einem Laufrad gebildeten Stufen zu entspannen und die dabei gewonnene Rotationsleistung an der Welle der Turbine z.B. für den Antrieb eines Generators zur Verfügung zu stellen. Die rotative Wirkung der Laufringflügel an einer Mehrzahl von Laufrädern des Laufwerks der Strömungsmaschine ermöglicht es, eine vorgegebene Drehzahl mit

weniger Energieaufwand zu erreichen. Dies bedeutet umgekehrt, dass bei einer Dampfturbine in einer Abfolge von Hoch-, Mittel- und Niederdruck- Expansionsmodulen bei einer bestimmten Dampftemperatur und einem bestimmten Dampfdruck aus dem Entspannungsprozess mehr Energie gewonnen werden kann. Bei einer Gasturbine wird eine vorgegebene Leistung entsprechend mit weniger Brennstoff erreicht. Thermodynamisch beschreiben Strömungsmaschinen und Turbinen-Strahltriebwerke einen rechtsdrehenden Kreisprozess, bei dem Wärme in Arbeit umgewandelt wird.

Wärmepumpen und Kühlturbinen

Thermodynamisch betrachtet können die Ausführungsformen aber auch einen linksdrehenden Prozess aufweisen, bei dem im Falle einer Wärmepumpe unter Zufuhr von Arbeit Wärme von einem niedrigeren Niveau auf ein höheres Niveau gefördert wird. Dementsprechend besteht eine Ausführungsform einer Wärmepumpe aus einem elektrisch angetriebenen Verdichtungsmodul, bei dem das Gehäuse und das Leitwerk und ggf. auch das Laufwerk als ein mediendurchströmter Wärmeübertrager ausgebildet sind, der die Kompressionswärme auf ein in einem separaten Kreislauf geführtes Wärmeträgerfluid überträgt. Die von den Laufringflügeln der Laufräder bewirkte Saugkraft addiert sich am Strömungseinlass der Turbine zu einem resultierenden Sog, der den Wärmeträger Luft ansaugt. In einem separaten Kältekreis, dessen Wärmeträgerfluid das Gehäuse, das Leitwerk und ggf. auch das Laufwerk durchströmt, kann die von der Wärmepumpe geförderte Wärme einer Nutzung, z.B. der Beheizung eines Gebäudes, zugeführt werden. Entsprechend ist eine Kühlturbine aufgebaut, die z.B. dazu ausgebildet ist, einen Aufenthaltsraum zu temperieren. In einem geschlossenen Kreislauf wird zunächst die überschüssige Raumluftwärme von einer elektrisch angetriebenen Verdichtungsstufe angesaugt und verdichtet, wobei sich Druck und Temperatur der angesaugten Luft erhöhen. Da auch hier das

Leitwerk und das Laufwerk als Wärmeübertrager ausgebildet sind und von dem Wärmeträgerfluid eines separaten Kältekreis durchströmt werden, kann die Wärme z.B. in dem Kältekreis, der einen Phasenwechsel des Wärmeträgerfluids vorsieht, sehr effektiv aus dem Verdichtungsmodul abgeleitet werden, um anschließend in dem auf derselben Antriebswelle liegenden Expansionsmodul weiter abgekühlt, um dann dem Raum als kühle Zuluft wieder zugeführt zu werden. Bevorzugt bildet die Kühlturbine einen Sauger, der die Umwälzung der Raumluft antreibt. In modifizierter Form eignet sich der für die Raumluftkonditionierung beschriebene Kreislauf auch für die Kühlung einer Traktionsbatterie oder eines Verbrennungsmotors. Eine weitere Anwendung für eine bevorzugte Kühlturbine besteht in der Wärmerückgewinnung aus Abgas durch ein Verdichtungsmodul, das als Wärmeübertrager ausgebildet ist und von dem heißen Abgas selbst angetrieben wird.

Lüfter und Turbinensauger

Die Saugwirkung zusammen mit der antreibenden Wirkung eines Laufringflügels kann mit Vorteil auch für den Betrieb eines Lüfters, eines Ventilators und allgemein eines Gebläses genutzt werden. Ein bevorzugter Turbinensauger besteht in Strömungsrichtung aus einem dem Strömungseinlass des Gehäuses vorangestellten Saugschlauch mit einem durchströmten Auffangbehälter sowie aus dem elektrisch angetriebenen Niederdruck-Verdichtungsmodul und dem Strömungsauslass des Gehäuses.

Die Figuren zeigen unterschiedliche Ausführungsmöglichkeiten und Anwendungen der Erfindung.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Stufe des Expansionsmoduls einer Dampfturbine mit Querschnitten der Laufringflügel des Laufrads und mit

Darstellung der strömungsdynamisch bewirkten Kräfte in der perspektivischen Übersicht,

Fig. 2 eine Stufe des Expansionsmoduls einer Dampfturbine mit Querschnitten der Leitringflügel des Leitrads und der Laufringflügel des Laufrads mit Darstellung der strömungsdynamisch bewirkten Kräfte in der perspektivischen Übersicht,

Fig. 3 ein Niederdruck-Expansionsmodul einer Dampfturbine mit Leit- und Laufringflügeln im schematischen Längsschnitt,

Fig. 4 eine Stufe des Expansionsmoduls einer Dampfturbine mit Tandemflügelprofilen der Leitringflügel des Leitrads in der perspektivischen Übersicht,

Fig. 5 ein aus zwei Kreissektoren aufgebautes Laufrad in der perspektivischen Übersicht,

Fig. 6 eine Stufe des Expansionsmoduls einer Gasturbine mit Querschnitten der Leitringflügel des Leitrads und der Laufringflügel des Laufrads mit Darstellung der strömungsdynamisch bewirkten Kräfte in der perspektivischen Übersicht,

Fig. 7 eine Stufe des Verdichtungsmoduls einer Gasturbine mit Querschnitten der Leitringflügel des Leitrads und der Laufringflügel des Laufrads mit Darstellung der strömungsdynamisch bewirkten Kräfte in der perspektivischen Übersicht,

Fig. 8 den Längsabschnitt einer elektrisch oder thermodynamisch angetriebenen Verdichtungsmoduls mit Leit- und Laufringflügeln im schematischen Längsschnitt,

Fig. 9 eine Stufe des Verdichtungsmoduls einer Gasturbine mit Querschnitten der Tandemflügelprofile an den Leitringflügeln des Leitrads und der asymmetrischen Flügelprofile an den Laufringflügeln des Laufrads in der perspektivischen Übersicht,

Fig. 10 den Längsabschnitt eines elektrisch oder thermodynamisch angetriebenen Verdichtungsmoduls mit Tandemflügelprofilen an den

Leitringflügeln und asymmetrischen Flügelprofilen an den Laufringflügeln im schematischen Längsschnitt,

Fig. 11 ein thermodynamisches Turbinen-Strahltriebwerk mit Darstellung der strömungsdynamisch bewirkten Kräfte an dem Laufringflügel des Fans in der Ausschnittsperspektive,

Fig. 12 ein thermodynamisches Mantelstromtriebwerk im schematischen Längsschnitt,

Fig. 13 ein Propfan-Triebwerk im schematischen Längsschnitt,

Fig. 14 ein Einstromstrahltriebwerk im schematischen Längsschnitt,

Fig. 15 eine Wellenturbine im schematischen Längsschnitt,

Fig. 16 einen Turbinensauger in der perspektivischen Übersicht,

Fig. 17 das elektrisch angetriebene Verdichtungsmodul des Turbinensaugers nach Fig. 16 in der Ausschnittsperspektive,

Fig. 18 ein elektrisches Mantelstromtriebwerk mit Darstellung der strömungsdynamisch bewirkten Kräfte an dem Laufringflügel des Fans in der Ausschnittsperspektive,

Fig. 19 das Mantelstromtriebwerk nach Fig. 18 im schematischen Längsschnitt, und

Fig. 20 ein Flugzeug 174 mit zwei Mantelstromtriebwerken, die in ihrem Aufbau dem in Fig. 18 und Fig. 19 gezeigten Ausführungsbeispiel entsprechen, in der perspektivischen Übersicht.

Fig. 1 zeigt eine von einem Leitrad **10** und von einem Laufrad **11** gebildete Stufe eines mehrstufigen Expansionsmoduls **15** einer Strömungsmaschine **16**, die als Dampfturbine **160** ausgebildet ist. Das Leitrad **10** besteht aus einem von einer Mehrzahl von Leitschaufeln **100** gebildeten Schaufelgitter, das mit dem Gehäuse **101** starr verbunden ist, während das Laufrad **11** eine Mehrzahl von Turbinenschaufeln **111** aufweist, die auf Seiten der Welle **110** mit einem nicht näher bezeichneten Ring und an ihrem äußeren Ende mit einem Laufringflügel **2** verbunden sind und durch den Dampf antreibbar sind. Die Leitschaufeln 100 werden auch als

radiale Leitschaufeln 100 bezeichnet, obwohl sie nicht zwingend streng radial verlaufen. Die Turbinenschaufeln 111 werden auch als radiale Turbinenschaufeln 100 bezeichnet, obwohl sie nicht zwingend streng radial verlaufen. Zwei weitere Laufringflügel **2** unterteilen das Laufrad **11** in drei Felder. Die Laufringflügel **2** sind ringförmig ausgebildet. Die drei konzentrisch zueinander und zu der Rotationsachse **x** angeordneten Laufringflügel **2** weisen in der mit dem Neigungswinkel β gegenüber der Rotationsebene **R** geneigten Neigungsebene **N**, wie in dem Detailschnitt gezeigt, ein asymmetrisches Flügelprofil **22** auf, dessen konvexe Saugseite auf der Außenseite des Laufringflügels **2** und dessen konkave Druckseite auf der Innenseite des Laufringflügels **2** liegt, wobei außen und innen im Hinblick auf die Orientierung des Laufringflügels **2** relativ zur Rotationsachse **x** gemeint ist. Das Flügelprofil **22** des Laufringflügels **2** kann auch als Laufringflügelprofil **22** bezeichnet werden. Bei einem asymmetrischen Flügelprofil **22** kann man auch einfach von Saugseite und Druckseite sprechen. Für den Fachmann ist der Begriff konvexe Saugseite und konkave Druckseite ebenfalls klar, wobei beispielsweise die Druckseite im Ausführungsbeispiel im Bereich der Flügel Nase **n** ebenfalls bereichsweise konvex ist, jedoch zumindest bereichsweise auch konkav ausgebildet ist. Die Flügel Nase **n** des asymmetrischen Flügelprofils **22** ist zum Strömungseinlass **102** und die Flügelhinterkante **e** zum Strömungsauslass **103** des Expansionsmoduls **15** ausgerichtet. Die Dampfturbine **160** läuft im subsonischen Bereich, wobei der Dampfdruck von Stufe zu Stufe abnimmt und sich die Strömung **S** innerhalb des Gehäuses **101** mit dem Konuswinkel α ausdehnt. Aus der Strömungsgeschwindigkeit **A**, der Umlaufgeschwindigkeit **B** und aus dem Konuswinkel α resultiert in der Neigungsebene **N** die Anströmung **C** des Laufringflügels **2**. Die Profilsehne **p** des Laufringflügels **2** ist, wie im Detailschnitt des asymmetrischen Flügelprofils **22** in der Neigungsebene **N** gezeigt, mit einem im Vergleich zu dem Konuswinkel α der resultierenden Anströmung **C**

flacheren Steigungswinkel δ von etwa 15 Grad nach Luv zur Rotationsachse \mathbf{x} hin geneigt und deshalb mit einem Anstellwinkel zu der resultierenden Anströmung \mathbf{C} ausgerichtet. Senkrecht zu der Anströmung \mathbf{C} greift der Auftrieb \mathbf{D} an der kreisförmigen Druckpunktlinie \mathbf{q} an und bewirkt in der Neigungsebene \mathbf{N} eine Vortriebskraft \mathbf{E} , die sich in eine in der Rotationsebene \mathbf{R} wirksame tangentielle Antriebskraft \mathbf{F} und in eine parallel zur Rotationsachse \mathbf{x} in Richtung des Strömungseinlasses 102 des Expansionsmoduls 15 gerichtete Saugkraft \mathbf{G} aufteilt. In der Neigungsebene \mathbf{N} wirkt der Vortriebskraft \mathbf{E} der Widerstand \mathbf{J} entgegen, während in der Rotationsebene \mathbf{R} der Rotationswiderstand \mathbf{K} und in Richtung der Strömung \mathbf{S} die Schubkraft \mathbf{L} wirksam ist. Radial zur Rotationsachse \mathbf{x} wirkt der Sog \mathbf{H} .

Fig. 2 zeigt ebenfalls eine Stufe des Expansionsmoduls 15 einer Dampfturbine **160**. Im Unterschied zu der in Fig. 1 gezeigten Stufe weist das Leitrad **10** bei diesem Ausführungsbeispiel drei konzentrisch zu der Rotationsachse \mathbf{x} angeordnete Leitringflügel **20** auf, die mit den drei Laufringflügel **2** des Laufrads **11** zusammenwirken. Die Leitringflügel **20** sind ringförmig ausgebildet. Die Leitringflügel **20** haben ein asymmetrisches Flügelprofil **21** mit einer konvexen Saugseite, einer konkaven Druckseite, einer zum Strömungseinlass 102 ausgerichteten Flügel Nase \mathbf{n} und einer zum Strömungsauslass 103 des Expansionsmoduls 15 ausgerichteten Flügelhinterkante \mathbf{e} . Das Flügelprofil **21** des Leitringflügels **20** können auch als Leitringflügelprofil **21** bezeichnet werden. Während die Saugseiten bzw. konvexen Saugseiten der Leitringflügel **20** zur Rotationsachse \mathbf{x} hin orientiert sind, sind die konvexen Saugseiten der Laufringflügel **2** jeweils nach außen, zu dem Gehäuse **101** hin orientiert. Die sich zwischen dem Strömungseinlass **102** und dem Strömungsauslass **103** eines mehrstufigen Expansionsmoduls 15 entspannende Strömung \mathbf{S} wird,

wie auch in Fig. 3 gezeigt, mit einem Konuswinkel α von der Rotationsachse \mathbf{x} weggelenkt. An den Leitringflügeln **20** erhält die Strömung \mathbf{S} einen Drall, der sie ebenfalls von der Rotationsachse \mathbf{x} weglenkt und so den Konuswinkel α der resultierenden Anströmung \mathbf{C} des Laufringflügels **2** erhöht. Für die in der Neigungsebene \mathbf{N} aus dem Auftrieb \mathbf{D} abgeleitete Vortriebskraft \mathbf{E} ist der Konuswinkel α der resultierenden Anströmung \mathbf{C} von entscheidender Bedeutung und bewirkt in der Rotationsebene \mathbf{R} die tangentielle Antriebskraft \mathbf{F} und die entgegen der Strömung \mathbf{S} wirkende Saugkraft \mathbf{G} . Wie der Detailschnitt des asymmetrischen Flügelprofils **22** in der Neigungsebene \mathbf{N} zeigt, ist die Profilsehne \mathbf{p} mit einem Steigungswinkel δ gegenüber der Rotationsachse \mathbf{x} geneigt, der mit einer Steigung von etwa 18 Grad flacher ausgebildet ist als der Konuswinkel α der resultierenden Anströmung \mathbf{C} selbst. Die radialen Turbinenschaufeln **111** des Laufrads **11** sind als in sich verwundene Schaufelprofile ausgebildet und mit einem von der Blattwurzel zur Blattspitze kontinuierlich flacher werdenden Anstellwinkel gegenüber der Rotationsebene \mathbf{R} geneigt.

Fig. 3 zeigt eine Kaskade von drei jeweils aus einem Leitrad **10** und einem Laufrad **11** gebildeten Stufen des Expansionsmoduls **15** einer Strömungsmaschine **16**, die als Dampfturbine **160** ausgebildet ist. Die Anordnung der Leitringflügel **20** und der Laufringflügel **2** einer Stufe entspricht dem in Fig. 2 gezeigten Ausführungsbeispiel. Die konvexen Saugseiten der asymmetrischen Flügelprofile **21** der Leitringflügel **20** sind jeweils zur Rotationsachse \mathbf{x} hin orientiert, während die konvexen Saugseiten der Laufringflügel **2** zu dem sich in Richtung der Strömung \mathbf{S} erweiternden Gehäuse **101** hin orientiert sind. Wie in Fig. 2 gezeigt, bilden jeweils ein Leitringflügel **20** und ein Laufringflügel **2** eine funktionale Einheit, die dazu ausgebildet ist, den Konuswinkel α der resultierenden Anströmung \mathbf{C} des Laufringflügels **2** zu erhöhen. Die Profilsehnen \mathbf{p} des

asymmetrischen Flügelprofils **22** der Laufringflügel **2** weisen einen flacheren Steigungswinkel δ gegenüber der Rotationsachse **x** auf als die Profilsehnen **p** des asymmetrischen Flügelprofils **21** der Leitringflügel **20**.

Fig. 4 zeigt eine von einem Leitrad **10** und einem Laufrad **11** gebildete Stufe des Expansionsmoduls **15** einer Dampfturbine **160**, bei der der Leitringflügel **20** ein Tandemflügelprofil **210** aus zwei asymmetrischen Flügelprofilen **21** aufweist. Ein Schnitt des Tandemflügelprofils **210** ist in Fig. 10 dargestellt. Das Tandemflügelprofil **210** des Leitringflügels **20** hat die Aufgabe, der Strömung **S** einen maximalen Drall zu verleihen, sodass das asymmetrische Flügelprofil **22** des Laufringflügels **2**, wie in Fig. 2 gezeigt, in der Neigungsebene **N** mit einem möglichst steilen Konuswinkel α angeströmt wird, wobei die Tandemflügelprofile **210** des Leitrads **10** und das asymmetrische Flügelprofil **22** des Laufrads **11** jeweils unterschiedliche Steigungswinkel δ gegenüber der Rotationsachse **x** aufweisen. Der Detailschnitt zeigt den Steigungswinkel δ des strömungsdynamisch wirksamen asymmetrischen Flügelprofils **22** in der Neigungsebene **N**.

Fig. 5 zeigt das Laufrad **11** einer Dampfturbine **160**, bei dem sich ein Vielzahl von radialen Turbinenschaufeln **111** des Laufrads **11** mit insgesamt drei konzentrisch um die Rotationsachse **x** angeordneten Laufringflügeln **2** durchdringen und ein biege-, schub- und torsionssteifes Turbinenschaufelgitter bilden. Das Laufrad **11** ist aus zwei halbkreisförmigen Segmenten aufgebaut, die in der Rotationsebene **R** untereinander durch die Federn **211** einer Nut-und-Feder-Verbindung verbunden werden. Durch Keil- oder Schraubverbindungen sind die Federn **211** mit einer Hälfte des Laufrads **11** starr verbunden, während mit der zweiten Hälfte des Laufrads **11** eine gleitende Verbindung hergestellt wird.

Fig. 6 zeigt eine von einem Leitrad **10** und einem Laufrad **11** gebildete Stufe des Expansionsmoduls **15** einer Strömungsmaschine **16**, die als Gasturbine **161** ausgebildet ist. Das Leitrad **10** besteht aus einer Vielzahl von radialen Leitschaufeln **100**, die zusammen mit den drei konzentrisch um die Rotationsachse **x** angeordneten Leitringflügeln **20** ein Schaufelgitter bilden. Die drei Leitringflügel **20** beeinflussen die resultierende Anströmung **C** der drei zugeordneten Laufringflügel **2** des sich stromab an das Leitrad **10** anschließenden Laufrads **11**, indem die Strömung **S** einen Drall von der Rotationsachse **x** weg erhält. Die resultierende Anströmung **C** strömt den Laufringflügel **2** in der Neigungsebene **N** mit einem Konuswinkel α an und setzt sich aus der Strömungsgeschwindigkeit **A** und der Umlaufgeschwindigkeit **B** zusammen. Der von dem asymmetrischen Flügelprofil **22** bewirkte Auftrieb **D** ist in Drehrichtung **T** des Laufrads **11** nach Luv geneigt. Aus dem Auftrieb **D** leiten sich in der Neigungsebene **N** der Sog **H** und die Vortriebskraft **E** ab. In der Rotationsebene **R** wirkt an der Druckpunktlinie **q** eine Komponente der Vortriebskraft **E** als tangentielle Antriebskraft **F**. Parallel zu der Rotationsachse **x** wirkt die zweite Komponente der Vortriebskraft **E** als eine zum Strömungseinlass **102** gerichtete Saugkraft **G**. In der Neigungsebene **N** wirkt der Vortriebskraft **E** der Widerstand **J** entgegen, der sich in der Rotationsebene **R** entsprechend in den Rotationswiderstand **K** und parallel zu der Rotationsachse **x** in die Schubkraft **L** aufteilt. Die Profilsehnen **p** des asymmetrischen Flügelprofils **22** der Laufringflügel **2** weisen, wie auch in Fig. 8 gezeigt, einen Steigungswinkel δ gegenüber der Rotationsachse **x** auf, der flacher ausgebildet ist als der Steigungswinkel δ der Profilsehnen **p** des asymmetrischen Flügelprofils **21** der Leitringflügel **20**.

Fig. 7 zeigt eine von einem Leitrad **10** und einem Laufrad **11** gebildete Stufe des Verdichtungsmoduls **13** einer Strömungsmaschine **16**, die als Gasturbine **161** ausgebildet ist.

Das Leitrad **10** besteht aus einer Vielzahl von radialen Leitschaufeln **100**, die zusammen mit drei konzentrisch um die Rotationsachse **x** angeordneten Leitringflügeln **20** ein Schaufelgitter bilden. Die drei Leitringflügel **20** beeinflussen die resultierende Anströmung **C** von drei Laufringflügeln **2** des sich stromab an das Leitrad **10** anschließenden Laufrads **11**, indem die Strömung **S** einen Drall von der Rotationsachse **x** weg erhält. Die von dem Laufringflügel strömungsdynamisch bewirkten Kräfte **A** bis **L** entsprechen dem in Fig. 6 erläuterten Ausführungsbeispiel. An dem Verdichtungsmodul **13** ist die konkave Seite der radialen Turbinenschaufeln **111** in Drehrichtung **T** des Laufrads **11** ausgerichtet. Insgesamt drei Laufringflügel **2** sind jeweils kraftschlüssig mit den radialen Turbinenschaufeln **111** des Laufrads **11** verbunden, wobei an dem asymmetrischen Flügelprofil **22** der Laufringflügel **2** jeweils eine Nut- und Federverbindung zwischen den radialen Turbinenschaufeln **111** vorgesehen ist, sodass die Auswechslung einer einzelnen radialen Turbinenschaufel **111** oder mehrerer Turbinenschaufeln **111** ermöglicht wird. An jeder Fuge weist die Feder **211** ein Fest- und ein Loslager auf, sodass für den Austausch einer radialen Turbinenschaufel **111** das Festlager gelöst und die Feder **211** in eine Ausnehmung des Laufringflügels **2** zurück geschoben werden kann, um die radiale Turbinenschaufel **111** parallel zu der Rotationsachse **x** aus einer Nut an der Wurzel der radialen Turbinenschaufel **111** herauschieben zu können.

Fig. 8 zeigt am Beispiel eines schematischen Längsschnitts durch zwei Stufen des Verdichtungsmoduls **13** einer thermodynamisch oder elektrisch angetriebenen Turbine **1** die Überströmung der asymmetrischen Flügelprofile **21**, **22** der Leiträder **10** und der Laufräder **11**. Die starr mit dem Gehäuse **101** verbundenen Leiträder **10** weisen jeweils drei starre Leitringflügel **20** mit einem asymmetrischen Flügelprofil **21** auf, deren Profilsehne **p** mit einem Steigungswinkel **δ** von ca. 20 Grad in Richtung des

Strömungseinlasses **102** zur Rotationsachse **x** hin geneigt ist, wobei die Saugseite des asymmetrischen Flügelprofils **21** zur Welle **110** ausgerichtet ist. Das Laufrad **11** weist jeweils drei konzentrisch zur Rotationsachse **x** rotierende Laufringflügel **2** mit asymmetrischen Flügelprofilen **22** auf, deren Profilsehnen **p** mit einem Steigungswinkel δ von ca. 7 Grad in Richtung des Strömungseinlasses **102** zur Rotationsachse **x** hin geneigt sind, wobei die Saugseiten der asymmetrischen Flügelprofile **22** auf der dem Gehäuse **101** zugewandten Außenseite liegen. Zusammen mit den radialen Leitschaufeln **100** bilden die Leitringsflügel **20** ein Schaufelgitter, das dazu ausgebildet ist, die Strömung **S** auf das Laufrad **11** zu leiten. An dem Laufrad **11** bilden die Laufringflügel **2** zusammen mit den radialen Turbinenschaufeln **111** ein zu dem Schaufelgitter des Leittrads **10** komplementäres Turbinenschaufelgitter, das dazu ausgebildet ist, die kinetische Energie der Strömung **S** in eine Drehbewegung mit Drehrichtung **T** zu wandeln. Der im Betrag geringere Steigungswinkel δ der Profilsehnen **p** der Laufringflügel **2** wirkt an den asymmetrischen Flügelprofilen **22** der Laufringflügel **2** als Anstellwinkel in Bezug zu der resultierenden Anströmung **C**, sodass die Laufringflügel **2** einen maximalen Auftrieb **D** liefern, aus dem sich, wie auch in Fig. 7 gezeigt, die tangentielle Antriebskraft **F** und eine luvseitige Saugkraft **G** ableiten.

Fig. 9 zeigt eine von einem Leitrad **10** und einem Laufrad **11** gebildete Stufe des Verdichtungsmoduls **13** einer Strömungsmaschine **16** am Beispiel einer Gasturbine **161**, bei der im Unterschied zu dem in Fig. 7 gezeigten Ausführungsbeispiel die drei Leitringsflügel **20** des Leittrads **10** ein Tandemflügelprofil **210** aufweisen. Wie auch in Fig. 10 gezeigt, beeinflusst das Tandemflügelprofil **210** des Leitringsflügels **20** den Konuswinkel α der resultierende Anströmung **C** des Laufringflügels **2**. Die vektorielle Darstellung der Kräfte **A-L** an einem Ausschnitt des Laufringflügels **2** zeigt den Konuswinkel α

der resultierenden Anströmung **C** als Vektorsumme aus der Strömungsgeschwindigkeit **A** und der Umlaufgeschwindigkeit **B** des Laufrads **11**. Die diagonale Überströmung des Laufringflügels **2** bewirkt einen in Drehrichtung **T** des Laufrads **11** geneigten Auftrieb **D**, aus dem sich die tangentielle Antriebskraft **F** und die zum Strömungseinlass **102** orientierte Saugkraft **G** ableiten.

Fig. 10 zeigt am Beispiel eines schematischen Längsschnitts durch zwei Stufen des Verdichtungsmoduls **13** einer thermodynamisch oder elektrisch angetriebenen Turbine **1** die Überströmung der Tandemflügelprofile **210** der Leiträder **10** und der asymmetrischen Flügelprofile **22** der Laufräder **11**. Das Tandemflügelprofil **210** besteht aus zwei sich einander übergreifenden asymmetrischen Flügelprofilen **21**, die, wie auch in Fig. 9 gezeigt, einen maximalen Konuswinkel α für die resultierende Anströmung **C** des Laufringflügels **2** bewirken. Die Profilsehnen **p** der Laufringflügel **2** sind mit einem Steigungswinkel δ von ca. 12 Grad in Richtung des Strömungseinlasses **102** zur Rotationsachse **x** hin geneigt, während die Profilsehnen **p** der asymmetrischen Flügelprofile **21** des Tandemflügelprofils **210** jeweils einen steileren Steigungswinkel δ gegenüber der Rotationsachse **x** aufweisen. Die Strömung **S** wird an den Laufringflügeln **2** der Laufräder **11** regelmäßig wieder parallel zu der Rotationsachse **x** ausgerichtet, sodass sich die strömungsdynamisch bewirkten Kräfte an den Tandemflügelprofilen **210** gegenseitig weitgehend aufheben.

Fig. 11 zeigt ein thermodynamisch angetriebenes Turbinen-Strahltriebwerk **17**, das als Mantelstromtriebwerk **170** ausgebildet ist. Der Strömungseinlass **102** weist eine von einem Laufrad **11** und einem Leitrad **10** gebildete Schubstufe **12** auf, an die sich in Richtung der Strömung **S** mehrere aufeinanderfolgende Verdichtungsmodule **13**, mehreren Brennkammern **14** und mindestens ein Expansionsmodul **15** am Strömungsauslass **103** des Gehäuses **101**

der Turbine **1** anschließen. Die Brennkammern **14** wirken durch den thermodynamischen Prozess (Verbrennung) als Antrieb für das Laufrad **11**. Das Laufrad **11** der Schubstufe **12** besteht aus einer Mehrzahl radialer Turbinenschaufeln **111**, die als Fan **112** wirken und an ihrem äußeren Ende mit einem Laufringflügel **2** verbunden sind. Ein Fan ist üblicherweise eine vordere Triebwerksstufe mit vergleichsweise großen Schaufelblättern. Die Beschleunigung der Strömung **S** durch die radialen Turbinenschaufeln **111** geht in der Rotationsebene **R** mit einem schlagartigen Druckabfall einher, sodass die aus der Strömungsgeschwindigkeit **A** und der Umlaufgeschwindigkeit **B** gebildete resultierende Anströmung **C** einen zur Rotationsachse **x** geneigten Konuswinkel α aufweist. Die Saugseite des Laufringflügels **2** liegt deshalb auf der Innenseite des asymmetrischen Flügelprofils **22**. An dem Laufringflügel **2** bewirkt die resultierende Anströmung **C** in der Neigungsebene **N** einen in Drehrichtung **T** geneigten Auftrieb **D**, der sich in die Vortriebskraft **E** und den Sog **H** aufteilen lässt. Eine Komponente der Vortriebskraft **E** wirkt in der Rotationsebene **R** als tangentialer Antriebskraft **F**, während die zweite Komponente der Vortriebskraft **E** als Saugkraft **G** entgegen der Richtung der Strömung **S** in Flugrichtung wirkt. Wie in den vorangehenden Ausführungsbeispielen in Fig. 6 bis Fig. 10 gezeigt, weisen auch die sich an die Schubstufe **12** anschließenden Verdichtungsmodule **13** und das sich an die Brennkammer **14** anschließende Expansionsmodul **15** jeweils mehrere Laufringflügel **2** auf, die ebenfalls jeweils rotativ und saugend wirken.

Fig. 12 zeigt ein Turbinen-Strahltriebwerk **17** als Mantelstromtriebwerk **170** in einem schematischen Längsschnitt, das dem in Fig. 11 erläuterten Ausführungsbeispiel weitgehend entspricht.

Fig. 13 zeigt den Aufbau eines Turbinen-Strahltriebwerks **17**, das als Propfan-Triebwerk **171** ausgebildet ist, in einem

schematischen Längsschnitt. In Richtung der Strömung **S** folgt auf den von einem Laufrad **11** und einem Leitrad **10** gebildeten Fan **112** am Strömungseinlass **102** das mehrstufige Verdichtungsmodul **13**, die Brennkammer **14**, das mehrstufige Expansionsmodul **15** sowie eine von einem Leitrad **10** und von einem Laufrad **11** gebildete Schubstufe **12** am Strömungsauslass **103** des aus zwei konzentrischen Schalen aufgebauten Gehäuses **101** der Turbine **1**. Die Welle des Propfan-Triebwerks **171** ist stromab des Strömungsauslasses **103** mit dem Laufrad **11** der Schubstufe **12** verbunden, und die radiale Turbinenschaufeln **111** der Schubstufe **12** weisen an ihrem äußeren Ende einen Laufringflügel **2** auf. Der Druckabfall in der Rotationsebene des Laufrads **11** bewirkt, wie in Fig. 11 erläutert, die resultierende Anströmung **C** des Laufringflügels **2** mit einem Konuswinkel α .

Fig. 14 zeigt den Aufbau eines Turbinen-Strahltriebwerks **17**, das als Einstromstrahltriebwerk **173** ausgebildet ist, in einem schematischen Längsschnitt. In Richtung der Strömung **S** folgt auf die von einem Fan **112** und einem Leitrad **10** gebildete erste Stufe am Strömungseinlass **102** das mehrstufige Verdichtungsmodul **13**, die Brennkammer **14** und das mehrstufige Expansionsmodul **15** am Strömungsauslass **103** des Gehäuses **101** der Turbine **1**. Die Turbinenschaufeln **111** der Laufräder **11** des Verdichtungsmoduls **13** und des Expansionsmoduls **15** sind jeweils am äußeren Ende mit einem Laufringflügel **2** verbunden, wobei die Saugseite des asymmetrischen Flügelprofils **22** an dem Verdichtungsmodul **13** der Rotationsachse **x** und an dem Expansionsmodul **15** dem Gehäuse **101** zugewandt ist. Wie in Fig. 11 gezeigt, wird der für die Wirksamkeit der Laufringflügel **2** erforderliche Konuswinkel α an den Laufringflügeln **2** der Laufräder **11** am Strömungseinlass **102** durch den Druckabfall der Strömung **S** in der Rotationsebene **R** des Fans **112** und im weiteren Verlauf der Strömung **S** in dem Verdichtungsmodul **13** durch die äußere Strömungsleitfläche **105**

des Gehäuses **101**, und an dem Expansionsmodul **15** durch den Druckanstieg der Strömung **S** bewirkt.

Fig. 15 zeigt ein Turbinen-Strahltriebwerk **17** als Wellenturbine **172** in einem schematischen Längsschnitt mit Darstellung eines Verdichtungsmoduls **13** am Strömungseinlass **102** und eines Expansionsmoduls **15** am Strömungsauslass **103** der Turbine **1** mit dazwischenliegender Brennkammer **14**. Funktion und Anordnung der Laufringflügel **2** entsprechen dem in Fig. 12 erläuterten Einstromstrahltriebwerk **174**.

Fig. 16 zeigt einen Turbinensauger **19** für den gewerblichen oder häuslichen Gebrauch. Wie in Fig. 17 gezeigt, wird die hohe Saugleistung des von einem Antrieb **18** angetriebenen Verdichtungsmoduls **13**, dem der Saugschlauch **190** und der durchströmte Auffangbehälter **191** vorangestellt sind, z.B. für die Gebäudereinigung genutzt. Der Antrieb **18** ist beispielsweise ein Elektromotor oder ein thermodynamischer Antrieb, beispielsweise ein Verbrennungsmotor.

Fig. 17 zeigt das von dem Elektromotor **18** angetriebene Verdichtungsmodul **13**, bei dem in Richtung der Strömung **S** mehrere jeweils von einem Leitrad **10** und einem Laufrad **11** gebildete Stufen hintereinander angeordnet sind. Die Saugwirkung der Turbine beruht auf dem in Fig. 8 beschriebenen strömungsdynamischen Zusammenwirken der Leitringflügel **20** der Leiträder **10** mit den Laufringflügeln **2** der Laufräder **11**. Bei dem Turbinensauger **19** ist am Strömungseinlass **102** der Turbine **1** ein durchströmter, z.B. von einem Papiersack gebildeter Auffangbehälter **191** angeordnet, während am Strömungsauslass **103** das Gehäuse **101** mit der Welle und dem Elektromotor **18** verbunden ist.

Fig. 18 zeigt eine Turbine **1** mit einem Turbinen-Strahltriebwerk **17**, das als elektrisch angetriebenes Mantelstromtriebwerk **170** ausgebildet ist. Am Strömungseinlass **102** der Turbine ist ein als Fan **112** ausgebildetes Laufrad **11** vorgesehen, dessen radiale Turbinenschaufeln **111** an ihrem äußeren Ende mit einem Laufringflügel **2** verbunden sind. Stromab des Fans **112** teilt sich die Strömung **S** an dem zweiseitig aufgebauten Gehäuse **101** und an dem auf das Laufrad **11** folgenden Leitrad **10** in eine äußere Mantelströmung und eine Innenströmung, die das mehrstufig aufgebaute Verdichtungsmodul **13** durchströmt. Eine Stufe des Verdichtungsmoduls **13** besteht jeweils aus einem Leitrad **10** mit Leitringflügeln **20** und aus einem Laufrad **11** mit Laufringflügeln **2** und entspricht im Wesentlichen dem in Fig. 8 näher erläuterten Ausführungsbeispiel. Der Elektromotor **18** treibt das Verdichtungsmodul **13** an. Eine - in der Ansicht nicht sichtbare - separate Welle ist für den Antrieb der von dem Fan **112** und dem Leitrad **10** gebildeten Schubstufe **12** vorgesehen. Wie im Detail gezeigt, bewirkt der Konuswinkel α der resultierenden Anströmung **C** des Laufringflügels **2** einen in Drehrichtung **T** und nach Luv geneigten Auftrieb **D**, der sich in der Neigungsebene **N** in eine Vortriebskraft **E** und einen zur Rotationsachse **x** gerichteten Sog **H** teilt. In der Rotationsebene **R** treibt die tangentielle Antriebskraft **F** den Fan **112** an, während parallel zu der Rotationsachse **x** die Saugkraft **G** wirksam ist und für zusätzlichen Schub an dem Turbinen-Strahltriebwerk **17** sorgt.

Fig. 19 zeigt das von einem Elektromotor **18** oder einem anderen Antrieb **18** angetriebene Mantelstromtriebwerk **170** nach Fig. 18 in einer schematischen Schnittansicht entlang der Rotationsachse **x**. Die radialen Turbinenschaufeln **111** des Fans **112** beschleunigen die Strömung **S**, sodass der in der Rotationsebene **R** schlagartig eintretende Druckabfall die Strömung **S**, wie gezeigt, als konvergente Strömung **S** zur Rotationsachse **x** hinlenkt. Der Druckabfall in der Strömungsröhre bewirkt, wie in Fig. 18

gezeigt, den Konuswinkel α der resultierenden Anströmung **C**, die in der Rotationsebene **R** an dem Laufringflügel **2** die tangentielle Antriebskraft **F** und parallel zu der Rotationsachse **x** die Saugkraft **G** erzeugt. Das Laufrad **11** und das nachfolgende Leitrad **10** bilden die Schubstufe **12** des elektrischen Mantelstromtriebwerks **170**, wobei sich die Strömung **S** in eine äußere Mantelströmung und in eine innere, das Verdichtungsmodul **13** durchquerende Teilströmung aufteilt. Das Verdichtungsmodul **13** besteht aus einer kaskadenartigen Abfolge von insgesamt vier Stufen, die jeweils von Leiträdern **10** und Laufrädern **11** gebildet werden, wobei, wie in Fig. 8 gezeigt, die Leiträder **10** konzentrisch zu der Rotationsachse **x** angeordnete Leitringflügel **20** und die Laufräder **11** konzentrisch zu der Rotationsachse **x** angeordnete Laufringflügel **2** aufweisen. Der Elektromotor **18** treibt jeweils eine Welle für die Schubstufe **12** und für das Verdichtungsmodul **13** an. Sowohl die äußere Mantelströmung als auch die verdichtete Innenströmung des elektrischen Turbinen-Strahltriebwerks **17** erzeugen Schub in Flugrichtung nach dem Rückstoßprinzip.

Fig. 20 zeigt ein Flugzeug **174**, das von zwei elektrischen Turbinen **1** angetrieben wird, die als Turbinen-Strahltriebwerke **17** ausgebildet sind und jeweils ein Mantelstromtriebwerk **170** aufweisen, das dem in Fig. 18 und Fig. 19 gezeigten Ausführungsbeispiel entspricht.

Zur Wirkung der Turbine 1 wurden Vergleichsversuche durchgeführt, wobei Messungen mit einem Vierblatt-Propeller mit und ohne Ringflügel durchgeführt wurden. Es wurde jeweils die Schubkraft über die Drehzahl gemessen. Die Schubkraft lag mit dem Ringflügel in Abhängigkeit von der Drehzahl zwischen 15 % und 28 % höher als ohne Ringflügel.

Bezugszeichenliste

Turbine	1	Lauftringflügel	2
Leitrad	10	Leitringflügel	20
Radiale Leitschaufel	100	Leitringflügelprofil	21
Gehäuse	101	Tandemflügelprofil	210
Strömungseinlass	<u>102</u>	Feder	211
Strömungsauslass	<u>103</u>	Lauftringflügelprofil	22
Innere Strömungsleitfläche	104	Flügel Nase	n
Äußere Strömungsleitfläche	105	Flügelhinterkante	e
Lauftrad	11	Profilsehne	p
Welle	110	Druckpunktlinie	q
Radiale Turbinenschaufel	111	Strömung	S
Fan	112	Rotationsachse	x
Schubstufe	<u>12</u>	Rotationsebene	<u>R</u>
Verdichtungsmodul	<u>13</u>	Neigungsebene	<u>N</u>
Brennkammer	<u>14</u>	Drehrichtung	T
Expansionsmodul	<u>15</u>	Konuswinkel	α
Strömungsmaschine	16	Neigungswinkel	β
Dampfturbine	160	Steigungswinkel	δ
Gasturbine	161	Strömungsgeschwindigkeit	A
Turbinen-Strahltriebwerk	17	Umlaufgeschwindigkeit	B
Mantelstromtriebwerk	170	Resultierende Anströmung	C
Propfan-Triebwerk	171	Auftrieb	D
Wellenturbine	172	Vortriebskraft	E
Einstromstrahltriebwerk	173	Tangentiale Antriebskraft	F
Flugzeug	<u>174</u>	Saugkraft	G
Antrieb (Elektromotor)	<u>18</u>	Sog	H
Turbinensauger	19	Widerstand	J
Saugschlauch	190	Rotationswiderstand	K
Auffangbehälter	191	Schubkraft	L

Patentansprüche

1. Turbine (1) mit einem Gehäuse (101) und einem im Gehäuse (102) angeordneten mehrstufig aufgebauten Modul (13, 15), welches Modul (13, 15) ein Laufwerk und ein Leitwerk aufweist,
welches Gehäuse (101) einen Strömungseinlass (102) und einen Strömungsauslass (103) aufweist und für die Führung eines zwischen dem Strömungseinlass (102) und Strömungsauslass (103) strömenden Fluids ausgebildet ist,
welches Leitwerk eine Mehrzahl von starr mit dem Gehäuse (101) verbundenen Leiträdern (10) mit Leitschaufeln (100) aufweist,
welches Laufwerk eine um eine Rotationsachse (x) rotierende Welle (110) und eine Mehrzahl von Laufrädern (11) mit Turbinenschaufeln (111) aufweist, welche Laufräder (11) in einer zugeordneten Rotationsebene (R) antreibbar sind und zumindest teilweise zwischen den Leiträdern (10) angeordnet sind, wobei jeweils ein Leitrade (10) und ein Laufrade (11) eine Stufe des mehrstufig aufgebauten Moduls (13, 15) bilden, welche Laufräder (11) zumindest teilweise mindestens einen konzentrisch zu der Rotationsachse (x) angeordneten Laufringflügel (2) aufweisen, welcher Laufringflügel (2) ein asymmetrisches Laufringflügelprofil (22) mit einer Saugseite, einer Druckseite, einer zum Strömungseinlass (102) des Gehäuses (101) orientierten Flügelnase (n) und einer zum Strömungsauslass (103) des Gehäuses (101) orientierten Flügelhinterkante (e) aufweist,
welche Leiträder (10) zumindest teilweise mindestens einen konzentrisch zu der Rotationsachse (x) angeordneten, Leitringflügel (20) aufweisen, welcher Leitringflügel (20) ein asymmetrisches Leitringflügelprofil (21) mit einer Saugseite und einer Druckseite aufweist, welcher Leitringflügel (20) mindestens einem Laufringflügel (2) des

Laufrads (11) in Richtung der Strömung (S) mit einem Steigungswinkel (δ) gegenüber der Rotationsachse (x) vorangestellt ist,

wobei die Saugseiten des Leitringflügels (20) und des Laufringflügels (2) jeweils entgegengesetzt zueinander auf der Außenseite oder der Innenseite des Leitringflügels (20) oder des Laufringflügels (20,2) angeordnet sind.

2. Turbine nach Anspruch 1, bei welcher das Modul (13, 15) als Verdichtungsmodul (13) oder Expansionsmodul (15) ausgebildet ist.
3. Turbine nach Anspruch 1 oder 2, bei welcher das Laufringflügelprofil (22) in einer mit einem Neigungswinkel (β) gegenüber der Rotationsebene (R) geneigten Neigungsebene (N) vorgesehen ist und von dem in dem Gehäuse (101) strömenden Fluid mit einer aus der Strömungsgeschwindigkeit (A) und der Umlaufgeschwindigkeit (B) des Laufrads (11) resultierenden Anströmung (C) mit einem Konuswinkel (α) anströmbar ist, sodass am Laufringflügel (2) über den gesamten Umfang des Laufringflügels (2) eine aus dem dynamischen Auftrieb (D) abgeleitete, in Drehrichtung (T) wirkende tangentielle Antriebskraft (F) und eine zum Strömungseinlass (102) der Turbine (1) gerichtete Saugkraft (G) erzeugt wird.
4. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das Laufringflügelprofil (22) eine sich zwischen der Flügelnase (n) und der Flügelhinterkante (e) erstreckende und mit einem Steigungswinkel (δ) gegenüber der Rotationsachse (x) geneigte Profilsehne (p) hat und von einer aus der Strömungsgeschwindigkeit (A) des Fluids, aus der Umlaufgeschwindigkeit (B) des Laufrads (11) und aus dem in der Rotationsebene (R) vorhandenen Konuswinkel (α) der Strömung (S) gebildeten resultierenden Anströmung (C) angeströmt wird, wobei in der Neigungsebene (N) senkrecht zu

der resultierenden Anströmung (C) der dynamische Auftrieb (D) an einem zugeordneten Druckpunkt des Laufringflügelprofils (22) angreift, welcher Druckpunkt auf einer kreisförmigen Druckpunktlinie (q) des Laufringflügels (2) liegt.

5. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher in der Neigungsebene (N) aus dem dynamischen Auftrieb (D) des Laufringflügels (2) die Vortriebskraft (E), der Widerstand (J) und die Sogkraft (H) hervorgehen, welche Vortriebskraft (E) in der Rotationsebene (R) die in Drehrichtung (T) des Laufringflügels (2) wirkende und an der Welle (110) ein Drehmoment erzeugende tangential Antriebskraft (F) und eine am Strömungseinlass (102) der Turbine (1) wirkende Saugkraft (G) aufweist, wobei der tangentialen Antriebskraft (F) in der Rotationsebene (R) der Rotationswiderstand (K) und der parallel zu der Rotationsachse (x) am Strömungseinlass (102) wirkenden Saugkraft (G) die Schubkraft (L) entgegenwirken.
6. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das Laufrad (11) die Turbinenschaufeln (111) und einer Mehrzahl von konzentrisch zueinander angeordneten Laufringflügeln (2) aufweist und als biege-, schub- und torsionssteife Scheibe ausgebildet ist.
7. Turbine (1) nach Anspruch 6, bei welcher die Scheibe
 - entweder als ein Stück
 - oder als eine aus einer Mehrzahl von Kreissektoren zusammengesetzte Scheibe ausgebildet ist,wobei bei der Ausbildung aus einer Mehrzahl von Kreissektoren ein Kreissektor mindestens aus einer Turbinenschaufel (111) und aus einem Ringsegment des Laufringflügels (2) besteht und die Ringsegmente untereinander durch die Federn (211) einer Nut- und Feder-Verbindung verbunden sind, um den Austausch

einer einzelnen Turbinenschaufel (111) zu ermöglichen.

8. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das Leitrad (10) mindestens einen Leitringflügel (20) mit einem in der Neigungsebene (N) wirksamen Leitringflügelprofil (21) aufweist, welcher Leitringflügel (20) dem mindestens einen Laufringflügel (2) des Laufrads (11) in Richtung der Strömung (S) mit einem Steigungswinkel (δ) gegenüber der Rotationsachse (x) vorangestellt ist, oder bei welcher Turbine (1) das Leitrad (10) eine Mehrzahl konzentrisch zu der Rotationsachse (x) angeordneter Laufringflügel (2) aufweist, die in Richtung der Strömung (S) einer entsprechenden Mehrzahl von Laufringflügeln (2) des Laufrads (11) jeweils mit einem Steigungswinkel (δ) gegenüber der Rotationsachse (x) vorangestellt sind, wobei ein Leitringflügel (20) mit den Leitschaufeln (100) des Leittrads (10) und ein Laufringflügel (2) mit den Turbinenschaufeln (111) des Laufrads (11) verbunden ist.
9. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher der Leitringflügel (20) der Strömung (S) den Konuswinkel (α) für die resultierende Anströmung (C) des sich in Richtung der Strömung (S) an den Leitringflügel (20) anschließenden Laufringflügels (2) verleiht und der Leitringflügel (20) entweder als ein einzelnes Leitringflügelprofil (21) oder als ein Tandem-Leitringflügelprofil (210) ausgebildet ist, wobei die Saugseiten des Leitringflügels (20) und des Laufringflügels (2) jeweils entgegengesetzt zueinander auf der Außenseite oder der Innenseite des Leit- oder des Laufringflügels (20,2) angeordnet sind und der Steigungswinkel (δ) der Profilsehne (p) des Leitringflügelprofils (21) größer ist als der Steigungswinkel (δ) der Profilsehne (p) des

Lauftringflügelprofils (22).

10. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das Modul (13, 15) der Turbine (1) jeweils eine innere und eine äußere Strömungsleitfläche (104,105) aufweisen, die der Strömung (S) den Konuswinkel (α) vorgeben, wobei sich im Falle einer Ausbildung des Moduls (13, 15) als Verdichtungsmodul (13) der Querschnitt der Strömung (S) verjüngt, und wobei sich im Falle einer Ausbildung des Moduls (13, 15) als Expansionsmodul (15) der Querschnitt der Strömung (S) erweitert.

11. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die Anstellwinkel der Leitschaufeln (100) und der Turbinenschaufeln (111) gegenüber der Rotationsebene (R) von dem der Welle (110) zugekehrten Ende zu dem äußeren Ende hin kontinuierlich abnimmt und die Leit- und Turbinenschaufeln (100,111) jeweils als in sich verwundene Profile ausgebildet sind, wobei im Falle der Ausbildung des Moduls (13, 15) als mehrstufiges Verdichtungsmodul (13) die Saugseite der Leitschaufeln (100) und die Saugseite der Turbinenschaufeln (111) gegen die Drehrichtung (T) des Laufrads (11) ausgerichtet sind, und wobei im Falle der Ausbildung des Moduls (13, 15) als Expansionsmodul (15) die Saugseite der Turbinenschaufeln (111) in Drehrichtung (T) des Laufrads (11) und die Saugseite der Leitschaufeln (100) gegen die Drehrichtung (T) des Laufrads (11) ausgerichtet sind.

12. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche als Strömungsmaschine (16) in Form einer Dampfturbine (160) oder einer Gasturbine (161) ausgebildet ist,

welche Turbine (1) im Falle einer Ausbildung als Dampfturbine (160) mindestens ein Expansionsmodul (15) aufweist,
welche Turbine (1) im Falle einer Ausbildung als Gasturbine (161) ein Expansionsmodul (15) und mindestens ein Verdichtungsmodul (13) aufweist,
und welche Turbine (1) dazu ausgebildet ist, ein mit Druck und Wärme beaufschlagtes Arbeitsmedium zwischen dem Strömungseinlass (102) und dem Strömungsauslass (103) des Gehäuses (101) in mehreren jeweils von einem Leitrad (10) und einem Laufrad (11) gebildeten Stufen zu entspannen, wobei die Strömung (S) an den Turbinenschaufeln (111) und an den Laufringflügeln (2) der Laufräder (11) des Laufwerks Arbeit verrichtet, welche z.B. für den Antrieb eines Generators nutzbar ist.

13. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Verdichtungsmodul (13) und einem Expansionsmodul (15),
welches Verdichtungsmodul (13) einen Wärmeübertrager aufweist und zusammen mit dem Expansionsmodul (15) eine Wärmepumpe oder eine Kühlturbine bildet.
14. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Verdichtungsmodul (13),
welches Verdichtungsmodul (13) elektrisch angetrieben ist und ein Turbinengebläse bildet,
welches Turbinengebläse insbesondere als Lüfter oder Ventilator einsetzbar ist.
15. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Verdichtungsmodul (13),
welches Verdichtungsmodul (13) elektrisch angetrieben ist und einen Turbinensauger bildet,
welcher Turbine (1) ein Auffangbehälter (191) zugeordnet ist,
welcher durchströmbar angeordnet ist, wobei bevorzugt ein mit dem Strömungseinlass (102) des Gehäuses (101) verbundener

Saugschlauch (190) vorgesehen ist.

16. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Verdichtungsmodul (13), welche Turbine (1) als Turbinen-Strahltriebwerk (17) ausgebildet ist, bei dem am Strömungseinlass (102) des Gehäuses (101) ein als Fan (112) ausgebildetes Laufrad (11) mit Turbinenschaufeln (111), die an ihrem äußeren Ende mit einem Laufringflügel (2) verbunden sind, zusammen mit einem sich stromab anschließenden Leitrad (10) die erste Stufe des Verdichtungsmoduls (13) bilden, welche Turbine (1) bevorzugt thermodynamisch oder elektrisch angetrieben ist.
17. Turbine (1) nach Anspruch 16 mit einem Expansionsmodul (15), welche einen thermodynamischen Antrieb (14, 18) mit mindestens einer Brennkammer (14) aufweist, und bei welcher sich in Richtung der Strömung (S) die mindestens eine Brennkammer (14) sowie mindestens ein Expansionsmodul (15) mit einer Schubdüse als Strömungsauslass (103) an das Verdichtungsmodul (13) anschließen und das Turbinen-Strahltriebwerk (17) entweder als ein Mantelstromtriebwerk (170) oder als ein Propfan-Triebwerk (171) oder als eine Wellenturbine (172) oder als ein Turboprop-Triebwerk oder als ein Einstrom-Strahltriebwerk (173) ausgebildet ist.
18. Turbine (1) nach Anspruch 16 oder 17, bei welcher das Turbinen-Strahltriebwerk (17) eine Schubstufe (12) aufweist, die innerhalb eines zweischalig ausgebildeten Gehäuses (101) von einem Laufrad (11) und einem Leitrad (10) gebildet wird, welche Schubstufe (12) bei einem Mantelstrom-Triebwerk (170) am Strömungseinlass (102) des Gehäuses (101) vor dem Verdichtungsmodul (13) oder bei einem Propfan-Triebwerk (171) am Strömungsauslass (103) des Gehäuses (101) unmittelbar hinter dem Expansionsmodul (15) angeordnet ist, wobei das

Lauftrad (11) der Schubstufe (12) als Fan (112) mit einem äußeren Laufringflügel (2), dessen Saugseite auf der der Rotationsachse (x) zugekehrten Innenseite liegt, ausgebildet ist.

19. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das Leitringflügelprofil (21) eine zum Strömungseinlass (102) des Gehäuses (101) orientierte Flügelnase (n) und eine zum Strömungsauslass (103) des Gehäuses (101) orientierte Flügelhinterkante (e) aufweist.
20. Turbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche einen Antrieb (14, 18) aufweist, und bei welcher die Laufräder (11) durch den Antrieb (18) antreibbar sind.

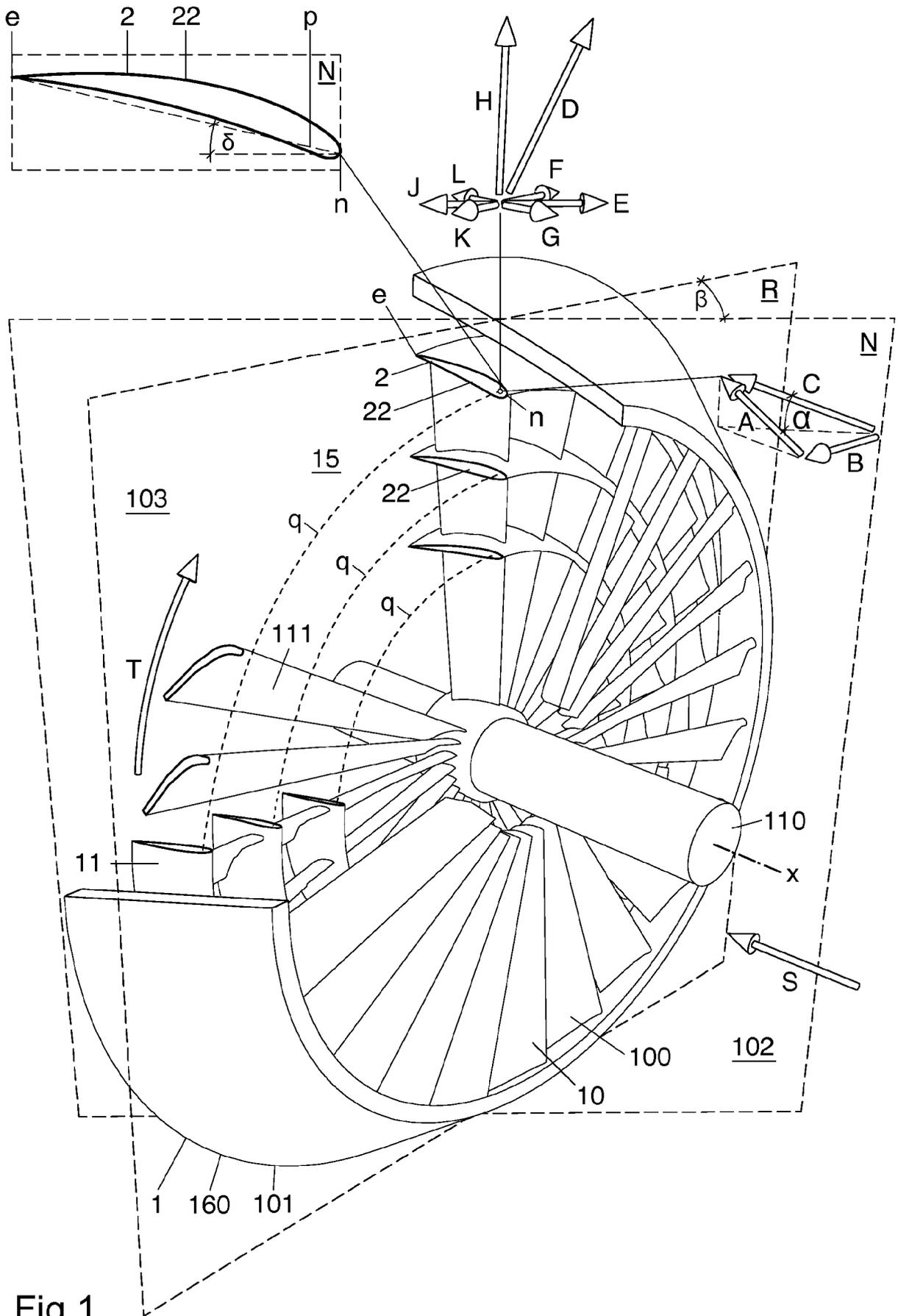


Fig.1

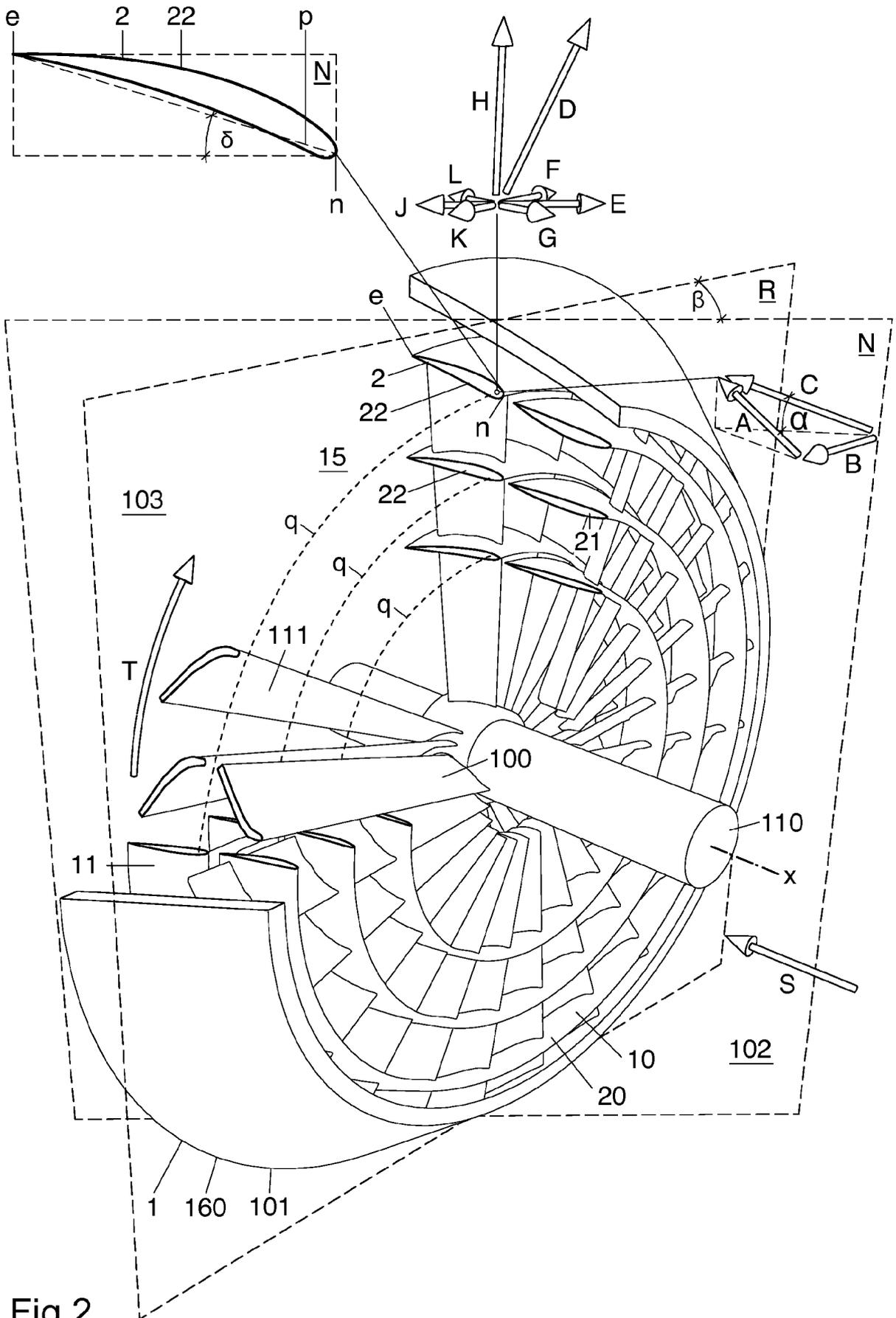


Fig.2

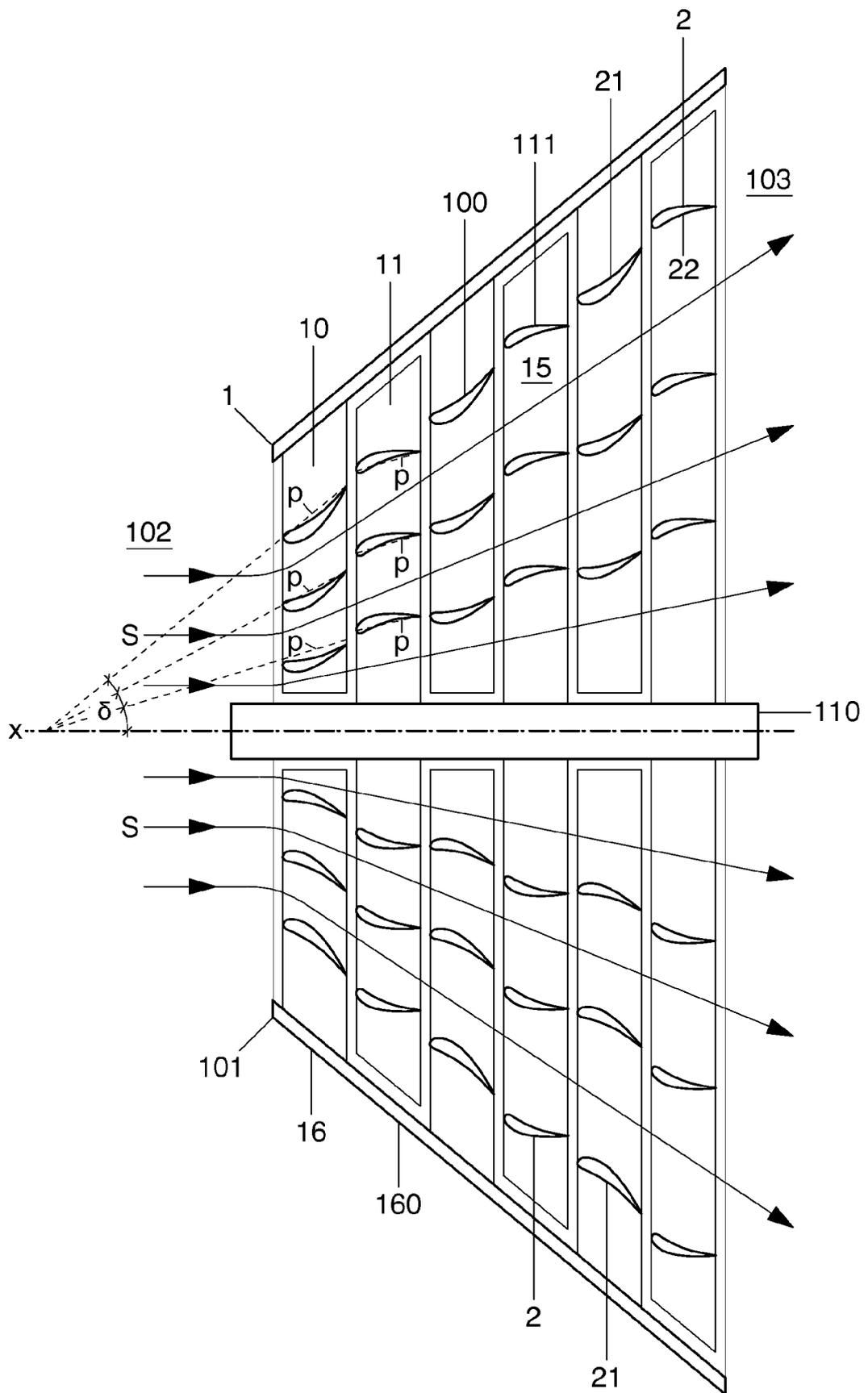


Fig.3

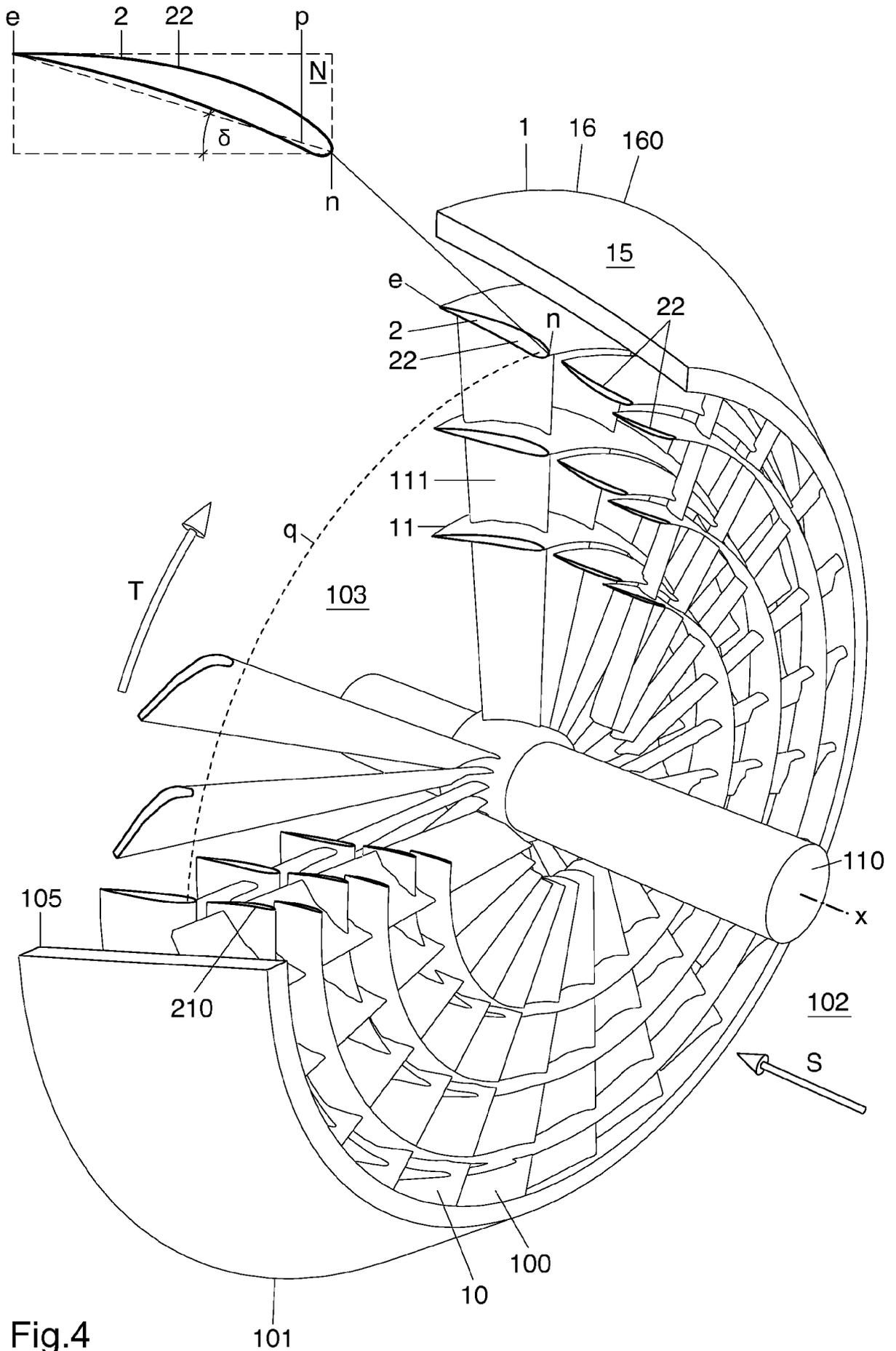


Fig.4

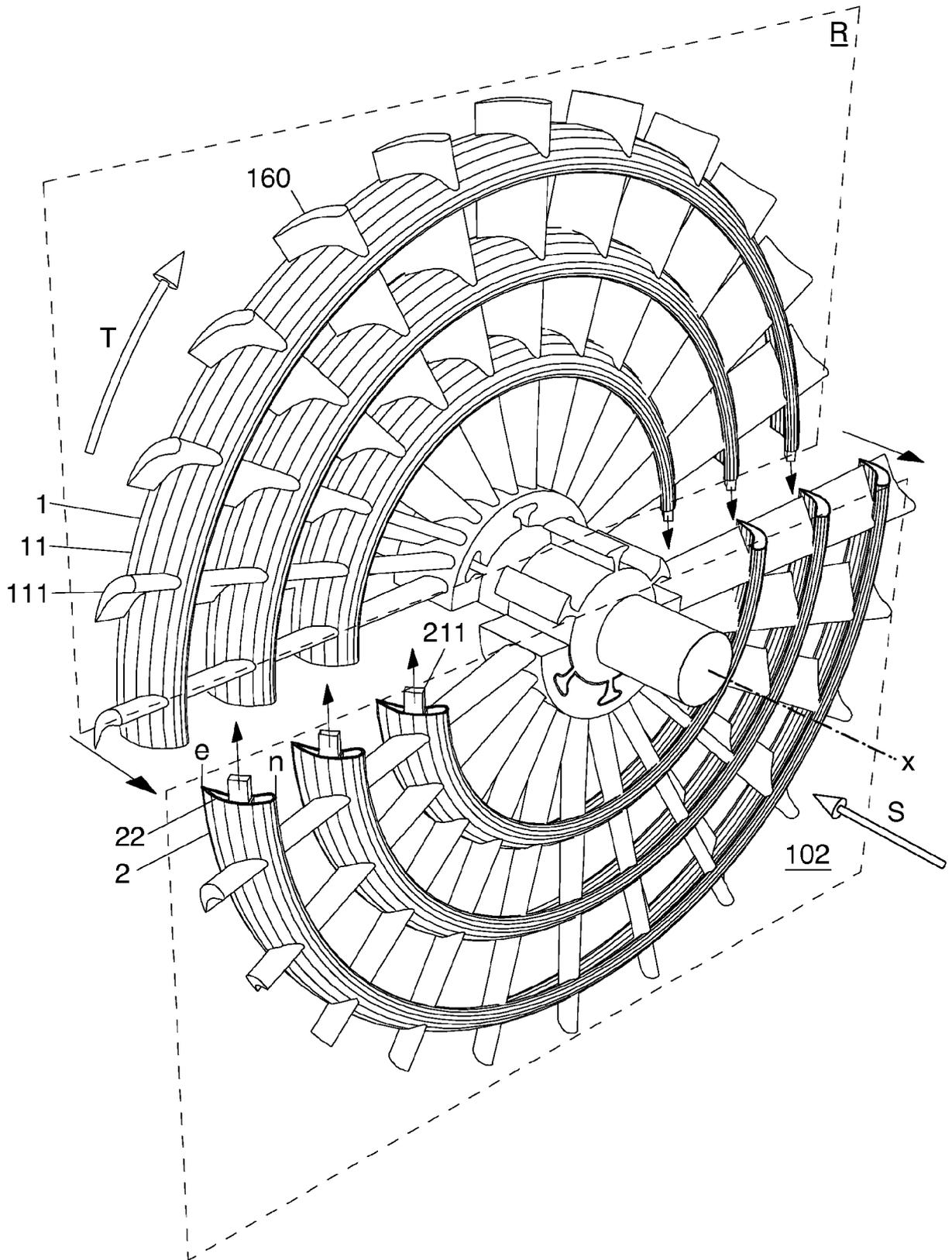


Fig.5

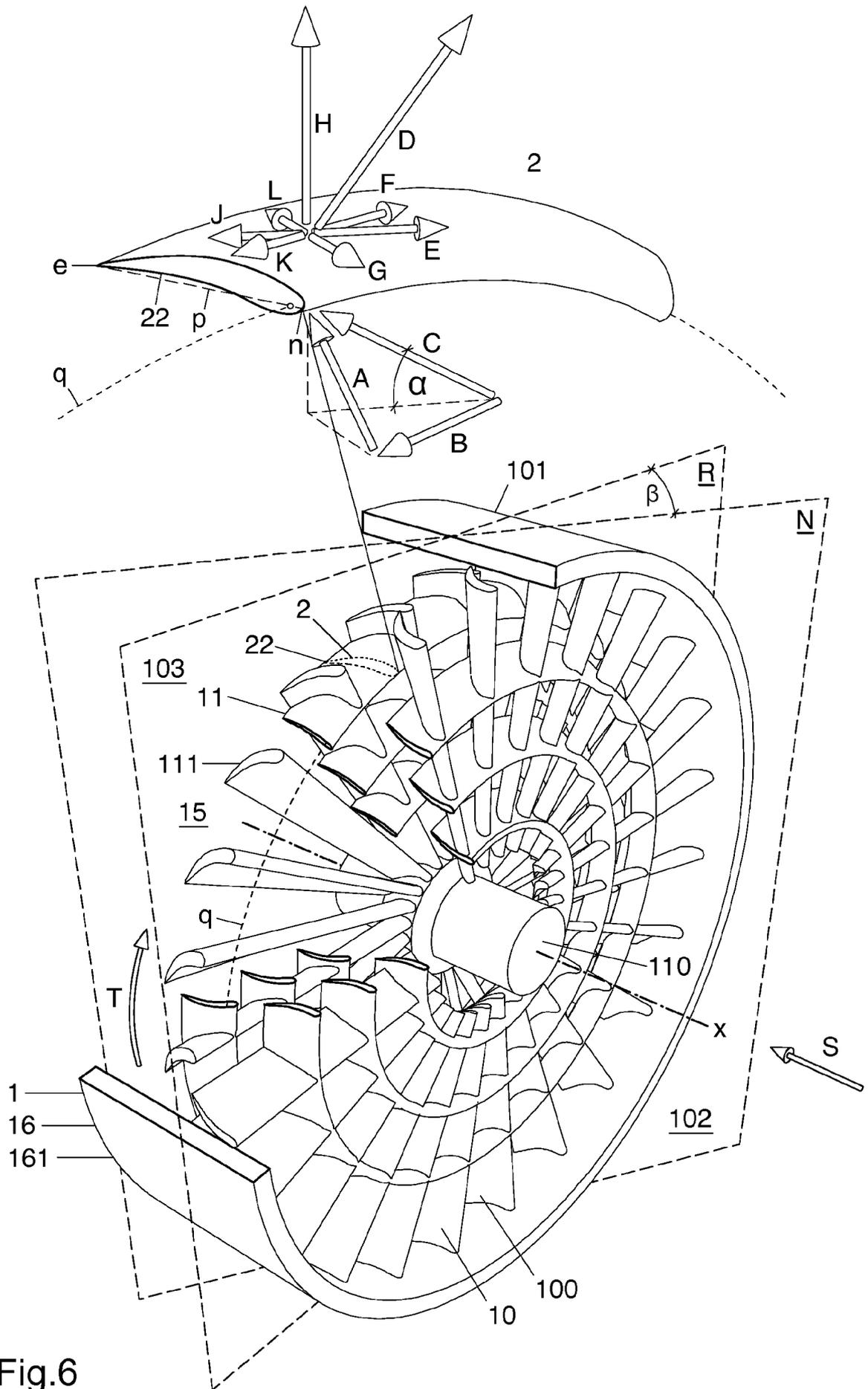


Fig.6

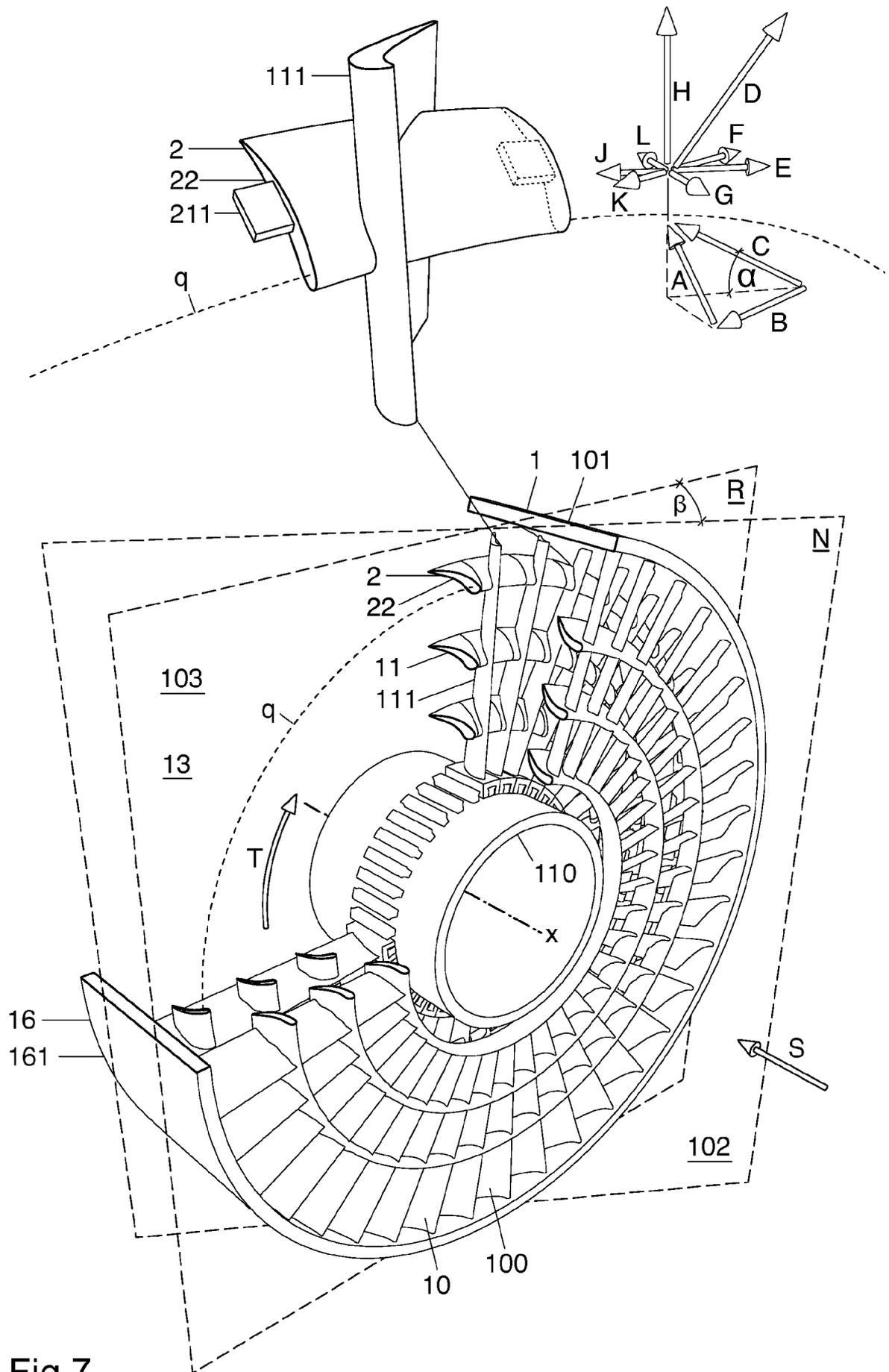


Fig.7

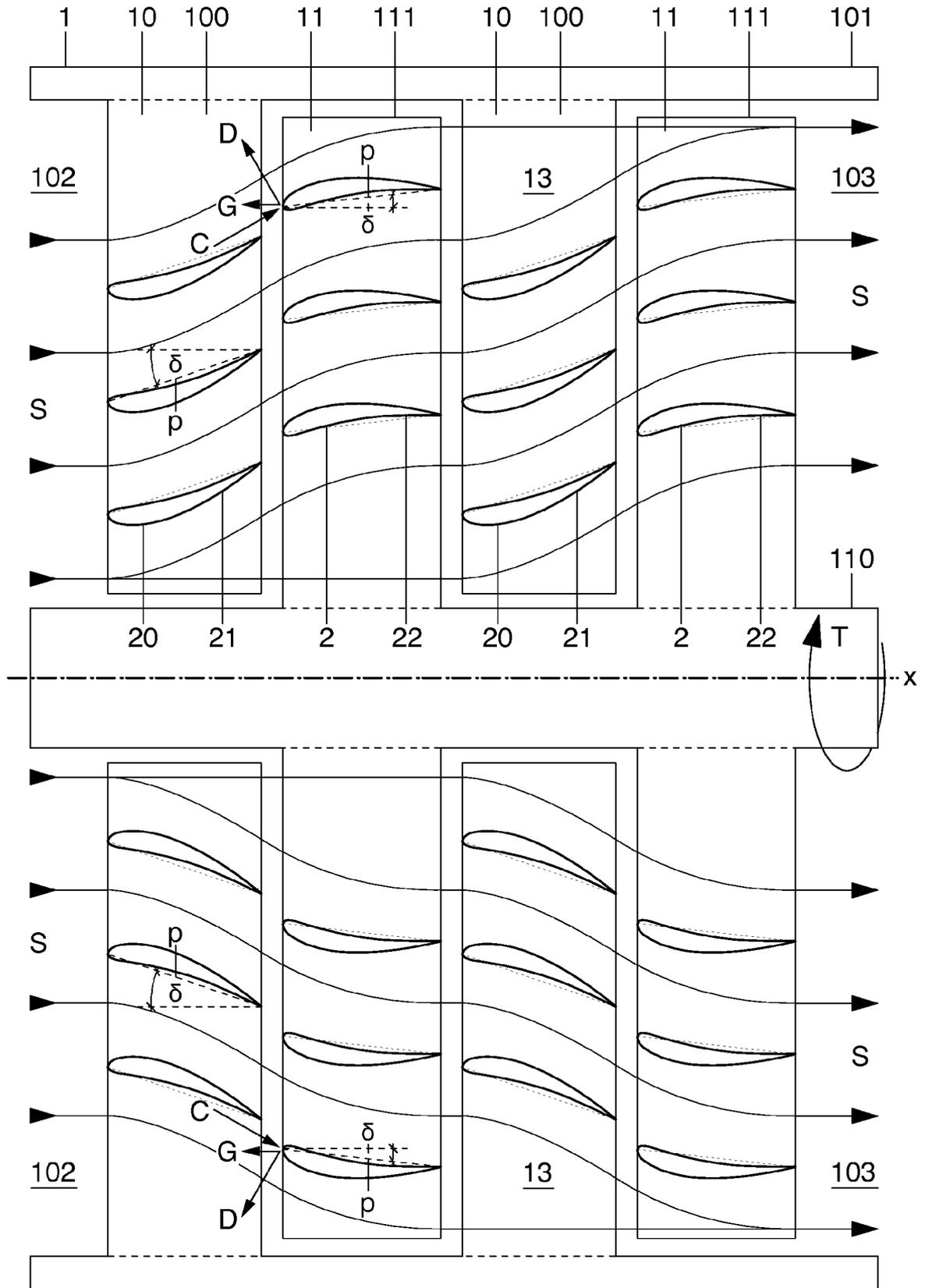


Fig.8

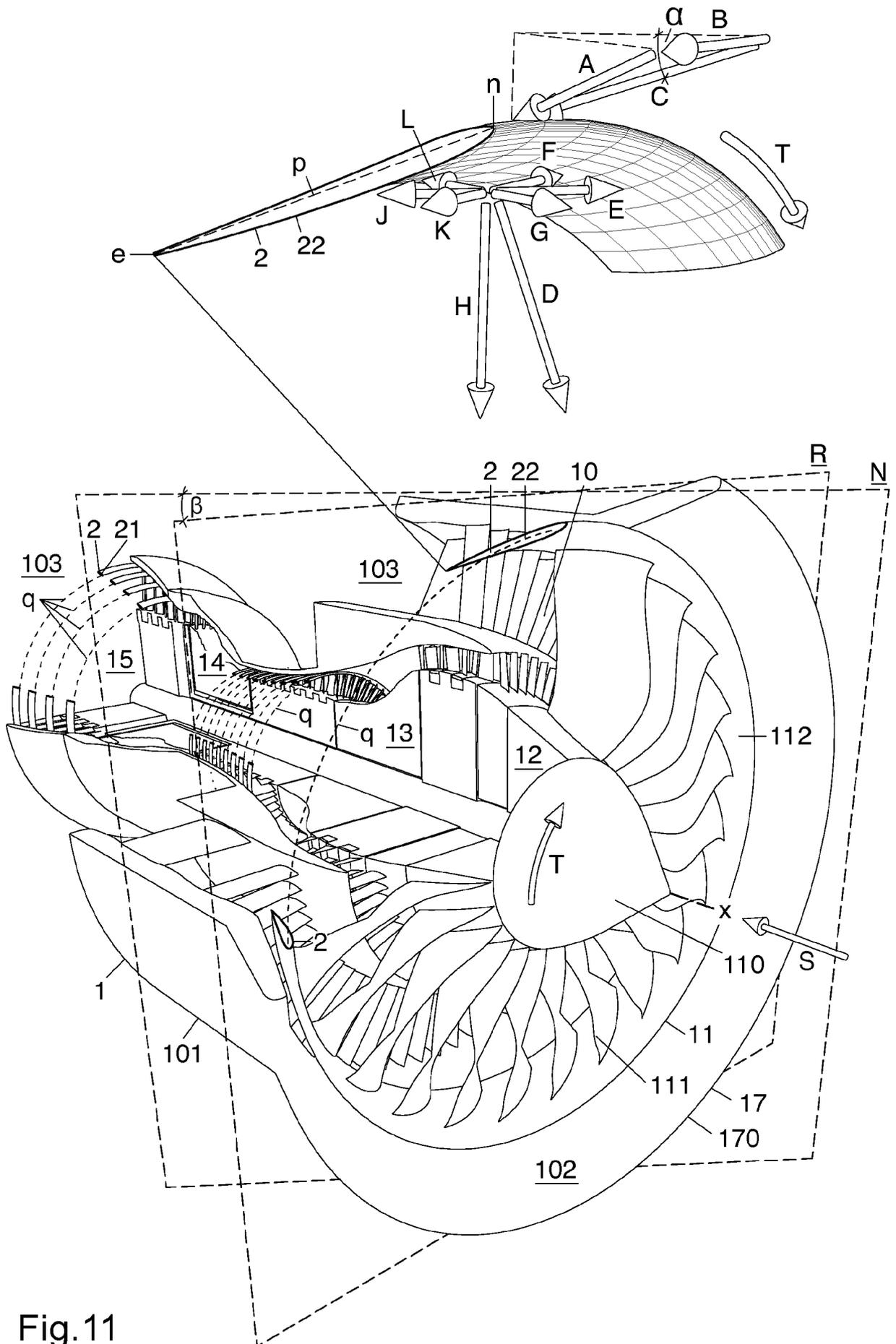


Fig.11

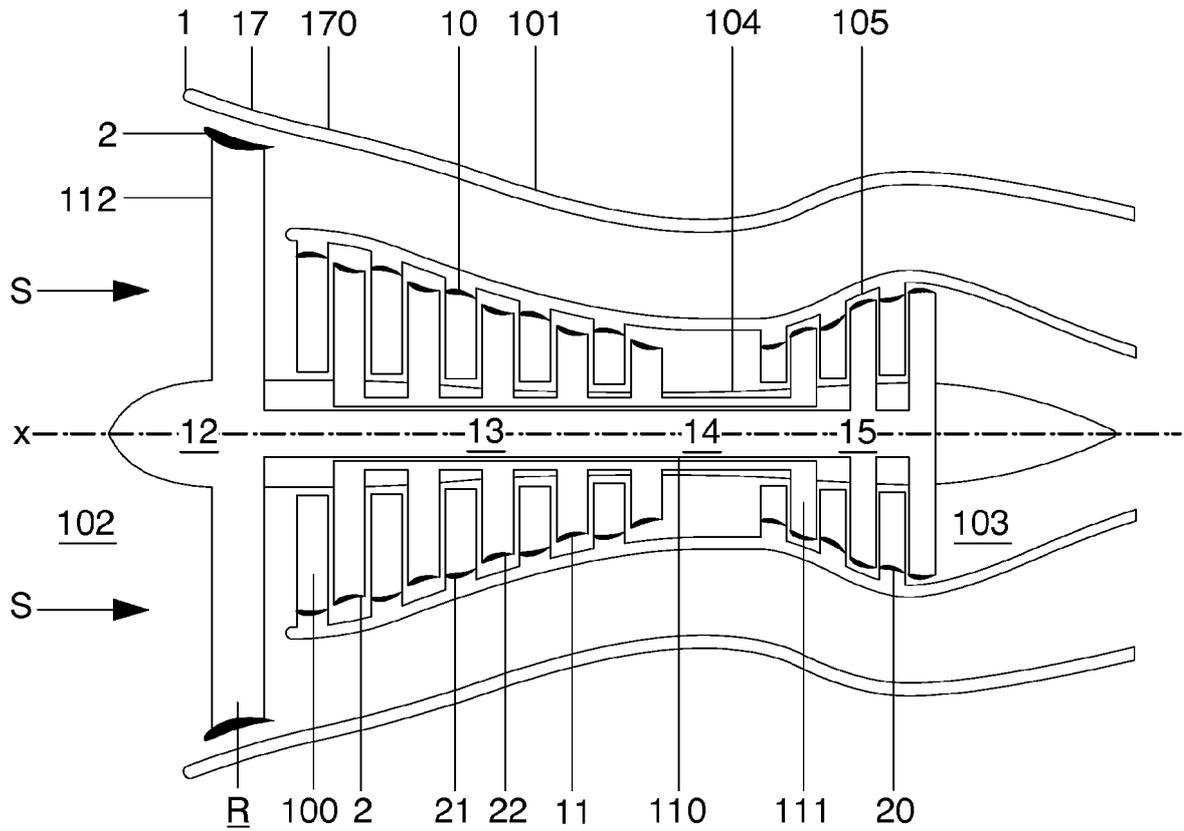


Fig.12

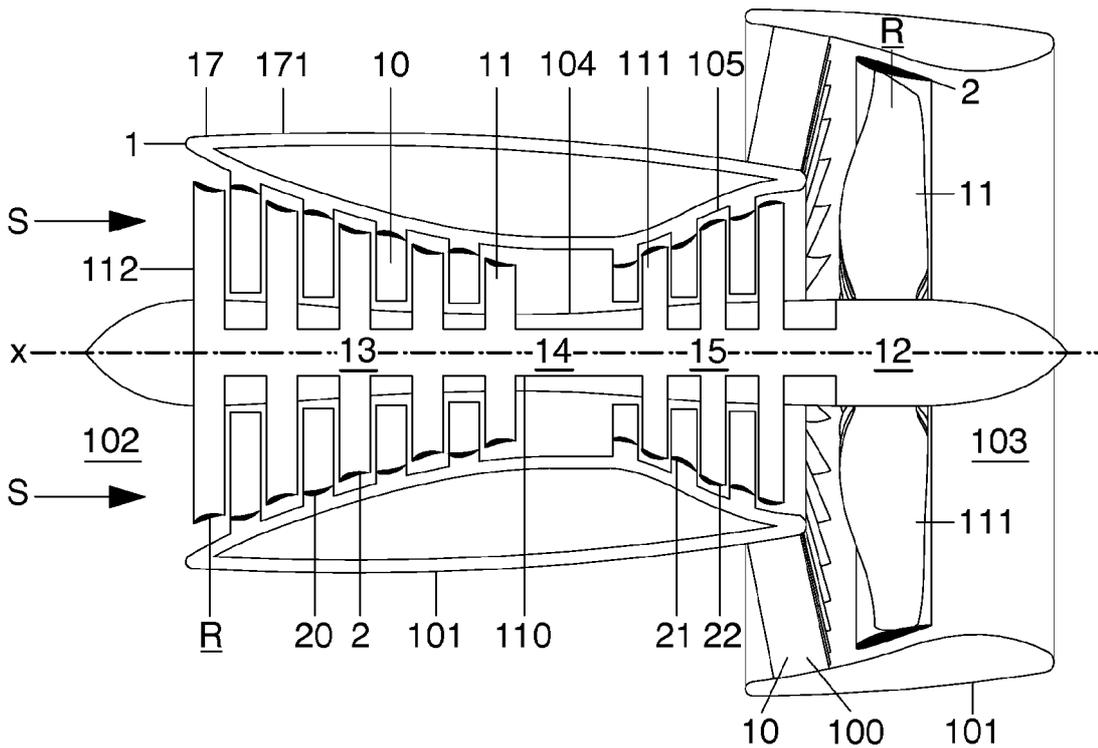


Fig.13

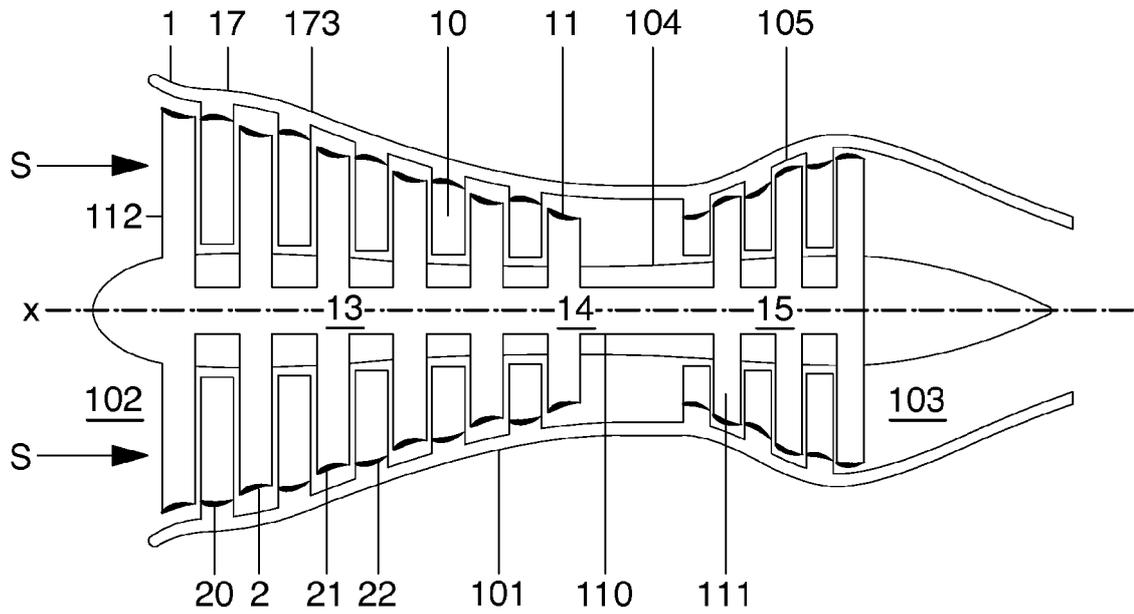


Fig.14

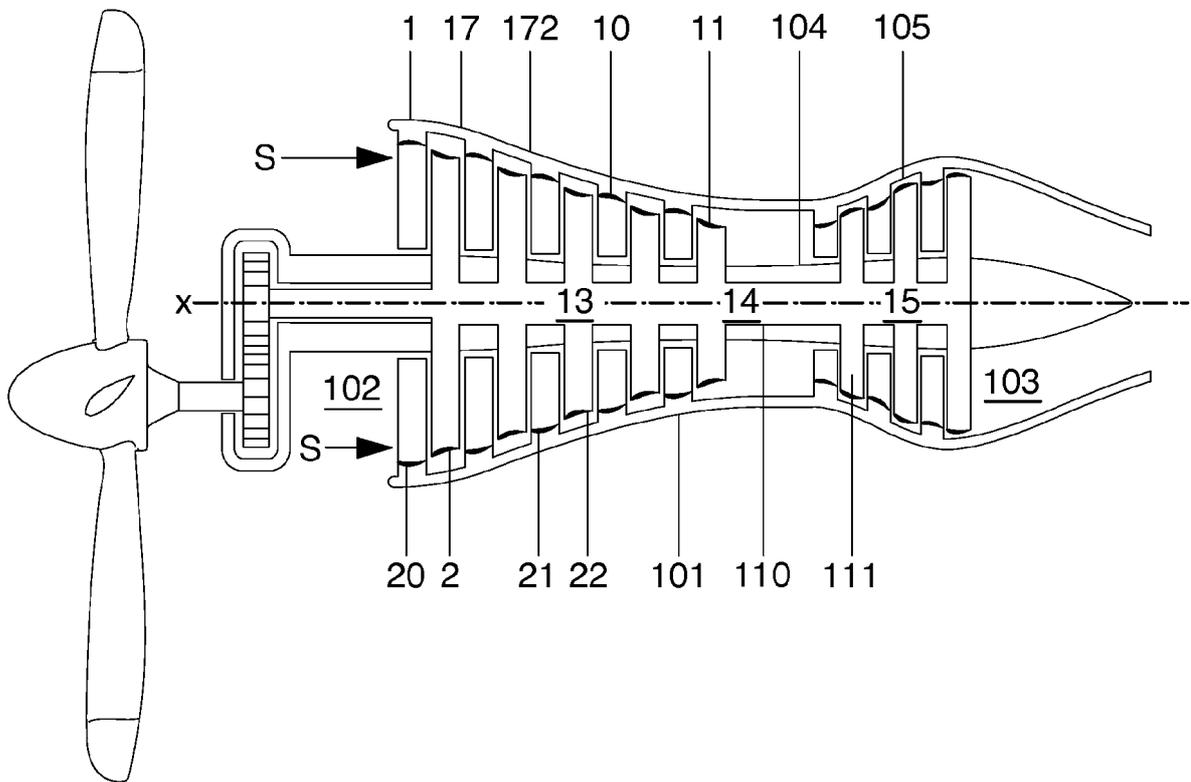


Fig.15

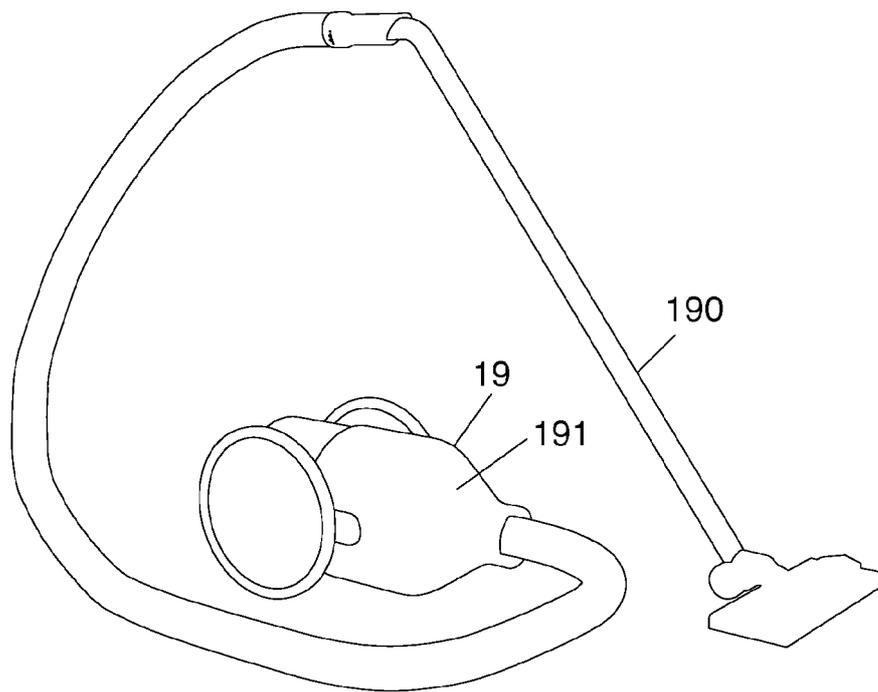


Fig.16

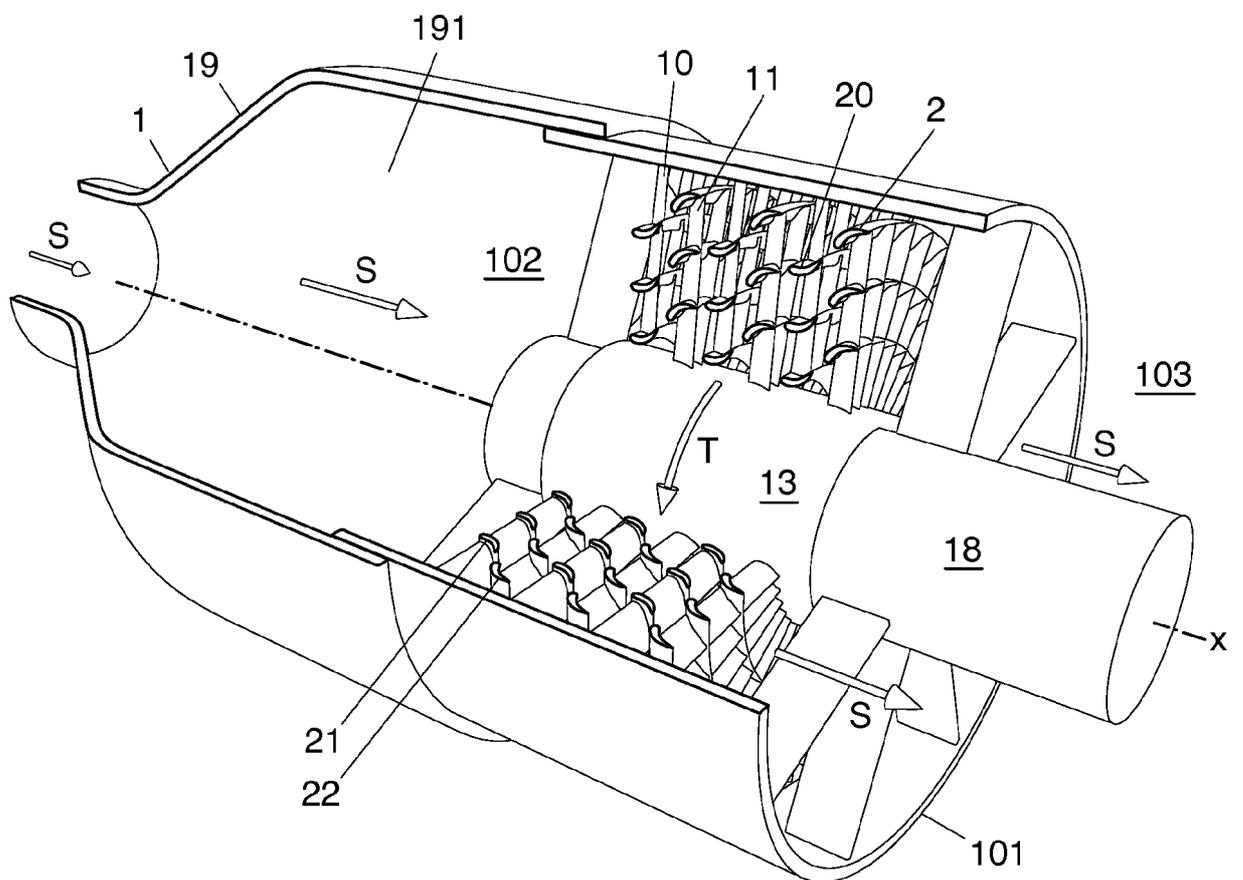


Fig.17

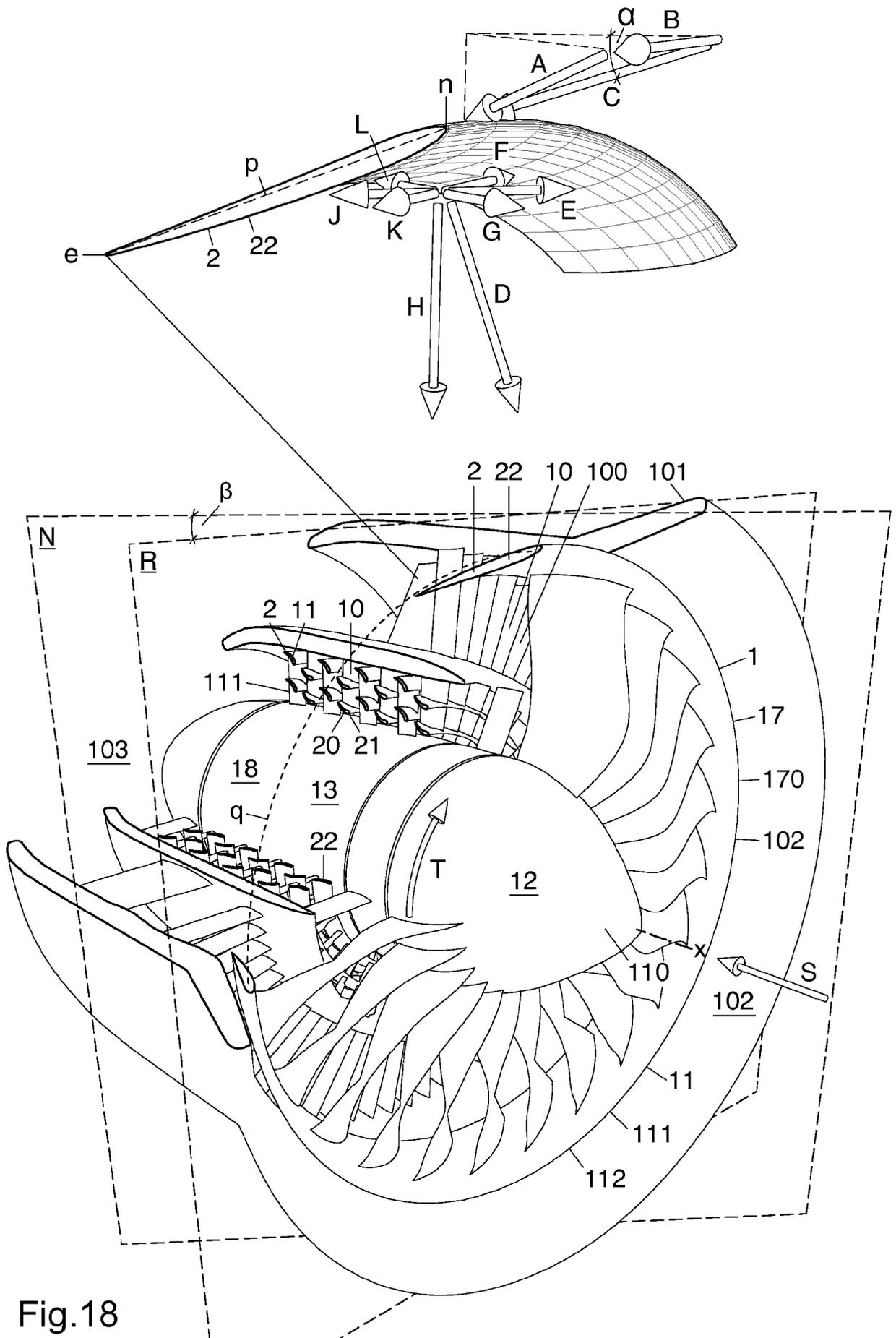


Fig.18

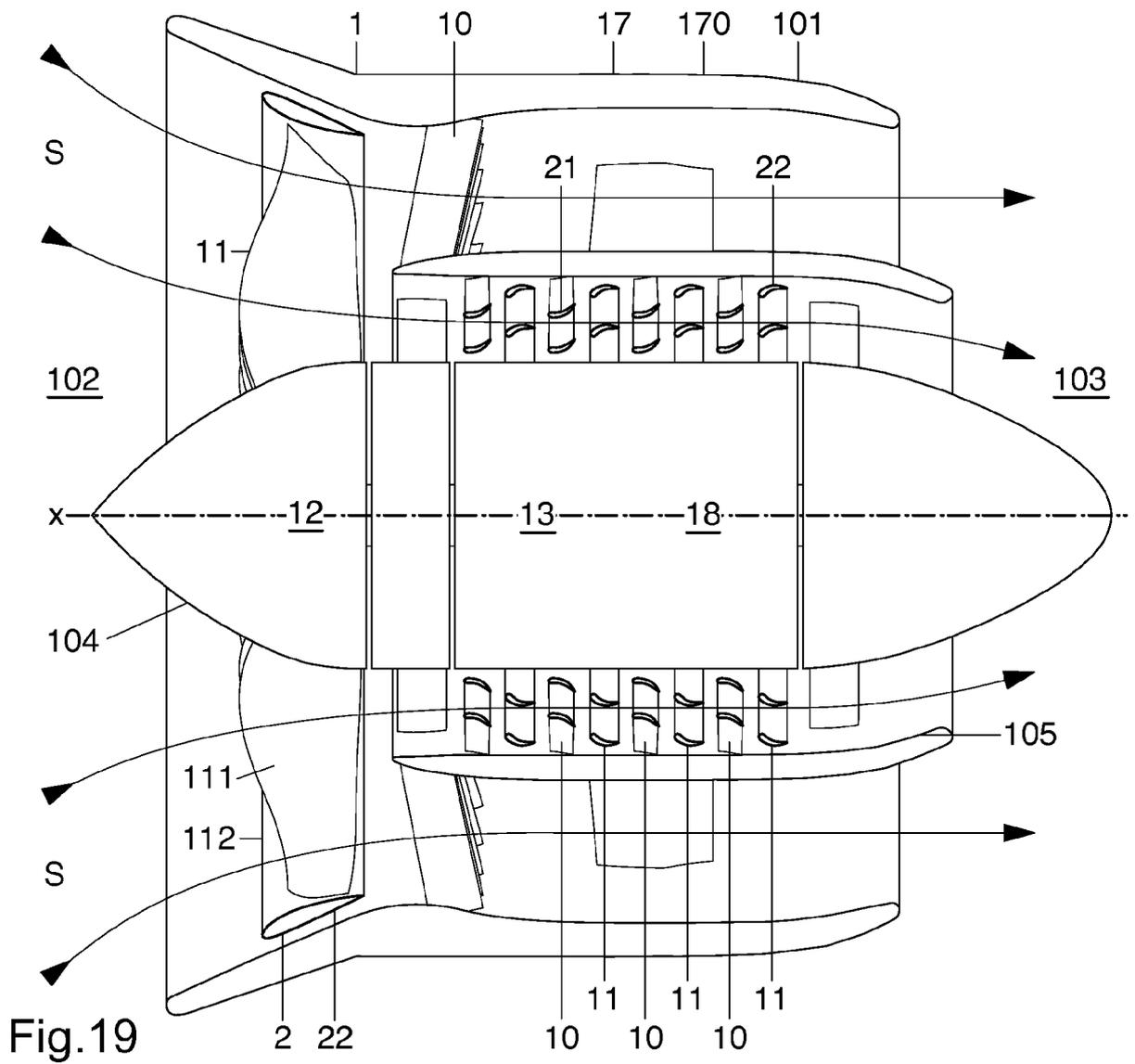


Fig.19

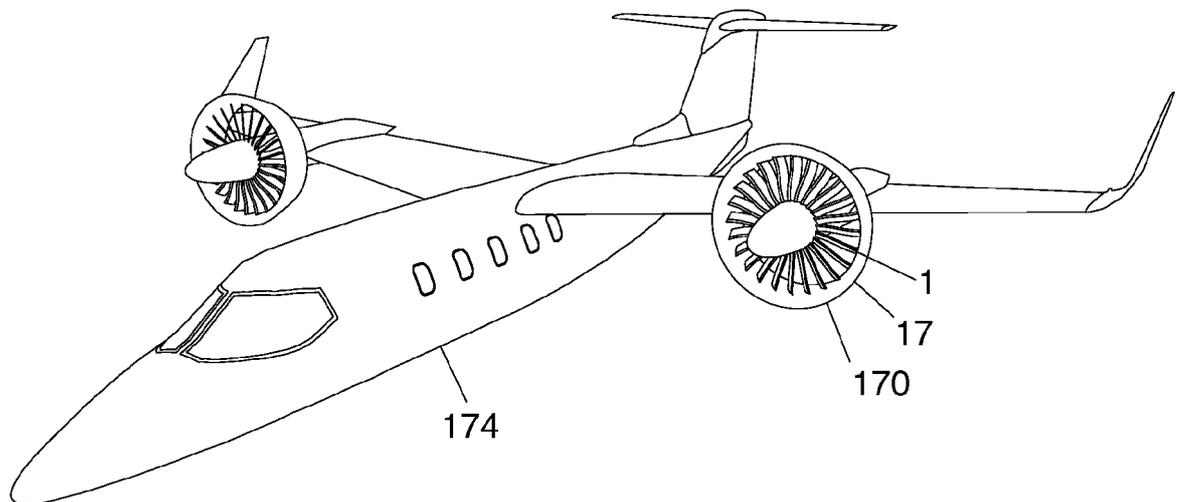


Fig.20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/070542

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>F01D 1/04</i> (2006.01)i; <i>F01D 5/22</i> (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F01D; A47L; F04D Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 8753087 B2 (SHIBUKAWA NAOKI [JP]; MURATA YORIHARU [JP] ET AL.) 17 June 2014 (2014-06-17) abstract; figures 13-15 column 9, line 51 - column 11, line 3	1-20
A	GB 719236 A (ENGLISH ELECTRIC CO LTD) 01 December 1954 (1954-12-01) figures 1-2	1-20
A	WO 2006038879 A1 (VOLVO AERO CORP [SE]; STROEM LINDA [SE]; LARSSON JONAS [SE]) 13 April 2006 (2006-04-13) abstract; figures 1, 2, 4	1-20
A	WO 2017184138 A1 (SIEMENS AG [DE]) 26 October 2017 (2017-10-26) figure 13 paragraph [0047]	1-20
A	US 2009047132 A1 (RILEY SHAWN P [US] ET AL) 19 February 2009 (2009-02-19) cited in the application abstract; figures 1-3	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 04 November 2019		Date of mailing of the international search report 13 November 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Alaguero, Daniel Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/070542

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	8753087	B2	17 June 2014	EP	2339115	A2	29 June 2011
				EP	3173580	A1	31 May 2017
				JP	5558095	B2	23 July 2014
				JP	2011137424	A	14 July 2011
				KR	20110076765	A	06 July 2011
				US	2011158810	A1	30 June 2011
GB	719236	A	01 December 1954	NONE			
WO	2006038879	A1	13 April 2006	CA	2583083	A1	13 April 2006
				EP	1799989	A1	27 June 2007
				JP	5124276	B2	23 January 2013
				JP	2008525680	A	17 July 2008
				US	2007012046	A1	18 January 2007
				WO	2006038879	A1	13 April 2006
WO	2017184138	A1	26 October 2017	NONE			
US	2009047132	A1	19 February 2009	CN	101382149	A	11 March 2009
				IL	193127	A	30 September 2013
				US	2009047132	A1	19 February 2009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F01D1/04 F01D5/22 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F01D A47L F04D		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 8 753 087 B2 (SHIBUKAWA NAOKI [JP]; MURATA YORIHARU [JP] ET AL.) 17. Juni 2014 (2014-06-17) Zusammenfassung; Abbildungen 13-15 Spalte 9, Zeile 51 - Spalte 11, Zeile 3 -----	1-20
A	GB 719 236 A (ENGLISH ELECTRIC CO LTD) 1. Dezember 1954 (1954-12-01) Abbildungen 1-2 -----	1-20
A	WO 2006/038879 A1 (VOLVO AERO CORP [SE]; STROEM LINDA [SE]; LARSSON JONAS [SE]) 13. April 2006 (2006-04-13) Zusammenfassung; Abbildungen 1, 2, 4 ----- -/--	1-20
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
4. November 2019		13/11/2019
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Alaguero, Daniel

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2017/184138 A1 (SIEMENS AG [DE]) 26. Oktober 2017 (2017-10-26) Abbildung 13 Absatz [0047] -----	1-20
A	US 2009/047132 A1 (RILEY SHAWN P [US] ET AL) 19. Februar 2009 (2009-02-19) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 -----	1-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/070542

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
US 8753087	B2	17-06-2014	EP 2339115 A2	29-06-2011
			EP 3173580 A1	31-05-2017
			JP 5558095 B2	23-07-2014
			JP 2011137424 A	14-07-2011
			KR 20110076765 A	06-07-2011
			US 2011158810 A1	30-06-2011

GB 719236	A	01-12-1954	KEINE	

WO 2006038879	A1	13-04-2006	CA 2583083 A1	13-04-2006
			EP 1799989 A1	27-06-2007
			JP 5124276 B2	23-01-2013
			JP 2008525680 A	17-07-2008
			US 2007012046 A1	18-01-2007
			WO 2006038879 A1	13-04-2006

WO 2017184138	A1	26-10-2017	KEINE	

US 2009047132	A1	19-02-2009	CN 101382149 A	11-03-2009
			IL 193127 A	30-09-2013
			US 2009047132 A1	19-02-2009
