



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum

(11) **CH** **705 822 B1**

(51) Int. Cl.: **F04D 29/52** (2006.01)
F04D 29/66 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01833/11

(22) Anmeldedatum: 16.11.2011

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.05.2013

(24) Patent erteilt: 29.01.2016

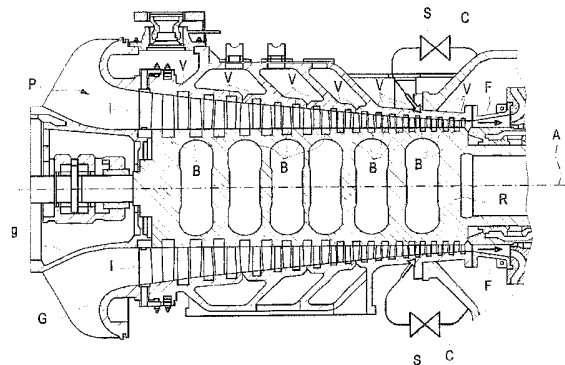
(45) Patentschrift veröffentlicht: 29.01.2016

(73) Inhaber:
ALSTOM Technology Ltd, Brown-Boveri-Strasse 7
5400 Baden (CH)

(72) Erfinder:
Marco Micheli, 8156 Schöffliisdorf (CH)
Wolfgang Kappis, 5442 Fislisbach (CH)
Luis Federico Puerta, 5415 Rieden (CH)

(54) **Axialverdichter für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine.**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf einen Axialverdichter für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine. Ein kleiner Teil des Massenstroms (F) eines Axialverdichters hinter der letzten Verdichterstufe wird mittels der Rückführleitung(en) C vor die oder zu der Saugseite einer stromaufwärts befindlichen Verdichterstufe zurückgeführt. Dadurch wird der Stabilitätsbereich des Axialverdichters erhöht.



Beschreibung

Technischer Bereich

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Axialverdichter für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Gasturbinen und vergleichbare Strömungsmaschinen umfassen in der Regel Axialverdichter zur Bereitstellung eines Druckluftstroms für einen Verbrennungsvorgang. Verglichen mit anderen Verdichtertypen zeichnen sich Axialverdichter durch einen hohen Wirkungsgrad aus, wobei auf der Druckseite des Verdichters hohe Drücke erzielt werden können, wenn der Axialverdichter über eine ausreichende Vielzahl an Verdichterstufen verfügt. Jedoch erhöht sich der konstruktive Aufwand mit der Erhöhung der Anzahl von Verdichterstufen stark. Daher ist die Zielsetzung, einen hohen Druck auf der Druckseite des Verdichters selbst mit einer vergleichsweise geringen Anzahl an Stufen zu ermöglichen. Dies ist gleichbedeutend damit, dass jede Verdichterstufe eine vergleichsweise grosse Druckdifferenz zwischen Saug- und Druckseite der jeweiligen Verdichterstufe erzeugen bzw. aufrechterhalten können muss. Bei den heutigen Axialverdichtern kann dies mit einer hohen Zuverlässigkeit gewährleistet werden.

[0003] Gleichzeitig bleibt es schwierig, ein stabiles Betriebsverhalten unter wechselnden Betriebsbedingungen zu gewährleisten. Es besteht immer die Gefahr eines Verdichterströmungsabrisses, insbesondere auf der Saugseite der Laufschaufeln. In einem solchen Fall fällt der vom Axialverdichter geförderte Massenstrom des zu komprimierenden Fluids plötzlich ab, wobei im schlimmsten Fall sogar ein Rückhub des zu verdichtenden Fluids eintreten kann.

[0004] Aus diesem Grund wird beim Entwurf eines Axialverdichters regelmässig auf einen grossen Stabilitätsbereich der Verdichterstufen abgezielt, d.h., es soll für einen grossen Bereich geförderter Verdichtermassenströme und verschiedener Verdichteraustrittsdrücke nicht zu einem Strömungsabriss an einer Verdichterschaufel kommen.

Kurze Darstellung der Erfindung

[0005] Hier setzt die Erfindung an. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Stabilitätsbereich eines Axialverdichters bei sehr hohen Druckverhältnissen zu erhöhen, insbesondere im Teillastbereich (bei geschlossenen VGV = variable guide vanes = verstellbaren Leitschaufeln) und/oder bei kalter Umgebungstemperatur und/oder kalter Strömungsmaschine.

[0006] Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe für einen Axialverdichter gemäss dem Oberbegriff des unabhängigen Anspruchs 1 dadurch gelöst, dass ein Rückführungssystem, bestehend aus mindestens einer Rückführungsleitung (C) mit einem Einlass für einen Verdichterteilmassenstrom im Strömungspfad (P) stromab der letzten Verdichterstufe und aus mindestens einem Mittel zur Einleitung dieses Verdichterteilmassenstromes in den Strömungspfad (P) des Axialverdichters stromauf der mindestens letzten Verdichterstufe vorgesehen ist, wobei die Rückführungsleitung (C) insbesondere zu einem Einlassquerschnitt der mindestens letzten Verdichterstufe geführt ist.

[0007] Die Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, den Stabilitätsbereich im Strömungspfad der letzten Verdichterstufen durch Erhöhung des dort auftretenden Massenstroms zu erweitern. Dadurch wird das Risiko eines Verdichterströmungsabrisses an den Saugseiten der letzten Verdichterstufen deutlich verringert, und es wird gewährleistet, dass die letzten Verdichterstufen auch unter schwierigen Betriebsbedingungen des Axialverdichters betrieblich sicher, d.h. ohne Strömungsabriss einer Verdichterschaufel, funktionieren, beispielsweise bei sehr niedrigen Umgebungstemperaturen und/oder während der Warmlaufphase der Strömungsmaschine bei gleichzeitiger Erweiterung der Spaltbreiten zwischen den radialen Enden der Laufschaufeln/Leitschaufeln und den Gehäuse-/Rotorwänden, die den Strömungspfad umschliessen. Gleichzeitig ist gewährleistet, dass die vorderen Verdichterstufen nur gegen einen verhältnismässig geringen Abgasgegendruck arbeiten müssen, und ihre Betriebssicherheit wird ebenfalls stabilisiert.

[0008] Gemäss den abhängigen Ansprüchen 2 bis 10

- umfasst die Rückführungsleitung Einblasdüsen oder Mittel, über die der rückgeführte Verdichterteilmassenstrom in Strömungsrichtung in den Strömungspfad neben der Gehäusewand und/oder durch Kanäle in den Schaufeln und/oder an mittleren radialen Positionen zurückführbar ist;
- wird die Rückführungsleitung über eine oder mehrere Zwischenstufen im Verdichter, bevorzugt drei bis sechs Verdichterstufen vor der letzten Stufe, geführt;
- ist innerhalb einer Endgruppe der Verdichterstufen ein konstanter Durchmesser der Rotorwelle vorgesehen, und ein radialer Abstand, der zwischen der Oberfläche des Rotors und der konzentrischen Gehäusewand gemessen wird, sinkt um etwa 2–3% innerhalb der Endgruppe, bezogen auf den entsprechenden radialen Abstand stromauf der vordersten Verdichterstufe der Endgruppe;
- befindet sich die Rückführungsleitung stromab der letzten Verdichterstufe der Endgruppe und dem Einlassquerschnitt einer beliebigen Verdichterstufe dieser Endgruppe;
- ist in der Rückführungsleitung eine Steuer- und/oder Absperrventilanordnung angeordnet;
- ist die Rückführungsleitung für einen Verdichterteilmassenstrom ausgelegt, dessen Grössenordnung 0,5%–10%, bevorzugt 2%, des Verdichtergesamtmassenstromes entspricht, der stromab der letzten Verdichterstufe austritt,

- ist ein Abstandsraum, der sich in axialer Richtung des Rotors zwischen einer Endgruppe der Verdichterstufen und stromauf der Endgruppe angeordneten Verdichterstufen im Strömungspfad erstreckt, vorgesehen, wobei innerhalb dieses Abstandsraumes der Querschnitt des Strömungspfades zwischen einem Eintrittsquerschnitt und einem Austrittsquerschnitt des Abstandsraumes abnimmt;
- ist der Querschnitt des Strömungspfades am Austrittsquerschnitt um 50–80% geringer als am Eintrittsquerschnitt des Abstandsraumes;
- sind auf der Saugseite der ersten Verdichterstufe, d.h. auf der Saugseite der in Strömungsrichtung vordersten Schaufeln des Verdichters, verstellbare Leitschaufeln angeordnet.

[0009] Ein besonderer Vorteil der Erfindung liegt darin, dass der konstruktive Aufwand für das erfindungsgemäss vorgesehene Rückführungssystem gering ist. Lediglich Rückführungsleitungen müssen im Wesentlichen vorgesehen werden, deren Einlassöffnungen hinter der letzten Stufe angeordnet werden müssen und deren Auslässe in Verdichterzwischenstufen angeordnet sein müssen, beispielsweise in Form von Einlassdüsen, z.B. Schlitzdüsen oder Lochdüsen, die zur Saugseite der Verdichterleitschaufeln, die vor den letzten Verdichterstufen angeordnet sind, führen. Durch eine geeignete Wahl des Querschnitts der Einlassdüsen kann gewährleistet werden, dass der rückgeführte Teil des Massenstroms den Gesamtwirkungsgrad des Axialverdichters lediglich auf annehmbare Weise verringert.

[0010] Hier wird der Vorteil ausgenutzt, dass der Stabilitätsbereich der Endstufen des Axialverdichters sogar in einem Stadium, in dem nur ein geringer Teil des von den Endstufen erzeugten Massenstroms rückgeführt wird, signifikant vergrößert wird. Prüfungen haben ergeben, dass eine Rückführungsgrößenordnung von 2% des Massenstroms, der von der letzten Verdichterstufe gefördert wird, zu einer signifikanten Erhöhung der Betriebsstabilität des Axialverdichters führt.

[0011] Es hat sich in diesem Zusammenhang als vorteilhaft erwiesen, die Düsen der Rückführungsleitungen in einer solchen Weise auszuführen, dass eine dünne Strömungsschicht mit hoher dynamischer Energie an der Gehäusewand, welche den Strömungspfad begrenzt, erzeugt wird.

[0012] Obwohl es hinsichtlich der Einfachheit der Konstruktion und einer ausreichenden Erhöhung der Stabilität des Verdichterbetriebs vorteilhaft und ausreichend ist, wenn die Rückführung im Wesentlichen nur zur Erzeugung einer Strömungsschicht nahe der Wand im Bereich der Gehäusewand eingesetzt wird, ist es jedoch prinzipiell möglich, den zurückgeführten Teil des Massenstroms in den Strömungspfad zu blasen, selbst dicht an der Läuferwelle, wenn beispielsweise die Rückführungsleitungen mit entsprechenden Kanälen in den stationären Leitschaufeln verbunden sind und die Ausblasdüsen für den zurückgeführten Fluidstrom an den Enden der Leitschaufeln an der Läuferwellenseite angeordnet sind.

[0013] Da grundsätzlich die Düsen an beliebigen Stellen der Leitschaufeln angeordnet werden können, kann der rückgeführte Teilmassenstrom grundsätzlich an beliebigen Stellen zwischen dem Gehäuse und dem Rotor in den Strömungspfad eingeführt werden.

[0014] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung können Rücklaufleitungen, die abgesperrt werden können, vorgesehen werden, so dass die Rückführung wahlweise eingeschaltet oder ausgeschaltet werden kann, wobei die Rückführung bevorzugt nur im Falle von besonderen Betriebsphasen eingeschaltet wird, beispielsweise bei sehr kalten Umgebungsbedingungen, mit geschlossenen VGV (verstellbaren Leitschaufeln) und bei kaltem Triebwerk. Im «Normalbetrieb» kann jedoch auf eine Rückführung verzichtet werden.

[0015] Zu diesem Zweck können Absperrventile in den Rückführungsleitungen vorgesehen werden, d.h., der konstruktive Aufwand für die Absperrung ist vergleichsweise gering.

[0016] Gegebenenfalls können Ventile, deren Öffnungsquerschnitt ebenfalls gesteuert werden kann, dazu verwendet werden, den rückgeführten Massenstrom in geeigneter Weise steuern zu können.

[0017] Zudem wird bezüglich bevorzugter Merkmale der Erfindung auf die Ansprüche sowie die nachfolgende Erläuterung der Zeichnung verwiesen, anhand derer eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung näher erläutert wird.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0018] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der folgenden Beschreibung ausführlicher erläutert, wobei sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche von funktionell gleichen Bauteilen beziehen.

[0019] Es zeigen, jeweils schematisch:

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht eines Axialverdichters gemäss der Erfindung,

Fig. 2 eine vergrößerte Darstellung des in Strömungsrichtung hinteren Drittels des Strömungspfades entsprechend Fig. 1 und

Fig. 3 einen Axialschnitt eines Axialverdichters in Ausführungsdarstellung.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0020] In den Fig. 1 und 2 bezeichnet A jeweils die Achse eines Rotors eines Axialverdichters. Die Linie R zeigt den Verlauf bzw. die Form des Aussenumfangs, d.h. der Oberfläche des Rotors, und G den Verlauf bzw. die Form einer den Rotor mit Radialabstand umschliessenden Gehäusewand. Entsprechend bildet der verbleibende Ringraum zwischen dem Aussenumfang R des Rotors und der Gehäusewand G einen Strömungspfad P, der sich in Strömungsrichtung F des zu komprimierenden Strömungsmediums verengt, innerhalb dessen in grundsätzlich bekannter Weise jeweils die Laufschaufeln B auf der Rotorseite und die Leitschaufeln V auf der Gehäuseseite nebeneinander in Reihen in Umfangsrichtung der Achse A angeordnet sind. Einige Schaufeln können verstellbar sein, sodass die Möglichkeit entsteht, die Strömungsrichtung der vom Axialverdichter angesaugten Luft zu steuern und den für das Gas zur Verfügung stehenden Öffnungsquerschnitt zu ändern.

[0021] Diese steuerbaren Schaufeln werden auch als «verstellbare Leitschaufeln (VGV – variable guide vanes)» bezeichnet.

[0022] Die erste steuerbare Schaufel wird auch als «verstellbare Einlass-Leitschaufel (VIGV – variable inlet guide vane)» bezeichnet.

[0023] Auf dem Strömungspfad P zwischen dem Läuferumfang R und der Gehäusewand G wird das zu verdichtende Gas in Strömungsrichtung F bewegt und dabei zunehmend von den Verdichterstufen, die jeweils eine Reihe Laufschaufeln B und mindestens eine Reihe Leitschaufeln V umfassen, verdichtet. In dem speziellen Beispiel dringt das verdichtete Gas dabei in Strömungsrichtung F in einen Abstandsraum D ein (wo eine konstante Entnahme zum Zweck der Turbinenkühlung vorgenommen wird) und erreicht die Endverdichterstufen, die eine Gruppe E bilden.

[0024] Das Ende des Verdichters ist mit einer Rückführungsleitung C für ein verdichtetes Fluid ausgestattet, d.h., eine einzelne oder mehrere Rückführungsleitungen zweigen hinter der letzten Verdichterstufe vom Strömungspfad P ab und führen zu düsenartigen Öffnungen vor der Saugseite einer stromauf im Strömungspfad P angeordneten Verdichterstufe. Bevorzugt wird die Rückführungsleitung C mit einer Absperrvorrichtung und/oder einer Steuerventilanordnung S versehen, so dass die rückgeführte verdichtete Fluidmenge gesteuert oder die Rückführungsleitung C abgesperrt werden kann.

[0025] Die Rückführungsleitung C wird vorzugsweise so bemessen, dass 0,5–10%, bevorzugt 2% des Verdichtergesamt-massenstroms, der stromab der letzten Verdichterstufe austritt, zurückgeführt werden können.

[0026] Somit kann bei kritischen Betriebsbedingungen der maximal zulässige Druck hinter der letzten Verdichterstufe um ca. 5% erhöht werden, ohne einen Verdichterströmungsabriss an den Verdichterstufen, insbesondere an den letzten Verdichterstufen, befürchten zu müssen.

[0027] In Fig. 3 ist eine Schnittansicht eines Axialverdichters als Ausführungsdarstellung gezeigt. Abweichend von Fig. 2 ist bei der Ausführungsform von Fig. 3 zwischen einer letzten Gruppe E von Verdichterstufen und davor angeordneten Verdichterstufen kein Abstandsraum D vorgesehen.

[0028] Die Rückführungsleitungen C zweigen von einem Übergangsraum zu einer Turbine, die nicht gezeigt ist, ab und führen zu Öffnungen, die im gezeigten Beispiel vor oder auf der Saugseite der Leitschaufeln vor der viertletzten Verdichterstufe angeordnet sind. Eine Ventilanordnung S wird wiederum bereitgestellt, um die Rückführungsleitung C absperrn bzw. steuern zu können.

[0029] Darüber hinaus ist in Fig. 3 offensichtlich, dass verstellbare Leitschaufeln I vor der/den ersten Verdichterstufen auf ihren mit Bezug auf die Achse A des Rotors R radial inneren Enden an einer radial inneren Gehäusewand g montiert werden können, wobei deren konische Form den äusseren Umfang des Rotors R stufenlos fortsetzt.

Bezugszeichenliste

[0030]

- A Rotorachse
- R Aussenkontur des Rotors
- G Gehäusewand
- F Strömungsrichtung
- P Strömungspfad
- B Laufschaufeln
- V Leitschaufeln
- D Abstandsraum
- I Verstellbare Leitschaufeln auf der Einlassseite

- E Endgruppe der Verdichterstufen
- C Rückführleitung
- S Ventilanordnung
- g innere Gehäusewand

Patentansprüche

1. Axialverdichter für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine,
 - mit einem Strömungspfad (P), der sich zwischen einem Rotor (R) und einer konzentrischen stationären Gehäusewand (G) in axialer Richtung des Rotors (R) erstreckt, und
 - mit einer Vielzahl von Verdichterstufen, die im Strömungspfad (P) axial nacheinander angeordnet sind und jeweils mindestens eine Laufschaufelreihe und eine nachfolgende Leitschaufelreihe umfassen,
 - wobei jede Laufschaufelreihe aus Laufschaufeln (B) besteht, die nebeneinander auf dem Rotor (R) in Umfangsrichtung angeordnet sind, und jede Leitschaufelreihe aus Leitschaufeln (V) besteht, die an der genannten Gehäusewand (G) in Umfangsrichtung nebeneinander angeordnet sind, und
 - wobei der Strömungspfad (P) und die darin angeordneten Verdichterstufen bei Verdichterbetrieb in Strömungsrichtung (F) von einem Massenstrom eines zu komprimierenden Fluids durchdrungen werden, dadurch gekennzeichnet, dass ein Rückführungssystem, bestehend aus mindestens einer Rückführungsleitung (C) mit einem Einlass für einen Verdichterteilmassenstrom im Strömungspfad (P) stromab der letzten Verdichterstufe und mit mindestens einem Mittel zur Einleitung dieses Verdichterteilmassenstromes in den Strömungspfad (P) des Axialverdichters stromauf der mindestens letzten Verdichterstufe, vorgesehen ist, wobei die Rückführungsleitung (C) bevorzugt zum Einlassquerschnitt der mindestens letzten Verdichterstufe geführt ist.
2. Axialverdichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel der Rückführungsleitung (C) Einblasdüsen sind, über die der rückgeführte Verdichterteilmassenstrom in Strömungsrichtung (F) in den Strömungspfad (P) neben der Gehäusewand (G) und/oder durch Kanäle in den Schaufeln und/oder an mittleren radialen Positionen zurückführbar ist.
3. Axialverdichter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückführungsleitung (C) über eine oder mehrere Zwischenstufen im Verdichter, bevorzugt drei bis sechs Verdichterstufen vor der letzten Stufe, geführt ist.
4. Axialverdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb einer Endgruppe (E) der Verdichterstufen ein konstanter Durchmesser des Rotors (R) vorgesehen ist und dass ein radialer Abstand, der zwischen der Oberfläche des Rotors (R) und der konzentrischen Gehäusewand (G) gemessen wird, innerhalb der Endgruppe (E) um 2–3% geringer ist als der entsprechende radiale Abstand am Eintritt der vordersten Verdichterstufe der Endgruppe (E).
5. Axialverdichter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Mittel zur Einleitung des Verdichterteilmassenstromes am Einlassquerschnitt einer beliebigen Verdichterstufe dieser Endgruppe (E) befindet.
6. Axialverdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass in der Rückführungsleitung (C) eine Steuer- und/oder Absperrventilanordnung (S) angeordnet ist.
7. Axialverdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückführungsleitung (C) für einen Verdichterteilmassenstrom ausgelegt ist, dessen Grössenordnung 0,5%–10%, bevorzugt 2%, des Verdichtergesamtmassenstromes entspricht, der stromab der letzten Verdichterstufe austritt.
8. Axialverdichter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass in Axialrichtung des Rotors (R) ein Abstandsraum (D) zwischen der Endgruppe (E) der Verdichterstufen und den stromauf der Endgruppe (E) angeordneten Verdichterstufen im Strömungspfad (P) vorgesehen ist, wobei innerhalb dieses Abstandsraumes (D) der Querschnitt des Strömungspfades (P) zwischen einem Eintrittsquerschnitt des Abstandsraumes (D) und einem Austrittsquerschnitt des Abstandsraumes (D) abnimmt.
9. Axialverdichter nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Querschnitt des Strömungspfades (P) am Austrittsquerschnitt um 50–80% geringer ist als am Eintrittsquerschnitt des Abstandsraumes (D).
10. Axialverdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass an der Saugseite der ersten Verdichterstufe verstellbare Leitschaufeln (I) angeordnet sind.

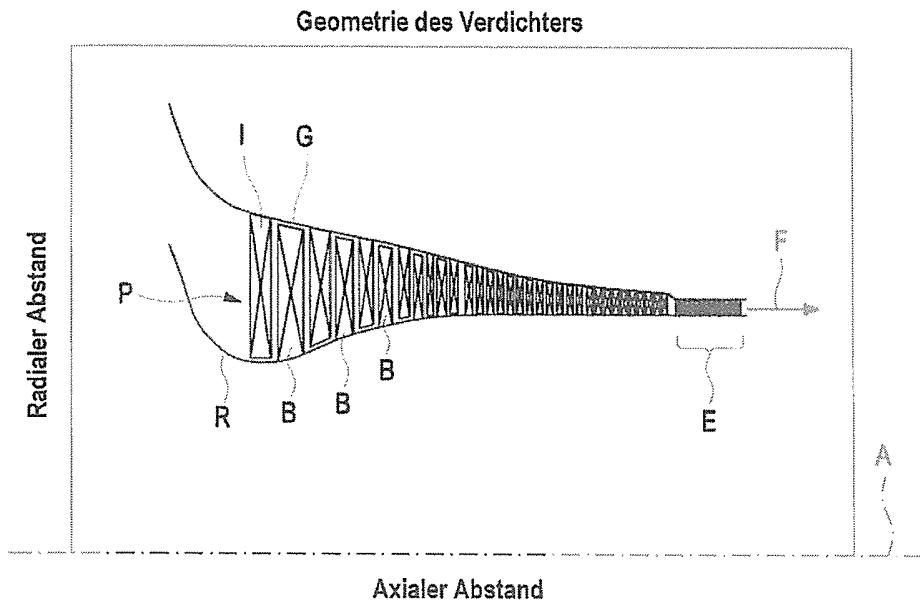


Fig. 1

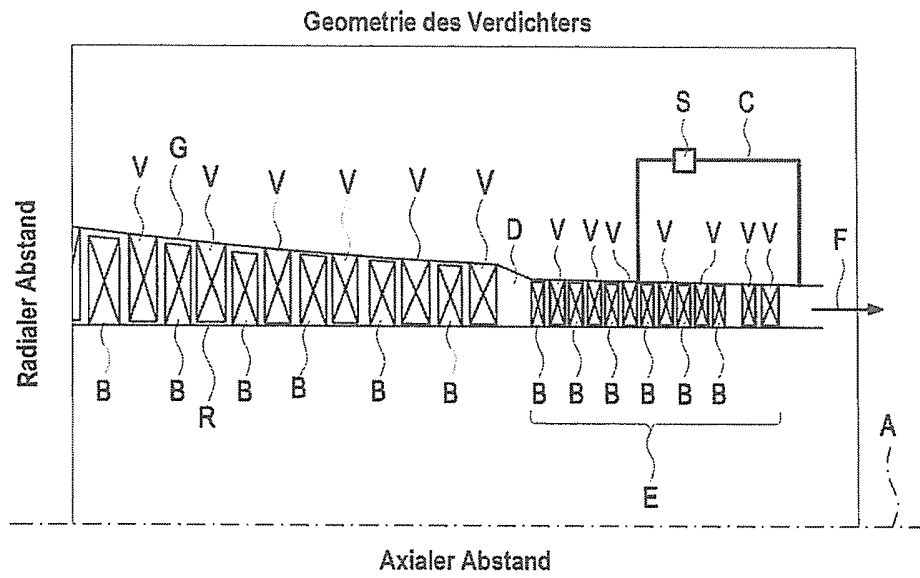


Fig. 2

