



(10) **DE 10 2015 120 127 A1** 2016.06.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 120 127.5**

(22) Anmeldetag: **20.11.2015**

(43) Offenlegungstag: **02.06.2016**

(51) Int Cl.: **F04D 29/54 (2006.01)**

F01D 11/10 (2006.01)

F01D 5/14 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

14/556,452

01.12.2014

US

(71) Anmelder:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady,
N.Y., US**

(74) Vertreter:

Rüger, Barthelt & Abel, 73728 Esslingen, DE

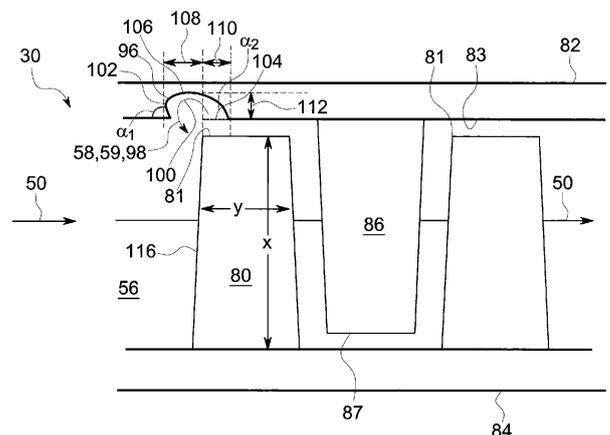
(72) Erfinder:

**Yoon, Sungho, Niskayuna, N.Y., US; Stampfli,
John David, Niskayuna, N.Y., US; Mallina,
Ramakrishna Venkata, Niskayuna, N.Y., US;
Michelassi, Vittorio, Niskayuna, N.Y., US;
Jothiprasad, Giridhar, Niskayuna, N.Y., US;
Rao, Ajay Keshava, Niskayuna, N.Y., US; Rudolf
Konrad, Selmeier, Niskayuna, N.Y., US; Davide,
Giacché, Niskayuna, N.Y., US; Malcevic, Ivan,
Niskayuna, N.Y., US**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **AXIALVERDICHTERENDWANNEINRICHTUNG ZUR STEUERUNG DER LECKAGE IN DIESER**

(57) Zusammenfassung: Ein Axialverdichter für eine Gasturbine enthält eine oder mehrere Endwandeinrichtungen zur Steuerung einer Leckageströmung in dem Verdichter. Die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen haben eine Höhe, die in einer Innenfläche eines Verdichtergehäuses oder einer Verdichternabe ausgebildet und eingerichtet ist, um eine Strömung benachbart zu mehreren Laufschaufelspitzen oder mehreren Leitschaufelspitzen zu einem zylindrischen Strömungsdurchgang stromaufwärts von einer Entnahmestelle der Strömung zurückzuführen. Die Endwandeinrichtungen definieren jeweils eine Frontwand, eine Rückwand, eine Außenwand, die zwischen der Frontwand und der Rückwand verläuft, eine axiale Auskrägung, eine axiale Überlappung, einen axialen Neigungswinkel und einen tangentialen Neigungswinkel. Die axiale Auskrägung verläuft stromaufwärts, um wenigstens über einem von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz und dem wenigstens einem Leitschaufelsatz vorzustehen. Die axiale Überlappung verläuft stromabwärts, um wenigstens einen von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz und dem wenigstens einen Leitschaufelsatz zu überlappen.



Beschreibung

HINTERGRUND

[0001] Die hierin beschriebenen Ausführungsformen betreffen allgemein Gasturbinen und betreffen speziell eine Axialverdichtererndwandeinrichtung für eine Gasturbine und ein Verfahren zur Steuerung der Leckage an dieser.

[0002] Wie bekannt ist, kann ein Axialverdichter für eine Gasturbine eine Anzahl von Stufen enthalten, die an einer Achse des Verdichters entlang angeordnet sind. Jede Stufe kann eine Rotorscheibe und eine Anzahl von um einen Umfang der Rotorscheibe angeordneten Verdichterschaukeln enthalten, die hierin auch als Laufschaufeln bezeichnet werden. Außerdem kann jede Stufe ferner eine Anzahl von Leitschaufeln enthalten, die benachbart zu den Laufschaufeln angeordnet und um einen Umfang des Verdichtergehäuses angeordnet sind.

[0003] Während des Betriebs einer Gasturbine, die einen mehrstufigen Axialverdichter verwendet, wird ein Turbinenrotor mit hohen Drehzahlen von einer Turbine gedreht, so dass Luft kontinuierlich in den Verdichter eingeführt wird. Die Luft wird von den rotierenden Verdichterschaukeln beschleunigt und nach hinten auf die angrenzenden Reihen von Leitschaufeln fortgetrieben. Jede Laufschaufel/Leitschaufel-Stufe erhöht den Druck der Luft. Außerdem kann während des Betriebs ein Teil der verdichteten Luft als Leckage stromabwärts um eine Spitze jeder der Verdichterschaukeln und/oder Leitschaufeln strömen. Eine derartige Stufe-zu-Stufe-Leckage von verdichteter Luft als Leakagestrom kann den Strömungsabrisspunkt des Verdichters beeinflussen.

[0004] Verdichterströmungsabrisse können das Verdichterdruckverhältnis reduzieren und den zu einer Brennkammer gelieferten Luftstrom reduzieren, wodurch der Wirkungsgrad der Gasturbine beeinträchtigt wird. Eine rotierende Strömungsablösung in einem Verdichter der Axialbauart tritt gewöhnlich bei einem gewünschten Spitzenleistungsbetriebspunkt des Verdichters auf. Nach einer rotierenden Strömungsablösung kann der Verdichter in eine Verdichterpumpenbedingung oder eine Deep-Stall-Bedingung übergehen, die einen Wirkungsgradverlust zur Folge haben kann und, wenn zugelassen wird, dass sie länger anhält, zum Ausfall der Gasturbine führen kann.

[0005] Der Betriebsbereich eines Axialverdichters ist aufgrund von schwacher Strömung in Rotorspitzen, wo der spezifische Strömungsabrisspunkt des Rotors von den Betriebsbedingungen und der Verdichterkonstruktion bestimmt wird, allgemein begrenzt. Zu Versuchen im Stand der Technik, den Bereich dieses Betriebs zu vergrößern und den Strömungsabriss-

grenzbereich zu vergrößern, zählen auf Strömungsregelung basierende Methoden, wie bspw. Steuerung mittels Plasmaaktuatoren und Saugen/Blasen nahe einer Schaufelspitze. Derartige Versuche erhöhen aber die Komplexität und das Gewicht des Verdichters bedeutend. Zu anderen Versuchen zählen Endwandeinrichtungen, wie bspw. Umfangsnuten, Axialnuten oder dergleichen. Anfängliche Versuche hatten einen bedeutenden Einfluss auf den Wirkungsgrad am Auslegungspunkt bei sehr minimalem Nutzen für den Strömungsabrissgrenzbereich.

[0006] Es besteht daher der Wunsch nach einem verbesserten Axialverdichter für eine Gasturbine und einem Verfahren zur Steuerung der Leckageströmung um eine oder mehrere Schaufelspitzen an diesen. Speziell kann ein derartiger Verdichter eine Leckage von verdichteter Luft durch eine sorgfältig ausgelegte Endwandeinrichtung nahe den Laufschaufeln und/oder den Leitschaufeln steuern, die eine erwünschte Umwälzung der Leckageströmung ergibt. Eine derartige Leckagesteuerung kann den Betriebsbereich und den Grenzbereich des Verdichterpumpens des Verdichters und der Gasturbine insgesamt erhöhen, während sie die nachteilige Auswirkung auf den Wirkungsgrad am Auslegungspunkt minimiert.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0007] Aspekte und Vorteile der Offenbarung werden nachstehend in der folgenden Beschreibung dargestellt oder können aus der Beschreibung offensichtlich sein oder können durch Ausübung der Offenbarung erlernt werden.

[0008] In einem Aspekt ist ein Verdichter geschaffen. Der Verdichter enthält eine Verdichtererndwand, die einen im Wesentlichen zylindrischen Strömungsdurchgang definiert. Die Verdichtererndwand enthält ein Verdichtergehäuse und eine Verdichternabe, die konzentrisch um und koaxial entlang einer Längsmittelachse angeordnet sind, wenigstens einen Satz von Laufschaufeln, wenigstens einen Satz von Leitschaufeln und eine oder mehr Endwandeinrichtungen mit einer radialen Höhe, die in einer Innenfläche des Gehäuses und/oder der Nabe ausgebildet sind. Jeder des wenigstens einen Laufschaufelsatzes enthält mehrere Laufschaufeln, die mit der Verdichternabe verbunden sind und zwischen der Verdichternabe und dem Verdichtergehäuse verlaufen und dort einen Schaufeldurchgang zwischen allen Laufschaufeln definieren. Das Verdichtergehäuse umschreibt den wenigstens einen Laufschaufelsatz, um einen Ringspalt zwischen dem Verdichtergehäuse und mehreren Laufschaufelspitzen der mehreren Laufschaufeln zu definieren. Jeder des wenigstens einen Leitschaufelsatzes enthält mehrere Leitschaufeln, die mit dem Verdichtergehäuse verbunden sind und zwischen dem Verdichtergehäuse und der Verdichternabe verlaufen und dort ei-

nen Schaufeldurchgang zwischen all den Leitschaufeln definieren. Die Leitschaufeln sind relativ zu der Verdichternabe angeordnet, um einen Ringspalt zwischen der Verdichternabe und mehreren Leitschaufelspitzen der mehreren Leitschaufeln zu definieren. Die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen sind gestaltet, um eine an die mehreren Laufschaufelspitzen oder Leitschaufelspitzen angrenzende Strömung zu dem zylindrischen Strömungsdurchgang stromaufwärts einer Entnahmestelle der Strömung zurückzuführen. Die Endwandeinrichtungen definieren jeweils eine Frontwand, die einen ersten axialen Neigungswinkel α_1 relativ zu der Längsmittelachse enthält, eine Rückwand, die einen zweiten axialen Neigungswinkel α_2 relativ zu der Längsmittelachse enthält, eine Außenwand, die zwischen der Frontwand und der Rückwand verläuft, eine axiale Auskrugung, die sich stromaufwärts erstreckt, um wenigstens über einen von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz oder dem wenigstens einen Leitschaufelsatz auszukragen, eine axiale Überlappung, die sich stromabwärts erstreckt, um wenigstens einen von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz oder dem wenigstens einen Leitschaufelsatz zu überlappen, einen ersten tangentialen Neigungswinkel β_1 relativ zu einer Umfangsfläche der Verdichterendwand und einen zweiten tangentialen Neigungswinkel β_2 relativ zu der Umfangsfläche der Verdichterendwand. Entweder der axiale Neigungswinkel α_1 ist nicht gleich dem axialen Neigungswinkel α_2 oder der tangentialen Neigungswinkel β_1 ist nicht gleich dem tangentialen Neigungswinkel β_2 .

[0009] Bei dem oben erwähnten Verdichter können die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen mehrere separate axiale Aussparungen aufweisen, die sich in Umfangsrichtung um die Verdichternabe und/oder das Verdichtergehäuse erstreckend definiert sind.

[0010] Speziell kann jeder Schaufeldurchgang 0 bis 10 separate axiale Aussparungen enthalten.

[0011] In dem Verdichter eines beliebigen oben erwähnten Typs können die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen eine radiale Höhe haben, die im Bereich von 5 bis 50 % einer Spanne von den mehreren Laufschaufeln und/oder den mehreren Leitschaufeln liegt.

[0012] Ferner können der erste axiale Neigungswinkel α_1 und der zweite axiale Neigungswinkel α_2 in einem Bereich von 10 bis 170 Grad liegen.

[0013] Noch ferner können der erste tangentialen Neigungswinkel β_1 und der zweite tangentialen Neigungswinkel β_2 in einem Bereich von 10 bis 170 Grad liegen.

[0014] In einer Ausführungsform können der erste axiale Neigungswinkel, der zweite axiale Neigungswinkel, der erste tangentialen Neigungswinkel und der zweite tangentialen Neigungswinkel nicht gleich sein.

[0015] In einer weiteren Ausführungsform kann die axiale Auskrugung -10 % bis 60 % einer Schaufelsehnenlänge betragen.

[0016] In einer Ausgestaltung kann die axiale Auskrugung 0 % einer Schaufelsehnenlänge betragen.

[0017] In noch einer weiteren Ausführungsform kann die axiale Überlappung -10 bis 60 % einer Schaufelsehnenlänge betragen.

[0018] In einer Ausgestaltung kann die axiale Überlappung 0 % einer Schaufelsehnenlänge betragen.

[0019] In einem beliebigen oben erwähnten Verdichter kann eine Nichtmetallfläche der Aussparung 10 % bis 90 % einer Fläche des Schaufeldurchgangs betragen.

[0020] In einem weiteren Aspekt ist ein Axialverdichter geschaffen. Der Axialverdichter enthält eine Verdichterendwand, die einen im Wesentlichen zylindrischen Strömungsdurchgang definiert, einen oder mehrere Laufschaufelsätze, einen oder mehrere Leitschaufelsätze und eine oder mehrere separate axiale Aussparungen. Die Verdichterendwand enthält ein Verdichtergehäuse und eine Verdichternabe, die konzentrisch um eine und koaxial entlang einer Längsmittelachse angeordnet sind. Jeder des einen oder der mehreren Laufschaufelsätze enthält mehrere Laufschaufeln, die mit der Verdichternabe verbunden sind und zwischen der Verdichternabe und dem Verdichtergehäuse verlaufen und dort einen Schaufeldurchgang zwischen jeder der mehreren Laufschaufeln definieren. Das Verdichtergehäuse umschreibt den wenigstens einen Laufschaufelsatz, um einen Ringspalt zwischen dem Verdichtergehäuse und mehreren Laufschaufelspitzen der mehreren Laufschaufeln zu definieren. Jeder von dem einen oder den mehreren Leitschaufelsätzen enthält mehrere Leitschaufeln, die mit dem Verdichtergehäuse verbunden sind und zwischen dem Verdichtergehäuse und der Verdichternabe verlaufen und dort einen Schaufeldurchgang zwischen jeder der mehreren Leitschaufeln definieren. Die Leitschaufeln sind relativ zu der Verdichternabe angeordnet, um einen Ringspalt zwischen der Verdichternabe und mehreren Leitschaufelspitzen der mehreren Leitschaufeln zu definieren. Die eine oder mehreren separaten axialen Aussparungen sind in Umfangsrichtung um die Verdichternabe und/oder das Verdichtergehäuse definiert. Die eine oder mehreren separaten axialen Aussparungen sind gestaltet, um eine Leckageluftströmung um die mehreren Leitschaufelspitzen und/oder die mehreren Laufschaufelspitzen

zu steuern. Die Endwandeinrichtungen definieren jeweils eine Frontwand, die einen ersten axialen Neigungswinkel α_1 relativ zu der Längsmittelachse enthält, eine Rückwand, die einen zweiten axialen Neigungswinkel α_2 relativ zu der Längsmittelachse enthält, eine Außenwand, die zwischen der Frontwand und der Rückwand verläuft, eine axiale Auskrugung, die stromaufwärts verläuft, um wenigstens über einen von dem einen oder den mehreren Laufschaufelsätzen oder dem einen oder den mehreren Leitschaufelsätzen auszukragen, eine axiale Überlappung, die stromabwärts verläuft, um wenigstens einen von dem einen oder den mehreren Laufschaufelsätzen oder dem einen oder den mehreren Leitschaufelsätzen zu überlappen, einen ersten tangentialen Neigungswinkel β_1 relativ zu einer Umfangsfläche der Verdichterendwand und einen zweiten tangentialen Neigungswinkel β_2 relativ zu der Umfangsfläche der Verdichterendwand. Entweder die axiale Überlappung von jeder der einen oder mehreren separaten axialen Aussparungen beträgt 0 % eines jeweiligen Schaufelddurchgangs oder die axiale Auskrugung von jeder der einen oder mehreren separaten axialen Aussparungen beträgt 0 % eines jeweiligen Schaufelddurchgangs.

[0021] In dem zuvor erwähnten Verdichter kann jeder Schaufelddurchgang 0 bis 10 separate axiale Aussparungen enthalten.

[0022] Ferner kann die eine oder können die mehreren Endwandeinrichtungen eine radiale Höhe haben, die von 5 bis 50 % einer Spanne der mehreren Laufschaufeln und/oder der mehreren Leitschaufeln reicht.

[0023] Noch ferner können der erste axiale Neigungswinkel α_1 , der zweite axiale Neigungswinkel α_2 , der erste tangentialen Neigungswinkel β_1 und der zweite tangentialen Neigungswinkel β_2 in einem Bereich von 10 bis 170 Grad liegen.

[0024] Und noch ferner kann eine Nichtmetallfläche der Aussparung 10 % bis 90 % eines Bereichs des Schaufelddurchgangs betragen.

[0025] In noch einem weiteren Aspekt ist ein Motor bzw ein Triebwerk geschaffen. Der Motor bzw das Triebwerk enthält eine Bläseranordnung und ein Kerntriebwerk stromabwärts der Bläseranordnung. Das Kerntriebwerk enthält einen Verdichter, eine Brennkammer und eine Turbine. Der Verdichter, die Brennkammer und die Turbine sind in einer stromabwärtigen axialen Strömungsbeziehung ausgestaltet. Der Verdichter enthält ferner eine Verdichterendwand, die einen allgemein zylindrischen Strömungsdurchgang definiert, wenigstens einen Laufschaufelsatz, wenigstens einen Leitschaufelsatz und eine oder mehrere Endwandeinrichtungen. Die Verdichterendwand enthält ein Verdichtergehäuse und eine Verdichternabe, die konzentrisch um eine und

koaxial entlang einer Längsmittelachse angeordnet sind. Jeder des wenigstens einen Laufschaufelsatzes enthält mehrere Laufschaufeln, die mit der Verdichternabe verbunden sind und zwischen der Verdichternabe und dem Verdichtergehäuse verlaufen. Das Verdichtergehäuse umschreibt den wenigstens einen Laufschaufelsatz, um einen Ringspalt zwischen dem Verdichtergehäuse und mehreren Laufschaufelspitzen der mehreren Laufschaufeln zu definieren. Jeder des wenigstens einen Leitschaufelsatzes enthält mehrere Leitschaufeln, die mit dem Verdichtergehäuse verbunden sind und zwischen dem Verdichtergehäuse und der Verdichternabe verlaufen. Die Leitschaufeln sind relativ zu der Verdichternabe angeordnet, um einen Ringspalt zwischen der Verdichternabe und mehreren Leitschaufelspitzen der mehreren Leitschaufeln zu definieren. Die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen haben eine Höhe, die in einer Innenfläche des Gehäuses ausgebildet ist, und sind zum Zurückführen einer an die mehreren Laufschaufelspitzen angrenzenden Strömung zu dem zylindrischen Strömungsdurchgang stromaufwärts einer Entnahmestelle der Strömung eingerichtet. Die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen definieren jeweils eine Frontwand, die einen ersten axialen Neigungswinkel α_1 relativ zu der Längsmittelachse hat, eine Rückwand, die einen zweiten axialen Neigungswinkel α_2 relativ zu der Längsmittelachse hat, eine Außenwand, die zwischen der Frontwand und der Rückwand verläuft, eine axiale Auskrugung, die stromaufwärts verläuft, um wenigstens über einem von dem einen oder den mehreren Laufschaufelsätzen oder dem einen oder den mehreren Leitschaufelsätzen auszukragen, eine axiale Überlappung, die stromabwärts verläuft, um wenigstens einen von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz oder dem wenigstens einen Leitschaufelsatz zu überlappen, einen ersten tangentialen Neigungswinkel β_1 relativ zu einer Umfangsfläche der Verdichterendwand und einen zweiten tangentialen Neigungswinkel β_2 relativ zu der Umfangsfläche der Verdichterendwand, wobei der axiale Neigungswinkel α_1 nicht gleich dem axialen Neigungswinkel α_2 ist und/oder der tangentialen Neigungswinkel β_1 nicht gleich dem tangentialen Neigungswinkel β_2 ist.

[0026] In dem zuvor erwähnten Motor bzw. Triebwerk können der erste axiale Neigungswinkel α_1 , der zweite axiale Neigungswinkel α_2 , der erste tangentialen Neigungswinkel β_1 und the zweite tangentialen Neigungswinkel β_2 in einem Bereich von 10 bis 170° liegen.

[0027] Vorzugsweise ist das Kerntriebwerk zur Verwendung in einem Flugzeugtriebwerk eingerichtet.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0028] Eine ausführliche und befähigende Offenbarung des vorliegenden Offenbarungsgegenstands,

einschließlich der besten Ausführung davon, für einen Fachmann, wird im Rest der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Begleitfiguren genauer dargestellt, in denen:

[0029] Fig. 1 ein schematischer Längsschnitt von einem Teil eines Flugzeugtriebwerks mit einem Verdichter, der Endwandinrichtungen aufweist, gemäß einer oder mehreren hierin gezeigten oder beschriebenen Ausführungsformen ist;

[0030] Fig. 2 ein schematischer Längsschnitt eines Teils eines in der Technik bekannten Verdichters ist;

[0031] Fig. 3 ein schematischer Längsschnitt eines Teils des Verdichters des Flugzeugtriebwerks von **Fig. 1**, der eine Endwandinrichtung hat, gemäß einer oder mehreren hierin gezeigten oder beschriebenen Ausführungsformen ist;

[0032] Fig. 4 ein schematischer Längsschnitt des Verdichters von **Fig. 3**, der eine Endwandinrichtung hat, gemäß einer oder mehrere hierin gezeigten oder beschriebenen Ausführungsformen ist;

[0033] Fig. 5 eine schematische isometrische Ansicht eines Teils des Verdichters von **Fig. 4**, der eine Endwandinrichtung hat, gemäß einer oder mehreren hierin gezeigten oder beschriebenen Ausführungsformen ist;

[0034] Fig. 6 ein schematischer Längsschnitt einer anderen Ausführungsform eines Verdichters, der eine Endwandinrichtung hat, gemäß einer oder mehreren hierin gezeigten oder beschriebenen Ausführungsformen ist;

[0035] Fig. 7 ein schematischer Längsschnitt einer anderen Ausführungsform eines Verdichters, der eine Endwandinrichtung hat, gemäß einer oder mehreren hierin gezeigten oder beschriebenen Ausführungsformen ist;

[0036] Fig. 8 ein schematischer Längsschnitt einer anderen Ausführungsform eines Verdichters, der eine Endwandinrichtung hat, gemäß einer oder mehreren hierin gezeigten oder beschriebenen Ausführungsformen ist;

[0037] Fig. 9 ein schematischer axialer Querschnitt des Verdichters von **Fig. 7** entlang einer Linie 9-9, der eine Endwandinrichtung hat, gemäß einer oder mehreren hierin gezeigten oder beschriebenen Ausführungsformen ist;

[0038] Fig. 10 ein schematischer axialer Querschnitt einer anderen Ausführungsform eines Verdichters, der eine Endwandinrichtung hat, gemäß einer oder mehreren hierin gezeigten oder beschriebenen Ausführungsformen ist und

[0039] Fig. 11 eine graphische Darstellung ist, die den Nutzen eines Verdichters, der die eine oder mehreren Endwandinrichtungen gemäß einer oder mehreren der hierin gezeigten oder beschriebenen Ausführungsformen hat, veranschaulicht.

[0040] In den verschiedenen Ansichten der Zeichnungen geben entsprechende Bezugszeichen durchwegs entsprechende Teile an.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0041] Die vorliegende Offenbarung ist nur zu Veranschaulichungszwecken in Verbindung mit gewissen Ausführungsformen beschrieben; es ist aber zu beachten, dass andere Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Offenbarung durch die folgende Beschreibung der offenbarungsgemäßen Zeichnungen offensichtlich werden. Es werden zwar bevorzugte Ausführungsformen offenbart, es ist aber nicht vorgesehen, dass sie beschränkend sind. Vielmehr gelten die hierin dargelegten allgemeinen Grundsätze lediglich als den Umfang der vorliegenden Offenbarung veranschaulichend, und es ist ferner zu beachten, dass zahlreiche Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Umfang der vorliegenden Offenbarung abzuweichen.

[0042] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind in den Figuren veranschaulicht, wobei gleiche Bezugszeichen verwendet werden, um gleiche und einander entsprechende Teile der verschiedenen Zeichnungen zu bezeichnen. Außerdem bedeutet die Bezugnahme in der ganzen Beschreibung auf „eine einzelne Ausführungsform“, eine „weitere Ausführungsform“, „eine Ausführungsform“ und so weiter, dass ein bestimmtes, in Verbindung mit der Ausführungsform beschriebenes Element (z.B. Merkmal, Struktur und/oder Eigenschaft) in wenigstens einer hierin beschriebenen Ausführungsform enthalten ist und in anderen Ausführungsformen enthalten sein kann oder auch nicht. Es versteht sich, dass die beschriebenen erfinderischen Merkmale in den verschiedenen Ausführungsformen auf jede beliebige geeignete Weise kombiniert werden können. Es versteht sich auch, dass Begriffe wie „oben“, „unten“, „auswärts“, „einwärts“ und dergleichen zweckdienliche Worte sind und nicht als beschränkende Begriffe ausgelegt werden dürfen. Es ist zu beachten, dass die Begriffe „erste“, „zweite“ und dergleichen, wie hierin verwendet, keine Reihenfolge, Menge oder Bedeutung bezeichnen, sondern vielmehr zum Unterscheiden eines Elements von einem anderen verwendet werden. Die Begriffe „ein(e)“ und „einer“ bezeichnen keine mengenmäßige Beschränkung, sondern bezeichnen vielmehr die Anwesenheit von wenigstens einem des genannten Elements. Die in Verbindung mit einer Menge verwendete Modifizierung „etwa“ ist einschließlich des an-

gegebenen Werts zu verstehen und hat die vom Zusammenhang vorgeschriebene Bedeutung (z.B. enthält den mit einer Messung der bestimmten Menge verbundenen Fehlergrad).

[0043] Hierin offenbarte Ausführungsformen betreffen eine Verdichtervorrichtung eines Flugzeugtriebwerks, die eine oder mehrere Endwandinrichtungen zur Steuerung der Leckage durch den Verdichter hat. Im Gegensatz zu bekannten Mitteln zur Steuerung einer Leckageströmung durch einen Verdichter ermöglichen die Endwandinrichtungen, wie sie hierin offenbart sind, eine Erhöhung der Grenze der Betreibbarkeit des Verdichters, eine Minimierung des Wirkungsgrad-Nachteils des Verdichters und eine sich daraus ergebende Verzögerung des Strömungsabbrisses am Rotor.

[0044] Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, wobei in den verschiedenen Ansichten identische Bezugszeichen durchgehend die gleichen Elemente bezeichnen, stellen **Fig. 1** und **Fig. 2** zum Beispiel eine schematische Darstellung einer beispielhaften Flugzeugtriebwerkanordnung **10** dar. Die hierin beschriebenen Ausführungsformen sind gleichermaßen auf einen stationären Gasturbinentyp, wie etwa eine für industrielle Anwendungen verwendete Gasturbine, anwendbar. Es wird darauf hingewiesen, dass der Teil der Triebwerkanordnung **10**, der in **Fig. 3** veranschaulicht ist, in **Fig. 1** mit einer gestrichelten Linie angedeutet ist. Die Triebwerkanordnung **10** hat eine Längsmittellinie oder eine Längsmittelachse **12** und ein äußeres stationäres ringförmiges Bläsergehäuse **14**, das konzentrisch um und koaxial entlang der Längsmittelachse **12** liegt. Außerdem hat die Triebwerkanordnung **10** eine radiale Achse **13**. In der beispielhaften Ausführungsform enthält die Triebwerkanordnung **10** eine Bläseranordnung **16**, einen Zusatzverdichter **18**, ein Kerngasturbinentriebwerk **20** und eine Niederdruckturbine **22**, die mit der Bläseranordnung **16** und dem Zusatzverdichter **18** verbunden sein kann. Die Bläseranordnung **16** enthält mehrere Bläserlaufschaufeln **24**, die sich von einer Bläserrotorscheibe **26** im Wesentlichen radial auswärts erstrecken, sowie mehrere strukturelle Strebenelemente **28** und Auslassleitschaufeln („OGVs“) **29**, die stromabwärts der Bläserlaufschaufeln **24** positioniert sein können. In diesem Beispiel sind für die aerodynamischen und die strukturellen Funktionen gesonderte Elemente vorgesehen. In anderen Ausgestaltungen kann jede der OGVs **29** sowohl ein aerodynamisches Element als auch ein struktureller Träger für ein ringförmiges Bläsergehäuse sein. Der Zusatzverdichter enthält mehrere Laufschaufeln **35**, die sich von einer Verdichterrotscheibe oder einer Verdichternabe **37**, die mit einer ersten Antriebswelle **40** verbunden ist, im Wesentlichen radial auswärts erstrecken.

[0045] Das Kerngasturbinentriebwerk **20** enthält einen Hochdruckverdichter **30**, eine Brennkammer **32** und eine Hochdruckturbine **34**. Der Hochdruckverdichter **30** enthält mehrere Laufschaufeln **36**, die sich von einer Verdichternabe **38** im Wesentlichen radial auswärts erstrecken. Der Hochdruckverdichter **30** und die Hochdruckturbine **34** sind durch eine zweite Antriebswelle **41** miteinander verbunden. Die erste und die zweite Antriebswelle **40** und **41** sind in Lagern **43** drehbar montiert, die selbst wiederum in einem Bläserrahmen **45** und einem hinteren Turbinenrahmen **47** montiert sind. Die Triebwerkanordnung **10** enthält auch eine Ansaugseite **44**, die einen Bläsereinlass **49** definiert, eine Kerntriebwerksabgasseite **46** des und eine Bläserabgasseite **48**.

[0046] Während des Betriebs verdichtet die Bläseranordnung **16** durch die Ansaugseite **44** in die Triebwerkanordnung **10** eintretende Luft. Der aus der Bläseranordnung **16** austretende Luftstrom wird geteilt, so dass ein Teil **50** des Luftstroms als verdichteter Luftstrom in den Zusatzverdichter **18** geleitet wird und ein übriger Teil **52** des Luftstroms an dem Zusatzverdichter **18** und dem Kerngasturbinentriebwerk **20** vorbeigeführt wird und über einen Nebenstromkanal **51** durch die Bläserabgasseite **48** als Nebenstromluft aus der Triebwerkanordnung **10** austritt. Speziell verläuft der Nebenstromkanal **51** zwischen einer Innenwand **15** des Bläsergehäuses **14** und einer Außenwand **17** eines Zusatzverdichtergehäuses **19**. Dieser Teil **52** des Luftstroms, der hierin auch als Bypass- bzw. Nebenluftstrom **52** bezeichnet wird, strömt an den strukturellen Strebenelementen **28**, den Auslassleitschaufeln **29** und einer Wärmetauschervorrichtung **54** vorbei und tritt mit ihnen in Wechselwirkung. Die mehreren Bläserlaufschaufeln **24** verdichten und fördern den verdichteten Luftstrom **50** zu dem Kerngasturbinentriebwerk **20**. Des Weiteren wird der Luftstrom **50** von dem Hochdruckverdichter **30** weiter verdichtet und zu der Brennkammer **32** geliefert. Der verdichtete Luftstrom **50** aus der Brennkammer **32** treibt darüber hinaus die rotierende Hochdruckturbine **34** und die Niederdruckturbine **22** an und tritt durch die Kerntriebwerksabgasseite **46** aus der Triebwerkanordnung **10** aus.

[0047] In **Fig. 2**, auf die jetzt Bezug genommen wird, ist ein Teil eines Verdichters **60** schematisch dargestellt, der in der Technik allgemein bekannt ist und als Stand der Technik bezeichnet wird. Der Verdichter **60** enthält mehrere Laufschaufelsätze **62**, die in Umfangsrichtung voneinander beabstandet sind und die sich von einer Verdichternabe **66** radial auswärts in Richtung auf ein Verdichtergehäuse **64** erstrecken. Mehrere Sätze von in Umfangsrichtung voneinander beabstandeten Leitschaufeln **68** (von denen nur eine einzelne Leitschaufel gezeigt ist) sind angrenzend an jeden Laufschaufelsatz **62** positioniert und bilden in Kombination eine von mehreren Stufen **70** (von denen nur eine einzelne Stufe gezeigt ist). Jede der

Leitschaufeln **68** ist sicher mit dem Verdichtergehäuse **64** verbunden und erstreckt sich zur Kopplung mit der Verdichternabe **66** radial einwärts. Jede der Laufschaufeln **62** ist von dem Verdichtergehäuse **64** umgeben, so dass zwischen dem Verdichtergehäuse **64** und einer Laufschaufelspitze **63** jeder Schaufel in dem Laufschaufelsatz **62** ein Ringspalt **72** definiert ist. Desgleichen sind die Leitschaufeln **68** relativ zu der Verdichternabe **66** derart angeordnet, dass zwischen der Verdichternabe **66** und einer Leitschaufelspitze **69** jeder der Leitschaufeln **68** ein Ringspalt **73** definiert ist.

[0048] Während des Betriebs ist ein Betriebsbereich des Verdichters **60** im Allgemeinen aufgrund einer Leckageströmung, wie von Richtungspfeilen **74** angedeutet, nahe den Laufschaufelspitzen **63** begrenzt. Außerdem kann eine Leckageströmung (nicht gezeigt) nahe den Leitschaufelspitzen **69** vorhanden sein. Ein spezifischer Strömungsabrisspunkt des Rotors ist von den Betriebsbedingungen und der Verdichterkonstruktion bestimmt. Um den Bereich dieses Betriebs zu erhöhen, haben frühere Verdichter in dem Versuch, durch Umlenkung und/oder Minimierung der Leckageströmung **74** für eine Vergrößerung des Betriebsbereichs zu sorgen, (nicht gezeigte) Endwandeinrichtungen, wie etwa Umfangsnuten, enthalten.

[0049] In **Fig. 3**, auf die jetzt genauer Bezug genommen wird, ist ein Teil des neuen Verdichters **30**, wie in **Fig. 1** präsentiert, veranschaulicht. Wie veranschaulicht, enthält die Flugzeugtriebwerkanordnung **10** und spezieller der Verdichter **30** in der beispielhaften Ausführungsform wenigstens einen Satz Laufschaufeln **76**, wobei jeder Satz mehrere Laufschaufeln **80** aufweist, die in Umfangsrichtung voneinander beabstandet sind und sich von einer Verdichternabe oder einer Rotorscheibe **84**, die/das mit der ersten Antriebswelle **40** verbunden ist, radial auswärts in Richtung auf ein Verdichtergehäuse erstrecken. Wenigstens ein Satz Leitschaufeln **78**, wobei jeder Satz mehrere in Umfangsrichtung voneinander beabstandete Leitschaufeln **86** aufweist, ist an jeden Laufschaufelsatz **76** angrenzend positioniert und bildet in Kombination eine von mehreren Stufen **88**. Die Leitschaufeln **86** sind sicher mit dem Verdichtergehäuse **82** verbunden und erstrecken sich zur Kopplung mit der Verdichternabe **84** radial einwärts. Jede der mehreren Stufen **88** leitet einen Strom verdichteter Luft durch den Verdichter **30**. Die Laufschaufeln **80** sind von dem Verdichtergehäuse **82** umgeben, so dass zwischen dem Verdichtergehäuse **82** und einer Laufschaufelspitze **81** jeder der Laufschaufeln **80** ein Ringspalt **90** definiert ist. Desgleichen sind die Leitschaufeln **86** relativ zu der Verdichternabe **84** derart angeordnet, dass zwischen der Verdichternabe **84** und einer Leitschaufelspitze **87** jeder der Leitschaufeln **86** ein Ringspalt **92** definiert ist.

[0050] Wie in der Technik üblich ist, ist jeder Spalt **90** und **92** so bemessen, dass er es ermöglicht, eine um die Laufschaufeln **80** bzw. Leitschaufeln **86** herumgeführte verdichtete Luftmenge **50**, die die Leckageströmung **74** (**Fig. 2**) definiert, zu minimieren. Um eine Umwälzung dieses Teils verdichteter Luft **50** nahe den Laufschaufelspitzen **81** und/oder den Leitschaufelspitzen **87** zu ermöglichen, hat der hierin offenbarte neue Verdichter **30** eine oder mehr Endwandeinrichtungen **94**. Der Begriff „Endwand“, wie hierin verwendet, soll das Verdichtergehäuse **82** und/oder die Verdichternabe **84** umfassen und für einen allgemein zylindrischen Strömungsdurchgang **56** sorgen.

[0051] Indem nun auf **Fig. 4** und **Fig. 5** Bezug genommen wird, veranschaulicht **Fig. 4** schematisch einen Längsschnitt durch einen Teil des Verdichters **30**, der die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen **94** (von denen nur eine gezeigt ist) aufweist. **Fig. 5** veranschaulicht in einer schematischen isometrischen Ansicht die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen **94** und die Positionierung im Verhältnis zu einer Laufschaufel **80**, wobei ein Teil des Gehäuses **82** zwecks Veranschaulichung entfernt wurde. In dieser speziellen Ausführungsform, wie veranschaulicht, sind die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen **94** als mehrere separate Aussparungen **96** eingerichtet, die in einer Innenfläche **83** des Verdichters **82** eingeformt und in Umfangsrichtung dort nahe den Laufschaufelspitzen **81** angeordnet sind. Jede der Aussparungen der mehreren Aussparungen **96** ist im Wesentlichen entlang der Hauptachse und spezieller der Längsmittelachse **12** (**Fig. 1**) ausgerichtet, so dass eine Stromumwälzung **98** in diesen Aussparungen im Allgemeinen entlang dieser Hauptrichtung erfolgt. Wie durch den Richtungspfeil **98** der Stromumwälzung angezeigt, sind die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen **94** ausgestaltet, um die an die mehreren Laufschaufelspitzen **81** angrenzende Strömung **50** umzuwälzen **98** und spezieller zu dem zylindrischen Strömungsdurchgang **56** stromaufwärts einer Entnahmestelle für die Strömung **50** zurückzuführen. Jede Aussparung **96** hat einen Querschnitt in der Ebene dieser Hauptrichtung, der eine Rezirkulation **98** der Strömung über die Laufschaufelspitze **81** unterstützt. Die Position von jeder der Aussparungen **96**, die Ausrichtung, die Querschnittdefinition und zusätzliche geometrische Parameter können zur Bereitstellung einer spezifischen Lösung für jede Anwendung, die eine Vergrößerung eines stabilen Betriebsbereichs wünscht, optimiert werden.

[0052] Speziell ermöglichen in der beispielhaft veranschaulichten Ausführungsform die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen **94** und insbesondere die mehreren separaten Aussparungen **96** eine Verringerung der nachteiligen Auswirkung von Leckageströmungen von verdichteter Luft zwischen dem Verdichtergehäuse **82** und der Laufschaufelspitze **81**.

Spezieller ermöglichen die mehreren separaten Aussparungen **96** die Umsetzung der Nutzlosigkeit der Leckageströmungen in nützliche Ströme zur Vergrößerung des Strömungsabrissgrenzbereichs. Während des Betriebs strömt der Teil der Luftströmung **50** durch den Bläserinlass **49** (Fig. 1) in die Flugzeugtriebwerkanordnung **10** hinein und zu dem Verdichter **30** hin. Die Leitschaufeln **86** lenken die verdichtete Luft zu den Laufschaufeln **80** hin. Die verdichtete Luft entzieht zusätzliche Arbeitsleistung von den Laufschaufeln **89**, die sich um die Längsmittelachse **12** des Verdichters **30** drehen, während die Leitschaufeln **86** stationär bleiben und die durch jede der mehreren Stufen **88** strömende Luft weiter verdichten. Auf diese Weise wirken die Laufschaufeln **80** mit den benachbarten Leitschaufeln **86** zusammen, um dem einströmenden Luftstrom **50**, der dann der Brennkammer **32** zugeführt wird, kinetische Energie zu verleihen und ihn zu verdichten. Es können andere Arten von Verdichterkonfigurationen verwendet werden.

[0053] Die eine oder mehreren Endwandinrichtungen **94**, und insbesondere die mehreren separaten Aussparungen **96**, hilft bzw. helfen bei einer Verzögerung des Strömungsabrisses des Rotors, indem sie anfänglich eine schwache Spitzenströmung durch ein hinteres Segment **100** eines Teils **58** des Stroms **50**, hierin auch als Leckageströmung bezeichnet, der der Laufschaufelspitze **81** ausgesetzt ist, entzieht bzw. entziehen. Der Teil **58** der Strömung **50** wird dann innerhalb jeder der Aussparungen **96** umgewälzt und gestärkt und vor der Laufschaufel **80** durch das vordere Segment als wiedereingeblasene Strömung **59** in den Hauptfluss **50** zurück eingeblasen. Es ist zu verstehen, dass die Position der mehreren Aussparungen **96** relativ zu den Laufschaufelspitzen **81**, die Verteilung längs des Umfangs um das Gehäuse **82** und das Wiederholungsmuster der mehreren Aussparungen **96** nur zu Veranschaulichungszwecken gezeigt wird. In der Praxis ist die spezifische Ausgestaltung der einen oder mehreren Endwandinrichtungen **94** für die Anwendung, in der sie zum Einsatz kommen, optimiert.

[0054] Indem erneut auf Fig. 4 Bezug genommen wird, sind die mehreren Aussparungen **96** relativ zu den mehreren Laufschaufeln **80** und insbesondere den Laufschaufelspitzen **81** konfiguriert. Wie veranschaulicht, ist jede der mehreren Aussparungen **96** von einer Frontwand **102**, einer Rückwand **104** und einer Außenwand **106** zwischen der Frontwand **102** und der Rückwand **104** definiert. Jede der mehreren Aussparungen **96** ist ferner von einer axialen Auskrümmung **108**, einer axialen Überlappung **110**, einer radialen Höhe **112**, einem ersten axialen Neigungswinkel α_1 zur Längsmittelachse **12** (Fig. 1), einem zweiten axialen Neigungswinkel α_2 zur Längsmittelachse **12** (Fig. 1), einem ersten tangentialen Neigungswinkel und einem zweiten tangentialen Neigungswinkel

(im Vorliegenden beschrieben) definiert. In einer Ausführungsform erstreckt sich die axiale Auskrümmung **108** stromaufwärts der Laufschaufeln **80** und erstreckt sich speziell mit einer Schaufelvorderkantenspitze **81** der Laufschaufeln **80** übereinstimmend zu der Frontwand **102**. Die axiale Auskrümmung **108** kann zwischen -10% und 60% der axialen Sehne „y“ variieren. Es ist zu verstehen, dass eine axiale Auskrümmung **108** von -10% der axialen Sehne „y“ bedeutet, dass die Frontwand **102** der Aussparung **96** sich 10% stromabwärts der vorderen Schaufelspitzenenecke **81** befindet. Die axiale Überlappung **110** erstreckt sich von der Schaufelvorderkantenspitze **81** der Laufschaufeln **80** in eine stromabwärtige Richtung, wodurch sie im Wesentlichen einen Teil der Laufschaufeln **80** überlappt. Die axiale Überlappung **110** kann zwischen -10% und 100% der axialen Sehne „y“ variieren. Es ist zu verstehen, dass eine axiale Überlappung **110** von -10% der axialen Sehne „y“ bedeutet, dass die Rückwand **104** der Aussparung **96** sich 10% stromaufwärts der vorderen Schaufelkantenspitze **81** befindet. In einer Ausführungsform beträgt die radiale Höhe **112** von jeder der mehreren Aussparungen **96** etwa 5 bis 50% der Spanne „x“ der Laufschaufeln **80**.

[0055] Wie bereits angedeutet und veranschaulicht, sind die Frontwand **102** und die Rückwand **104** jeder der mehreren Aussparungen **96** unabhängig ausgelegt, so dass sie sich unter einem oder mehreren Winkeln, die hierin als axiale Neigungswinkel α_1 und α_2 bezeichnet werden, in Bezug auf die Längsmittelachse **12** des Gehäuses **82** neigen. In einer Ausführungsform betragen der erste axiale Neigungswinkel α_1 und der zweite axiale Neigungswinkel α_2 zwischen 10 und 170 Grad. In einer Ausführungsform können der erste axiale Neigungswinkel α_1 und der zweite axiale Neigungswinkel α_2 gleich sein. In einer Ausführungsform können der erste axiale Neigungswinkel α_1 und der zweite axiale Neigungswinkel α_2 nicht gleich sein. In einer Ausführungsform ist der erste axiale Neigungswinkel α_1 zu der einströmenden Hauptströmung **50** ausgerichtet, um den Mischverlust zwischen der einströmenden Strömung **50** und der wiedereingeblasenen Strömung **59** aus jeder der mehreren Aussparungen **96** zu minimieren. Dagegen ist der zweite axiale Neigungswinkel α_2 dafür ausgelegt, impulsarme Fluide wirksam aus der Hauptströmung **50** zu entziehen.

[0056] In Fig. 6, auf die jetzt Bezug genommen wird, ist ein Teil einer anderen Ausführungsform eines Verdichters **120** veranschaulicht, die dem Verdichter **30** der Fig. 3 bis Fig. 5 allgemein ähnlich ist. Wie bereits angedeutet, haben in den offenbarten Ausführungsformen gleiche Elemente durchgehend gleiche Bezugszeichen. Ähnlich der bereits offenbarten Ausführungsform enthält der Verdichter **120** mehrere Laufschaufeln **80**, die in Umfangsrichtung voneinander beabstandet sind und die sich von einer Verdichternabe **84** radial auswärts in Richtung auf ein Verdich-

tergehäuse **82** bis zu einer Laufschaufelspitze **81** erstrecken. Mehrere in Umfangsrichtung voneinander beabstandete Leitschaufeln **86** sind benachbart zu jedem Laufschaufelsatz **80** positioniert und bilden in Kombination eine von mehreren Stufen **88**. Die Leitschaufeln **86** sind sicher mit dem Verdichtergehäuse **82** verbunden und erstrecken sich von dem Verdichtergehäuse **82** radial einwärts in Richtung auf die Verdichternabe **84** zu einer Leitschaufelspitze **87**. Jede der mehreren Stufen **88** leitet einen Strom verdichteter Luft durch den Verdichter **30**.

[0057] In dieser speziellen Ausführungsform enthält der neue Verdichter **120** eine oder mehrere Endwandeinrichtungen **94**, die als mehrere separate Aussparungen **96** ausgestaltet sind, die sich in Umfangsrichtung sowohl um das Gehäuse **82** als auch um die Nabe **84** erstrecken, um für eine Umwälzung dieses Teils **58** der verdichteten Luft **50** nahe den Laufschaufelspitzen **81** und den Leitschaufelspitzen **87** zu sorgen. Insbesondere sind die Aussparungen **96** in dieser speziellen Ausführungsform sowohl in einer Innenfläche **89** der Nabe **85** in dem Nabenbauteil als auch in einer Innenfläche **83** des Gehäuses **82** in dem Gehäusebauteil eingebettet. Es ist zu verstehen, dass eine Ausführungsform vorgesehen ist, die mehrere Aussparungen **96** enthält, die nur in dem Nabenbauteil eingebettet sind.

[0058] Die mehreren Aussparungen **96** sind relativ zu den mehreren Laufschaufeln **80** und spezieller zu den Laufschaufelspitzen **81** und den Leitschaufeln **86** und spezieller zu den Leitschaufelspitzen **87** eingerichtet. Wie bei der vorherigen Ausführungsform ist jede der mehreren Aussparungen **96** von einer Frontwand **102**, einer Rückwand **104** und einer Außenwand **106** zwischen der Frontwand **102** und der Rückwand **104** definiert. Jede der mehreren Aussparungen **96** ist ferner von einer axialen Auskrugung **108**, einer axialen Überlappung **110**, einer radialen Höhe **112**, einem ersten axialen Neigungswinkel α_1 , einem zweiten axialen Neigungswinkel α_2 , einem ersten tangentialen Neigungswinkel und einem zweiten tangentialen Neigungswinkel definiert (wie vorliegend beschrieben).

[0059] In Bezug auf die axiale Aussparung, die nahe den Laufschaufeln **80** eingerichtet ist, erstreckt sich die axiale Auskrugung **108** stromaufwärts der Laufschaufeln **80** und erstreckt sich spezieller mit einer vorderen Schaufelkantenspitze **81** der Laufschaufeln **80** übereinstimmend zu der Frontwand **102**. Die axiale Auskrugung **108** kann zwischen -10% und 60% der axialen Sehne „y“ variieren. Es ist zu verstehen, dass eine axiale Auskrugung **108** von -10% der axialen Sehne „y“ bedeutet, dass sich die Frontwand **102** der Aussparung **96** 10% stromabwärts der vorderen Schaufelkantenspitze **81** befindet. Die axiale Überlappung **110** erstreckt sich von der vorderen Schaufelkantenspitze **81** der Laufschaufeln **80** in eine

stromabwärtige Richtung, wodurch sie im Wesentlichen einen Teil der Laufschaufeln **80** überlappt. Die axiale Überlappung **110** kann zwischen -10% und 100% der axialen Sehne „y“ variieren. Es ist zu verstehen, dass eine axiale Überlappung **110** von -10% der axialen Sehne „y“ bedeutet, dass die Rückwand **104** der Aussparung **96** sich 10% stromaufwärts der vorderen Schaufelkantenspitze **81** befindet.

[0060] In Bezug auf die axiale Aussparung **96**, die nahe der Leitschaufeln **86** eingerichtet ist, erstreckt sich die axiale Auskrugung **108** stromaufwärts der Leitschaufeln **86**, und sie erstreckt sich spezieller mit einer vorderen Schaufelkantenspitze **87** der Leitschaufeln **86** übereinstimmend zu der Frontwand **102**. Die axiale Auskrugung **108** kann zwischen -10% und 60% der axialen Sehne „y“ variieren. Es ist zu verstehen, dass eine axiale Auskrugung **108** von -10% der axialen Sehne „y“ bedeutet, dass sich die Frontwand **102** der Aussparung **96** 10% stromabwärts der hinteren Schaufelkantenspitze **87** befindet. Die axiale Überlappung **110** erstreckt sich von der vorderen Schaufelkantenspitze **87** der Leitschaufeln **86** in eine stromabwärtige Richtung, wodurch sie im Wesentlichen einen Teil der Leitschaufeln **86** überlappt. Die axiale Überlappung **110** kann zwischen -10% und 100% der axialen Sehne „y“ variieren. Es ist zu verstehen, dass eine axiale Überlappung **110** von -10% der axialen Sehne „y“ bedeutet, dass sich die Rückwand **104** der Aussparung **96** 10% stromaufwärts der vorderen Schaufelkantenspitze **87** befindet. In einer Ausführungsform beträgt die radiale Höhe **112** von jeder der mehreren Aussparungen **96** etwa 5 bis 50% der Spanne „x“ der Laufschaufeln **80** und der Leitschaufeln **86**.

[0061] Wie bereits angedeutet und veranschaulicht, sind die Frontwand **102** und die Rückwand **104** jeder der mehreren Aussparungen **96** unabhängig derart ausgelegt, dass sie sich unter einem oder mehreren Winkeln, die hierin als axiale Neigungswinkel α_1 und α_2 bezeichnet werden, in Bezug auf die Längsmittelachse **12** des Gehäuses **82** neigen. In einer Ausführungsform betragen der erste axiale Neigungswinkel α_1 und der zweite axiale Neigungswinkel α_2 zwischen 10 und 170 Grad. In einer Ausführungsform können der erste axiale Neigungswinkel α_1 und der zweite axiale Neigungswinkel α_2 gleich sein. In einer Ausführungsform können der erste axiale Neigungswinkel α_1 und der zweite axiale Neigungswinkel α_2 ungleich sein. In einer Ausführungsform ist der erste axiale Neigungswinkel α_1 zu der einströmenden Hauptströmung **50** ausgerichtet, um den Mischverlust zwischen der einströmenden Strömung **50** und der wiedereingeblasenen Strömung **59** aus jeder der mehreren Aussparungen **96** zu minimieren. Dagegen ist der zweite axiale Neigungswinkel α_2 ausgelegt, um impulsarme Fluide aus der Hauptströmung **50** wirksam zu entziehen.

[0062] Die in den **Fig. 3** bis **Fig. 6** offenbarte Ausführungsform enthält, wie veranschaulicht, eine oder mehr Endwandinrichtungen **94** in Form mehrerer axialer Aussparungen **96**. Wie veranschaulicht, enthält jede der axialen Aussparungen **96** eine geometrische Form, die eine insgesamt Krümmung von der Frontwand **102** zu der Rückwand **104** hat. Die zutreffende Auswahl der Krümmung kann aerodynamische Verluste in den Aussparungen minimieren. Jede der axialen Aussparungen **96** kann zur Bereitstellung einer spezifischen Lösung für jede beliebige Anwendung, die eine Vergrößerung des stabilen Betriebsbereichs wünscht, optimiert werden. Zu einigen der Aspekte, die optimiert werden können, zählen unter anderem: (i) der axiale Neigungswinkel α_1 der Frontwand **102** und der axiale Neigungswinkel α_2 der hinteren Wand **104** der Aussparung **96**; (ii) die tangentialen Neigungswinkel (wie vorliegend beschrieben) der Aussparung **96**; (iii) die radiale Höhe **112** der Aussparung **96**; (iv) eine Länge der axialen Auskrägung **108** und die Länge der axialen Überlappung **110**; (v) ein tangentialer Abstand zwischen den Aussparungen **96** und innerhalb jeder Aussparung **96** (wie vorliegend beschrieben), (vi) eine Anzahl von Aussparungen **96**, die in Umfangsrichtung um die Endwand voneinander beabstandet angeordnet sind (wie vorliegend beschrieben); (viii) ein geometrischer Gesamtquerschnitt jeder Aussparung **96** bei Betrachtung in einer radial-axialen Ebene; und (viii) eine Variation der obigen Parameter in der radialen, axialen und tangentialen Richtung.

[0063] In den **Fig. 7** bis **Fig. 9**, auf die jetzt Bezug genommen wird, sind Abschnitte anderer Ausführungsformen eines Verdichters **130**, der dem Verdichter **30** der **Fig. 3** bis **Fig. 5** im Wesentlichen ähnlich ist, veranschaulicht. Wie bereits angedeutet, haben in den offenbarten Ausführungsformen gleiche Elemente durchgehend gleiche Bezugszeichen. Ähnlich der vorstehend offenbarten Ausführungsform enthält der Verdichter **130** mehrere Laufschaufeln **80**, die in Umfangsrichtung voneinander beabstandet sind und die sich von einer Verdichternabe **84** radial auswärts in Richtung auf ein Verdichtergehäuse **82** zu einer Laufschaufelspitze **81** erstrecken. Mehrere in Umfangsrichtung voneinander beabstandete Leitschaufeln **86** sind benachbart zu jedem Laufschaufelsatz **80** positioniert, mit dem Verdichtergehäuse **82** verbunden und erstrecken sich von dem Verdichtergehäuse **82** radial einwärts in Richtung auf die Verdichternabe **84** zu einer Leitschaufelspitze **87** und bilden in Kombination eine von mehreren Stufen **88**. Die Leitschaufeln **86** sind sicher mit dem Verdichtergehäuse **82** verbunden und erstrecken sich von dem Verdichtergehäuse **82** zu einer Leitschaufelspitze **87** radial einwärts in Richtung auf die Verdichternabe **84**. Der Verdichter **132** ist um eine Längsmittelachse **12** (**Fig. 1**) des Triebwerks **10** (**Fig. 1**) drehbar, wie durch einen Richtungspfeil **133** angedeutet ist.

[0064] In den Ausführungsformen der **Fig. 7** bis **Fig. 9** enthält der neue Verdichter **130** eine oder mehrere Endwandinrichtungen, die als mehrere Aussparungen **132** eingerichtet sind, die sich in Umfangsrichtung um das Gehäuse **82** erstrecken, um für eine Umwälzung dieses Teils **58** der verdichteten Luft **50** nahe den Laufschaufelspitzen **81** zu sorgen. In den veranschaulichten Ausführungsformen sind die mehreren Aussparungen **132** als in dem Gehäusebauteil eingebettet gezeigt. Es ist zu verstehen, dass eine Ausführungsform vorgesehen ist, die mehrere Aussparungen, die nur in dem Nabenbauteil eingebettet sind, oder mehrere Aussparungen, die sowohl in dem Naben- als auch in dem Gehäusebauteil eingebettet sind, enthält.

[0065] Die mehreren Aussparungen **132** sind relativ zu den mehreren Laufschaufeln **80** und spezieller den Laufschaufelspitzen **81** eingerichtet. In einer anderen Ausführungsform können die mehreren Aussparungen **132** in dem Nabenbauteil oder sowohl in dem Nabenbauteil als auch in dem Gehäusebauteil eingebettet sein. Wie bei den vorherigen Ausführungsformen ist jede der mehreren Aussparungen **132** durch eine Frontwand **102**, eine Rückwand **104** und eine Außenwand **106** zwischen der Frontwand **102** und der Rückwand **104** definiert. Jede der mehreren Aussparungen **132** ist ferner durch eine axiale Auskrägung **108**, eine axiale Überlappung **110**, eine radiale Höhe **112**, einen ersten axialen Neigungswinkel α_1 , einen zweiten axialen Neigungswinkel α_2 , einen ersten tangentialen Neigungswinkel β_1 relativ zu einer Umfangsfläche der Verdichterenwand und einen zweiten tangentialen Neigungswinkel β_2 relativ zu einer Umfangsfläche der Verdichterenwand definiert, wie am besten in **Fig. 9** veranschaulicht. Wie bei der vorstehend offenbarten Ausführungsform betragen der erste axiale Neigungswinkel α_1 und der zweite axiale Neigungswinkel α_2 zwischen 10 und 170 Grad. In einer Ausführungsform können der erste axiale Neigungswinkel α_1 und der zweite axiale Neigungswinkel α_2 gleich sein. In einer Ausführungsform können der erste axiale Neigungswinkel α_1 und der zweite axiale Neigungswinkel α_2 ungleich sein. In einer Ausführungsform ist der erste axiale Neigungswinkel α_1 auf die einströmende Hauptströmung **50** ausgerichtet, um den Mischverlust zwischen der einströmenden Strömung **50** und der wiedereingeblassenen Strömung **59** aus jeder der mehreren Aussparungen **96** zu minimieren. Dagegen ist der zweite axiale Neigungswinkel α_2 ausgelegt, um impulsarme Fluide wirksam aus der Hauptströmung **50** zu entziehen.

[0066] In der veranschaulichten Ausführungsform von **Fig. 7** erstreckt sich die axiale Auskrägung **108** stromaufwärts der Laufschaufeln **80** und erstreckt sich spezieller mit einer vorderen Schaufelkantenspitze **81** der Laufschaufeln **80** übereinstimmend zu der Frontwand **102**. Die axiale Auskrägung **108** kann zwischen -10 % und 60 % der axialen Sehne „y“

variieren. Die axiale Überlappung **110** erstreckt sich von der vorderen Schaufelkantenspitze **81** der Laufschaufeln **80** in eine Stromabwärtsrichtung, wodurch sie im Wesentlichen einen Teil der Laufschaufeln **80** überlappt. Die axiale Überlappung **110** kann zwischen -10% und 100% der axialen Sehne „y“ variieren. In einer Ausführungsform beträgt die radiale Höhe **112** jeder der mehreren Aussparungen **86** etwa 5 bis 50% der Spanne „x“ der Laufschaufeln **80**.

[0067] Wie am besten in **Fig. 7** veranschaulicht, erstreckt sich die axiale Auskrugung **108** stromaufwärts der Laufschaufeln **80** und erstreckt sich spezieller mit einer vorderen Schaufelspitze **81** der Laufschaufeln **80** übereinstimmend zu der Frontwand **102**. Die axiale Überlappung **110** erstreckt sich in eine Stromabwärtsrichtung von der vorderen Schaufelspitze **81** der Laufschaufeln **80**, wodurch sie im Wesentlichen einen Teil der Laufschaufeln **80** überlappt.

[0068] Wie am besten in **Fig. 8** veranschaulicht, kann sich die Endwandinrichtung in einer anderen Ausführungsform einer Aussparung **132**, wie an der linken Laufschaufel **80** veranschaulicht, vollständig stromaufwärts der vorderen Schaufelkantenspitze **81** befinden. Spezieller, wenn die Aussparung **132** eine axiale Auskrugung **108**, die sich stromaufwärts der vorderen Schaufelkantenspitze erstreckt, und eine negative Überlappung **110** relativ zur vorderen Schaufelkantenspitze **81** enthält. In diesem Fall hat die Endwandinrichtung und spezieller die Aussparung **132** die Aufgabe, den Teil **58** der Strömung **50** nahe dem Gehäuse **82** zu korrigieren, bevor die Strömung **58** in den Schaufeldurchgang (wie vorliegend beschrieben) eintritt.

[0069] Wie am besten in **Fig. 8** und insbesondere an der Aussparung **132**, die an der rechten Laufschaufel **80** veranschaulicht ist, veranschaulicht ist, kann sich die Endwandinrichtung vollständig stromabwärts der vorderen Schaufelkantenspitze **81** befinden. Spezieller, wenn die Aussparung **132** eine axiale Überlappung **110**, die sich stromabwärts der vorderen Schaufelkantenspitze **81** erstreckt, und eine negative Auskrugung **108** relativ zu der vorderen Schaufelkantenspitze **81** enthält. In diesem Fall hat die Endwandinrichtung und spezieller die Aussparung **96** die Aufgabe, schwache Leckageströme und spezieller einen Teil **58** der Strömung **50** nahe einer Schaufelhinterkante **117** zu entziehen und die Strömung nahe der Schaufelvorderkante **116** zu stärken.

[0070] Indem spezieller auf die **Fig. 9** und **Fig. 10** Bezug genommen wird, ist in radialen Querschnittsansichten ein Schaufeldurchgang **134** veranschaulicht (von denen nur ein einzelner veranschaulicht ist), der zwischen benachbarten Laufschaufeln **80** und spezieller zwischen einer Saugseite **136** einer ersten Laufschaufel **138** und einer Druckseite **140** einer benachbart positionierten zweiten Laufschaufel **142** de-

finiert ist. In einer Ausführungsform beträgt der Abstand der mehreren Aussparungen **132** in Umfangsrichtung um das Gehäuse **82** etwa 0 bis 10 Aussparungen pro Schaufeldurchgang **134**, wie am besten in den **Fig. 9** und **Fig. 10** veranschaulicht, kann aber für jeden Schaufeldurchgang **134** variieren. Es ist auch zu beachten, dass in anderen Ausführungsformen einige Schaufeldurchgänge keine Aussparungen enthalten können, während andere Schaufeldurchgänge Aussparungen enthalten.

[0071] Wie in den **Fig. 9** und **Fig. 10** veranschaulicht, ist jede der mehreren Aussparungen **132** ferner durch eine erste Seitenwand **144** und eine zweite Seitenwand **146** definiert. Im Wesentlichen ähnlich dem ersten axialen Neigungswinkel α_1 und dem zweiten axialen Neigungswinkel α_2 sind die erste Seitenwand **144** und die zweite Seitenwand **146** von jeder der mehreren Aussparungen **132** unter einem Winkel geneigt, um einen ersten tangentialen Neigungswinkel β_1 und einen zweiten tangentialen Neigungswinkel β_2 der Seitenwände **144**, **146** relativ zu einer Umfangsfläche der Verdichterendwand des Gehäuses **82** zu definieren. Es ist zu verstehen, dass ähnliche tangentialen Neigungswinkel die Aussparungen **132** definieren können, wenn sie zu einer Nabe geformt werden (wie vorstehend beschrieben). In einer Ausführungsform liegt jeder von dem ersten tangentialen Neigungswinkel β_1 und dem zweiten tangentialen Neigungswinkel β_2 im Bereich zwischen 10 und 170 Grad relativ zu der Umfangsfläche **83** des Gehäuses **82**. In einer Ausführungsform können der tangentialen Neigungswinkel **148** der ersten Seitenwand **144** und der zweiten Seitenwand **146** gleich sein. In einer Ausführungsform können der erste tangentialen Neigungswinkel β_1 und ein zweiter tangentialer Neigungswinkel β_2 nicht gleich sein und unabhängig voneinander ausgelegt sein. Beim Entwurf der tangentialen Neigungswinkel wird der tangentialen Neigungswinkel β_1 der ersten Seitenwand **144** so bestimmt, dass die Leckageströmungen **74** wirksam entnommen werden. Der tangentialen Neigungswinkel β_2 der zweiten Seitenwand **146** wird bestimmt, um den Mischverlust bei der Hauptströmung **50** zu minimieren. Wie am besten in **Fig. 9** veranschaulicht, enthält jede der axialen Aussparungen **132** eine geometrische Form, die eine insgesamt kurvenförmige Form von der ersten Seite **144** zu der zweiten Seitenwand **146** hat. Eine geeignete Auswahl der Krümmung kann aerodynamische Verluste in den Aussparungen **132** minimieren und spezieller den Energieverlust nahe den Seitenwänden, die unter Winkeln aufeinandertreffen, die in den Aussparungen **132** vorhanden sind, minimieren. In einer anderen Ausführungsform enthält jede der axialen Aussparungen **132** eine geometrische Form, die eine insgesamt lineare Form von der ersten Seite **144** zu der zweiten Seitenwand **146** hat, wie am besten in **Fig. 10** veranschaulicht.

[0072] Die in den **Fig. 7** bis **Fig. 10** offenbarten Ausführungsformen enthalten eine oder mehrere Endwandeinrichtungen in Form der mehreren axialen Aussparungen **132**. In einer Ausführungsform enthält jede der axialen Aussparungen **132** eine geometrische Form, die von der Frontwand **102** zu der Rückwand **104** eine insgesamt lineare Form (**Fig. 7**) und von der ersten Seitenwand **133** zu der zweiten Seitenwand **146** eine insgesamt lineare Form (**Fig. 10**) hat. In einer weiteren Ausführungsform enthält jede der axialen Aussparungen **132** eine geometrische Form, die von der Frontwand **102** zu der Rückwand **104** eine insgesamt lineare Form (**Fig. 7**) und von der ersten Seitenwand **144** zu der zweiten Seitenwand **146** eine allgemein krummlinige Form (**Fig. 9**) hat. In noch einer weiteren Ausführungsform enthält jede der axialen Aussparungen **132** eine geometrische Form, die von der Frontwand **102** zu der Rückwand **104** eine insgesamt krummlinige Form (**Fig. 4** bis **Fig. 6**) und von der ersten Seitenwand **144** zu der zweiten Seitenwand **146** eine insgesamt lineare Form (**Fig. 10**) hat. In noch einer weiteren Ausführungsform enthält jede der axialen Aussparungen **132** eine geometrische Form, die von der Frontwand **102** zur Rückwand **104** eine insgesamt krummlinige Form (**Fig. 4–Fig. 6**) und von der ersten Seitenwand **144** zu der zweiten Seitenwand **146** eine insgesamt krummlinige Form (**Fig. 9**) hat. Zu einigen der Aspekte, die optimiert werden können, zählen unter anderem: (i) der axiale Neigungswinkel α_1 der Frontwand **102** und der axiale Neigungswinkel α_2 der hinteren Wand **104** der Aussparungen **132**; (ii) der tangentielle Neigungswinkel β_1 der ersten Seitenwand **144** und der tangentielle Neigungswinkel β_2 der zweiten Seitenwand **146**; (iii) die radiale Höhe **112** der Aussparungen **132**; (iv) eine Länge der axialen Auskrägung **108** und die Länge der axialen Überlappung **110**; (v) ein tangentialer Abstand zwischen den Aussparungen **132** und innerhalb jeder Aussparung **132** (wie vorliegend beschrieben), (vi) eine Anzahl von Aussparungen **132**, die in Umfangsrichtung um die Endwand voneinander beabstandet sind; (viii) ein insgesamt geometrischer Querschnitt jeder Aussparung, wenn in einer radial-axialen Ebene betrachtet; und (viii) jedwede Variation der obigen Parameter in der radialen, axialen und tangentialen Richtung.

[0073] Erneut Bezug nehmend auf die **Fig. 9** und **Fig. 10** kann ein Anteil der Aussparungsfläche als Nichtmetallfläche **135** der Aussparung relativ zu der Schaufeldurchgangsfläche **134** definiert werden. In einer Ausführungsform beträgt der Anteil der Nichtmetallfläche **135** der Aussparung zwischen 10 % und 90 % der Schaufeldurchgangsfläche **134** und kann in der radialen Richtung variieren. Das heißt, die Umfangsabdeckung jeder Aussparung **132** kann in der radialen Richtung variieren. Durch Variation der Umfangsabdeckung in der radialen Richtung ist es möglich, aerodynamische Verluste innerhalb der Aussparungen **132** zu minimieren.

[0074] In **Fig. 11**, auf die nun Bezug genommen wird, ist in einer beispielhaften graphischen Darstellung, die allgemein mit **150** bezeichnet ist, der Vorteil eines Verdichters, der die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen **94**, wie hierin offenbart, enthält, veranschaulicht, und spezieller bei Anwendung auf einen modernen Axialverdichterroter gemäß einer beispielhaften Ausführungsform. Spezieller veranschaulicht die graphische Darstellung **150** das Verhältnis von gesamtem zu statischem Druck (auf einer Achse **152** gezeichnet) mit dem einlasskorrigierten Fluss (auf einer Achse **154** gezeichnet) eines Verdichters ohne Endwandeinrichtungen und insbesondere Gehäuseeinrichtungen (auf einer Linie **156** gezeichnet), eines Verdichters mit einer ersten Endwandeinrichtung und insbesondere einer ersten Gehäuseeinrichtung (auf einer Linie **158** gezeichnet) gemäß einer hierin beschriebenen Ausführungsform und eines Verdichters mit einer zweiten Endwandeinrichtung und insbesondere einer zweiten Gehäuseeinrichtung (auf einer Linie **160** gezeichnet) gemäß einer hierin beschriebenen Ausführungsform. Wie durch die Linie **158** angezeigt, kann der Rotor **158** verglichen mit einem Verdichter, der keine Endwandeinrichtungen enthält, wie an der Linie **156** gezeichnet, weiterhin einen Druckanstieg bei einem niedrigeren Massendurchsatz bereitstellen. Dieser erweiterte stabile Betriebsbereich ist nur repräsentativ und kann optimiert werden, so dass er für eine gewünschte Anwendung spezifisch ist. Ferner wurden diese Ergebnisse mithilfe einer Simulation der instationären Strömung mit numerischer Strömungsdynamik (CFD) gewonnen. Eine ausführliche Untersuchung der Strömungssimulationsergebnisse bestätigt auch den primären Strömungsmechanismus. Wie bereits erwähnt, hängt der Nutzen der Erweiterung des stabilen Betriebsbereichs und die Auswirkung auf den Rotorwirkungsgrad davon ab, wie die Aussparung relativ zu der Rotorspitze ausgelegt ist.

[0075] Dementsprechend werden, wie hierin offenbart und in den **Fig. 1–Fig. 11** veranschaulicht, verschiedene technologische Vorteile und/oder Verbesserungen gegenüber bestehenden Verdichterendwandeinrichtungen und insbesondere Endwandeinrichtungen bereitgestellt, die für eine Vergrößerung des Strömungsabrissgrenzbereichs ohne den negativen Wirkungsgradverlust in einem Verdichter sorgen. Die vorgeschlagenen axialen Aussparungen, die, wie hierin offenbart, längs des Umfangs um eine Endwand des Verdichters angeordnet sind, haben das Potential, größere Strömungsabrissgrenzbereiche und einen größeren Betriebsbereich des Verdichters bereitzustellen. Die Parameter der axialen Aussparungen können für die Anwendung, in der sie zum Einsatz kommen, optimiert und angepasst werden.

[0076] Die vorgeschlagenen Verdichterendwandeinrichtungen können außerdem auch eine Erhöhung

der Leistung der Gasturbine an Hitzetagen, eine geringere Abhängigkeit von verstellbaren Leitschaufeln während des Anfahrens, eine Steigerung der Leistung des Rotors bei Lebensende-Spaltmaßen und eine geringere Abhängigkeit von transienten Abblasventilen in Flugzeugverdichtern während Eisbildungssituationen ermöglichen.

[0077] Ausführungsbeispiele einer Axialverdichterendwandeinrichtung und eines Verfahrens zur Steuerung einer Leckageströmung an dieser sind oben ausführlich beschrieben. Die Endwandeinrichtungen wurden zwar mit Bezug auf einen Axialverdichter beschrieben, die oben beschriebenen Endwandeinrichtungen können aber in jedem beliebigen Axialströmungssystem verwendet werden, einschließlich in Maschinenvorrichtungen anderer Arten, die einen Verdichter enthalten, und insbesondere jenen, bei denen eine Vergrößerung des Strömungsabrissgrenzbereichs erwünscht ist. Andere Anwendungen werden für Fachleute offensichtlich sein. Dementsprechend sind die Axialverdichterendwandeinrichtung und das Verfahren zur Steuerung einer Leckageströmung, wie hierin offenbart, nicht auf die Verwendung mit der angegebenen Maschinenvorrichtung, die hierin beschrieben ist, beschränkt. Darüber hinaus ist die vorliegende Offenbarung nicht auf die oben ausführlich beschriebenen Ausführungsformen des Axialverdichters beschränkt. Vielmehr können andere Variationen der Axial-, Misch- und Radialverdichter, die Ausführungsformen von Endwandeinrichtungen enthalten, innerhalb des Rahmens und Umfang der Ansprüche genutzt werden.

[0078] Diese schriftliche Beschreibung verwendet Beispiele zum Offenbaren des Offenbarungsgegenstands, einschließlich der besten Art der Ausführung, und auch, um einer Fachperson die Ausübung der Offenbarung zu ermöglichen, einschließlich der Herstellung und Benutzung jedweder Vorrichtungen oder Systeme und der Durchführung eingebundener Verfahren. Der patentfähige Umfang der Erfindung ist von den Ansprüchen definiert und kann weitere Beispiele enthalten, die Fachleuten einfallen werden. Es ist vorgesehen, dass derartige weitere Beispiele in den Umfang der Ansprüche fallen, wenn sie strukturelle Elemente haben, die sich nicht von dem Wortsinn der Ansprüche unterscheiden, oder wenn sie äquivalente strukturelle Elemente mit unwesentlichen Unterschieden von dem Wortsinn der Ansprüche enthalten.

[0079] Obwohl hier gezeigt und beschrieben ist, was gegenwärtig als die bevorzugten Ausführungsformen der Offenbarung betrachtet wird, wird es für Fachleute offensichtlich sein, dass verschiedene Änderungen und Modifikationen daran vorgenommen werden können, ohne von dem Umfang der Offenbarung, der durch die angehängten Ansprüche definiert ist, abzuweichen.

[0080] Ein Axialverdichter für eine Gasturbine enthält eine oder mehrere Endwandeinrichtungen zur Steuerung einer Leckageströmung in dem Verdichter. Die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen haben eine Höhe, die in einer Innenfläche eines Verdichtergehäuses oder einer Verdichternabe ausgebildet und eingerichtet ist, um eine Strömung benachbart zu mehreren Laufschaufelspitzen oder mehreren Leitschaufelspitzen zu einem zylindrischen Strömungsdurchgang stromaufwärts von einer Entnahmestelle der Strömung zurückzuführen. Die Endwandeinrichtungen definieren jeweils eine Frontwand, eine Rückwand, eine Außenwand, die zwischen der Frontwand und der Rückwand verläuft, eine axiale Auskrugung, eine axiale Überlappung, einen axialen Neigungswinkel und einen tangentialen Neigungswinkel. Die axiale Auskrugung verläuft stromaufwärts, um wenigstens über einem von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz und dem wenigstens einem Leitschaufelsatz vorzustehen. Die axiale Überlappung verläuft stromabwärts, um wenigstens einen von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz und dem wenigstens einen Leitschaufelsatz zu überlappen.

Bezugszeichenliste

10	Flugzeugtriebwerkanordnung
12	Mittelachse
13	Radiale Achse
14	Äußeres stationäres ringförmiges Bläsergehäuse
15	Innenwand des Gehäuses
16	Bläseranordnung
17	Außenwand des Gehäuses
18	Zusatzverdichter
19	Zusatzverdichtergehäuse
20	Kerngasturbintriebwerk
21	Niederdruckturbine
22	Schaufelblatt
23	Spanne
24	Bläserlaufschauflern
26	Bläserrotorscheibe
28	Strukturelles Strebenelement
29	Auslassleitschaufeln
30	Hochdruckverdichter
32	Brennkammer
34	Hochdruckturbine
35	Zusatzverdichterlaufschauflern
36	Mehrere Laufschaufeln
37	Zusatzverdichterrotscheibe
38	Verdichterrotscheibe
40	Erste Antriebswelle
41	Zweite Antriebswelle
42	
43	Lager
44	Ansaugseite
45	Bläserrahmen
46	Abgasseite des Kerntriebwerks
47	Hinterer Turbinenrahmen

48	Bläserabgasseite
49	Bläsereinlass
50	Teil der Luftströmung
51	Bläserkanal
52	Teil
53	
54	Wärmetauschervorrichtung
56	Zylindrischer Strömungsdurchgang
58	Teil der Strömung 50
59	Wiedereingeblasene Strömung
60	Verdichter
62	Laufschaufeln
63	Laufschaufelspitze
64	Verdichtergehäuse
66	Verdichterrotscheibe
68	Leitschaufeln
69	Leitschaufelspitze
70	Mehrere Stufen
72	Spalt
73	Spalt
74	
76	Laufschaufelsatz
78	Leitschaufelsatz
80	Laufschaufeln
81	Schaufelspitze
82	Verdichtergehäuse
83	Innenfläche von 82
84	Verdichterrotscheibe
85	Verdichternabe
86	Leitschaufeln
87	Leitschaufelspitze
88	Mehrere Stufen
89	Innenfläche von 85
90	Rotorspalt
92	Statorspalt
94	Eine oder mehrere Endwandeinrichtungen
96	Mehrere axiale Aussparungen
98	Strömungsumwälzung/-rezirkulation
100	Hinteres Segment
102	Frontwand
104	Rückwand
106	Außenwand
108	axiale Auskrugung
110	axiale Überlappung
112	Höhe
113	
114	
115	
116	Laufschaufelvorderkante
117	Laufschaufelhinterkante
118	Hinterekante des Stators
120	Verdichter
122	
124	
126	
128	
130	Verdichter
132	Axiale Aussparungen
133	Richtungspfeil
134	Schaufeldurchgang

135	Nichtmetallfläche
136	Saugseite
138	Erste Schaufel
140	Druckseite
141	
142	Zweite Schaufel
144	Erste Seitenwand
145	
146	Zweite Seitenwand
147	
148	Tangentialer Neigungswinkel

Patentansprüche

1. Verdichter (**30**), der aufweist:
eine Verdichtarendwand (**82**, **85**), die einen im Wesentlichen zylindrischen Strömungsdurchgang (**56**) definiert, wobei die Verdichtarendwand ein Verdichtergehäuse (**82**) und eine Verdichternabe (**85**), die konzentrisch um und koaxial entlang einer Längsmittelachse (**12**) angeordnet sind, aufweist;
wenigstens einen Laufschaufelsatz (**76**), wobei jeder von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz (**76**) mehrere Laufschaufeln (**80**) aufweist, die mit der Verdichternabe (**85**) verbunden sind und sich zwischen der Verdichternabe (**85**) und dem Verdichtergehäuse (**82**) erstrecken und dort einen Schaufeldurchgang (**134**) zwischen all den Laufschaufeln (**80**) definieren, wobei das Verdichtergehäuse (**82**) den wenigstens einen Laufschaufelsatz (**76**) umgibt, um einen Ringspalt (**90**) zwischen dem Verdichtergehäuse (**82**) und mehreren Laufschaufelspitzen (**81**) der mehreren Laufschaufeln (**80**) zu definieren;
wenigstens einen Leitschaufelsatz (**78**), wobei jeder von dem wenigstens einen Leitschaufelsatz (**78**) mehrere Leitschaufeln (**86**) aufweist, die mit dem Verdichtergehäuse (**82**) verbunden sind und sich zwischen dem Verdichtergehäuse (**82**) und der Verdichternabe (**85**) erstrecken und dort einen Schaufeldurchgang (**134**) zwischen all den Leitschaufeln (**86**) definieren, wobei die mehreren Leitschaufeln (**86**) relativ zu der Verdichternabe (**85**) angeordnet sind, um einen Ringspalt (**92**) zwischen der Verdichternabe (**85**) und mehreren Leitschaufelspitzen (**87**) der mehreren Leitschaufeln (**86**) zu definieren; und
eine oder mehrere Endwandeinrichtungen (**94**) mit einer radialen Höhe (**112**), die in einer Innenfläche (**83**, **89**) des Gehäuses (**82**) und/oder der Nabe (**95**) ausgebildet sind, wobei die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen (**94**) eingerichtet sind, um eine zu den mehreren Laufschaufelspitzen (**81**) oder den mehreren Leitschaufelspitzen (**87**) benachbarte Strömung (**58**) zu dem zylindrischen Strömungsdurchgang (**56**) stromaufwärts von einer Entnahmestelle der Strömung (**58**) zurückzuführen, wobei die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen (**94**) jeweils eine Frontwand (**102**), die einen ersten axialen Neigungswinkel α_1 relativ zu der Längsmittelachse (**12**) enthält, eine Rückwand (**104**), die einen zweiten axialen Neigungswinkel α_2 relativ zu der Längsmittelachse

se (12) enthält, eine Außenwand (106), die sich zwischen der Frontwand (102) und der Rückwand (104) erstreckt, eine axiale Auskrugung (108), die sich stromaufwärts erstreckt, um wenigstens über einem von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz (76) und dem wenigstens einen Leitschaufelsatz (78) vorzuzugan, eine axiale Überlappung (110), die sich stromabwärts erstreckt, um wenigstens einen von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz (76) und dem wenigstens einen Leitschaufelsatz (78) zu überlappen, einen ersten tangentialen Neigungswinkel β_1 relativ zu einer Umfangsfläche (83, 89) der Verdichterendwand (82, 85) und einen zweiten tangentialen Neigungswinkel β_2 relativ zu der Umfangsfläche (83, 89) der Verdichterendwand (82, 85) definiert bzw. definieren, wobei entweder der axiale Neigungswinkel α_1 nicht gleich dem axialen Neigungswinkel α_2 ist oder der tangentialen Neigungswinkel β_1 nicht gleich dem tangentialen Neigungswinkel β_2 ist.

2. Verdichter (30) nach Anspruch 1, wobei die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen (94) mehrere separate axiale Aussparungen (96) aufweisen, die längs des Umfangs um die Verdichternabe (85) und/oder das Verdichtergehäuse (82) definiert sind; wobei jeder Schaufeldurchgang (134) vorzugsweise 0 bis 10 separate axiale Aussparungen (96) enthält.

3. Verdichter (30) nach Anspruch 1 or 2, wobei die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen (94) eine radiale Höhe haben, die von 5 bis 50 % einer Spanne der mehreren Laufschaufeln (80) und/oder der mehreren Leitschaufeln (86) reicht.

4. Verdichter (30) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste axiale Neigungswinkel α_1 und der zweite axiale Neigungswinkel α_2 in einem Bereich von 10 bis 170 Grad liegen; und/oder wobei der erste tangentialen Neigungswinkel β_1 und der zweite tangentialen Neigungswinkel β_2 in einem Bereich von 10 bis 170 Grad liegen.

5. Verdichter (30) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste axiale Neigungswinkel α_1 , der zweite axiale Neigungswinkel α_2 , der erste tangentialen Neigungswinkel β_1 und der zweite tangentialen Neigungswinkel β_2 nicht gleich sind.

6. Verdichter (30) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die axiale Auskrugung (108) –10 bis 60 % einer Schaufelsehnenlänge beträgt; wobei die axiale Auskrugung (108) vorzugsweise 0 % einer Schaufelsehnenlänge beträgt.

7. Verdichter (30) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die axiale Überlappung (110) –10 bis 60 % einer Schaufelsehnenlänge beträgt; wobei die axiale Überlappung (110) vorzugsweise 0 % einer Schaufelsehnenlänge beträgt.

8. Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Nichtmetallfläche der Aussparung 10 % bis 90 % einer Fläche des Schaufeldurchgangs (134) beträgt.

9. Axialverdichter (30) für eine Gasturbine, wobei der Axialverdichter aufweist:

eine Verdichterendwand (82, 85), die einen im Wesentlichen zylindrischen Strömungsdurchgang (56) definiert, wobei die Verdichterendwand ein Verdichtergehäuse (82) und eine Verdichternabe (85) aufweist, die konzentrisch um eine und koaxial entlang einer Längsmittelachse (12) angeordnet sind;

einen oder mehrere Laufschaufelsätze (76), wobei jeder von dem einen oder den mehreren Laufschaufelsätzen mehrere Laufschaufeln (80) aufweist, die mit der Verdichternabe (85) verbunden sind und sich zwischen der Verdichternabe und dem Verdichtergehäuse (82) erstrecken und dort einen Schaufeldurchgang (134) zwischen all den mehreren Laufschaufeln (89) definieren, wobei das Verdichtergehäuse (82) den wenigstens einen Laufschaufelsatz (76) umgibt, um einen Ringspalt (90) zwischen dem Verdichtergehäuse (82) und mehreren Laufschaufelspitzen (81) der mehreren Laufschaufeln zu definieren;

einen oder mehr Leitschaufelsätze (78), wobei jeder von dem einen oder den mehreren Leitschaufelsätzen mehrere Leitschaufeln (86) aufweist, die mit dem Verdichtergehäuse (82) verbunden sind und sich zwischen dem Verdichtergehäuse und der Verdichternabe (85) erstrecken und dort einen Schaufeldurchgang (134) zwischen all den mehreren Leitschaufeln (86) definieren, wobei die eine oder die mehreren Leitschaufelsätze (78) relativ zu der Verdichternabe (85) angeordnet sind, um einen Ringspalt (92) zwischen der Verdichternabe (85) und mehreren Leitschaufelspitzen (87) der mehreren Leitschaufeln zu definieren; und

eine oder mehr separate axiale Aussparungen (96), die längs des Umfangs um die Verdichternabe (85) und/oder das Verdichtergehäuse (82) definiert sind, wobei die eine oder die mehreren separaten axialen Aussparungen (96) eingerichtet sind, um eine Leckageluftströmung um die mehreren Leitschaufelspitzen (87) und/oder die mehreren Laufschaufelspitzen (81) zu steuern, wobei die eine oder mehreren separaten axialen Aussparungen jeweils eine Frontwand (102), die einen ersten axialen Neigungswinkel α_1 relativ zu der Längsmittelachse (12) enthält, eine Rückwand (104), die einen zweiten axialen Neigungswinkel α_2 relativ zu der Längsmittelachse (12) enthält, eine Außenwand (106), die sich zwischen der Frontwand und der Rückwand erstreckt, eine axiale Auskrugung (108), die sich stromaufwärts erstreckt, um wenigstens über einem von dem einen oder den mehreren Laufschaufelsätzen (76) und dem einen oder den mehreren Leitschaufelsätzen (78) vorzuzugan, eine axiale Überlappung (110), die sich stromabwärts erstreckt, um wenigstens einen von dem einen oder den mehreren Laufschaufelsätzen und dem ei-

nen oder den mehreren Leitschaufelsätze zu überlappen, einen ersten tangentialen Neigungswinkel β_1 relativ zu einer Umfangsfläche der Verdichterendwand und einen zweiten tangentialen Neigungswinkel β_2 relativ zu der Umfangsfläche (83, 89) der Verdichterendwand (82, 85) definieren und wobei entweder die axiale Überlappung (110) von jeder der einen oder mehreren separaten axialen Aussparungen (96) 0 % eines jeweiligen Schaufelddurchgangs (134) beträgt oder die axiale Auskrugung (108) von jeder der einen oder mehreren separaten axialen Aussparungen (96) 0 % eines jeweiligen Schaufelddurchgangs (134) beträgt.

10. Triebwerk (10), das aufweist:
 eine Bläseranordnung (16);
 ein Kerntriebwerk (20) stromabwärts von der Bläseranordnung (16), wobei das Kerntriebwerk (20) enthält:
 einen Verdichter (30);
 eine Brennkammer (32) und
 eine Turbine (34), wobei der Verdichter (30), die Brennkammer (32) und die Turbine (34) in einer stromabwärtigen axialen Strömungsbeziehung eingerichtet sind, wobei der Verdichter (30) ferner aufweist:
 eine Verdichterendwand (82, 85), die einen im Wesentlichen zylindrischen Strömungsdurchgang (56) definiert, wobei die Verdichterendwand (82, 85) ein Verdichtergehäuse (82) und eine Verdichternabe (85) aufweist, die konzentrisch um eine und koaxial entlang einer Längsmittelachse (12) angeordnet sind; wenigstens einen Laufschaufelsatz (76), wobei jeder von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz (76) mehrere Laufschaufeln (80) aufweist, die mit der Verdichternabe (85) verbunden sind und sich zwischen der Verdichternabe (85) und dem Verdichtergehäuse (82) erstrecken, wobei das Verdichtergehäuse (82) den wenigstens einen Laufschaufelsatz (76) umgibt, um einen Ringspalt (90) zwischen dem Verdichtergehäuse (82) und mehreren Laufschaufelspitzen (81) der mehreren Laufschaufeln (80) zu definieren; wobei jeder von dem wenigstens einen Leitschaufelsatz (78) mehrere Leitschaufeln (86) aufweist, die mit dem Verdichtergehäuse (82) verbunden sind und sich zwischen dem Verdichtergehäuse (82) und der Verdichternabe (85) erstrecken, wobei der wenigstens eine Leitschaufelsatz (78) relativ zu der Verdichternabe (85) angeordnet ist, um einen Ringspalt (92) zwischen der Verdichternabe (85) und mehreren Leitschaufelspitzen (87) der mehreren Leitschaufeln zu definieren; und
 eine oder mehr Endwandeinrichtungen (94) mit einer radialen Höhe (112), die in einer Innenfläche (83, 89) des Verdichtergehäuses (82) und/oder der Verdichternabe (95) ausgebildet sind, wobei die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen (94) eingerichtet sind, um eine zu den mehreren Laufschaufelspitzen (81) benachbarte Strömung (58) zu dem zylindrischen Strömungsdurchgang (56) stromaufwärts

von einer Entnahmestelle der Strömung (58) zurückzuführen, wobei die eine oder mehreren Endwandeinrichtungen (94) jeweils eine Frontwand (102), die einen ersten axialen Neigungswinkel α_1 relativ zu der Längsmittelachse (12) hat, eine Rückwand (104), die einen zweiten axialen Neigungswinkel α_2 relativ zu der Längsmittelachse (12) hat, eine Außenwand (106), die sich zwischen der Frontwand (102) und der Rückwand (104) erstreckt, eine axiale Auskrugung (108), die sich stromaufwärts erstreckt, um wenigstens über einen von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz (76) und dem wenigstens einen Leitschaufelsatz (78) vorzuzugrenzen, eine axiale Überlappung (110), die sich stromabwärts erstreckt, um wenigstens einen von dem wenigstens einen Laufschaufelsatz (76) und dem wenigstens einen Leitschaufelsatz (78) zu überlappen, einen ersten tangentialen Neigungswinkel β_1 relativ zu einer Umfangsfläche (83, 89) der Verdichterendwand (82, 85) und einen zweiten tangentialen Neigungswinkel β_2 relativ zu der Umfangsfläche (83, 89) der Verdichterendwand (82, 85) definiert bzw. definieren, wobei der axiale Neigungswinkel α_1 nicht gleich dem axialen Neigungswinkel α_2 ist und/oder der tangentialen Neigungswinkel β_1 nicht gleich dem tangentialen Neigungswinkel β_2 ist.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

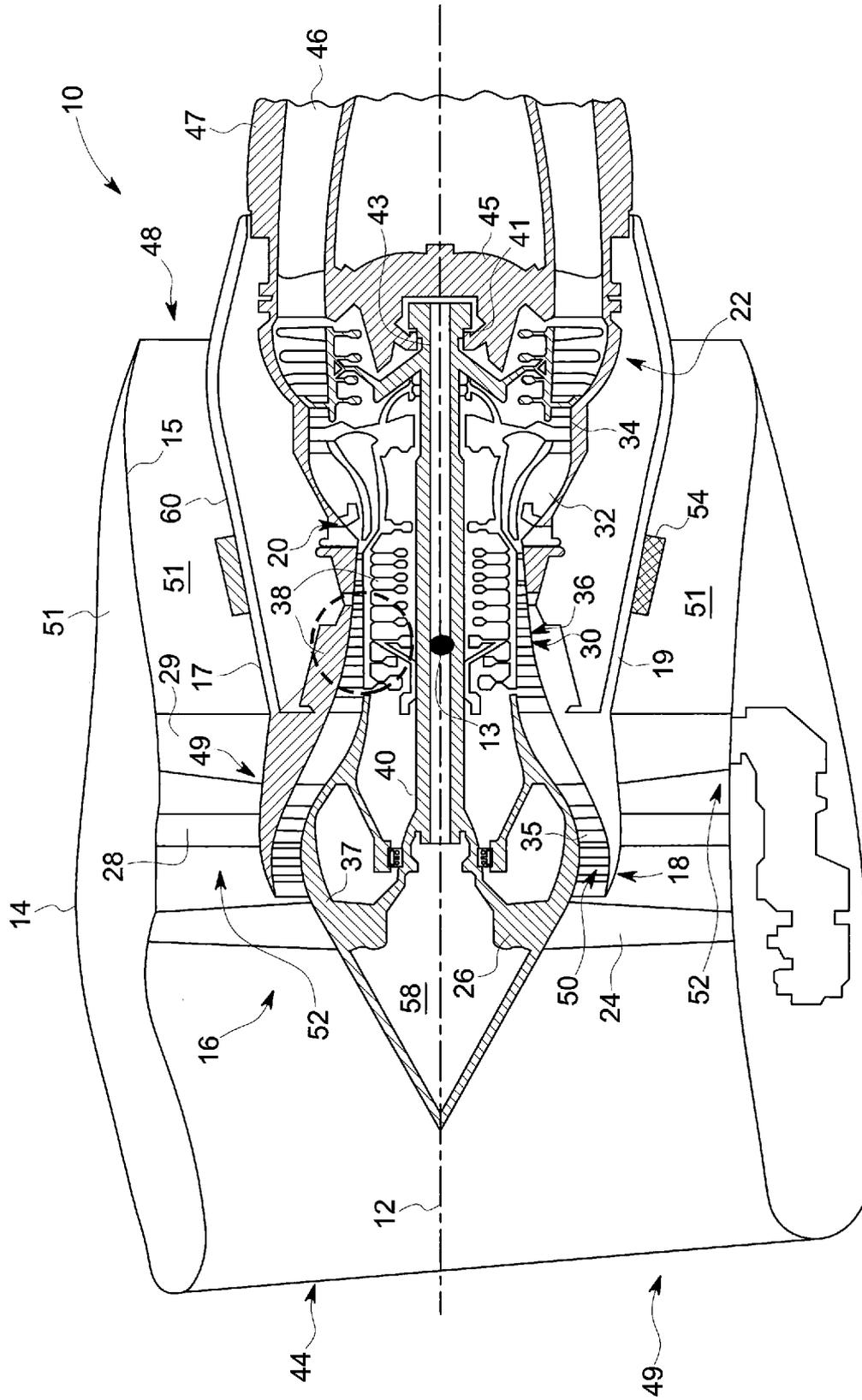


FIG. 1

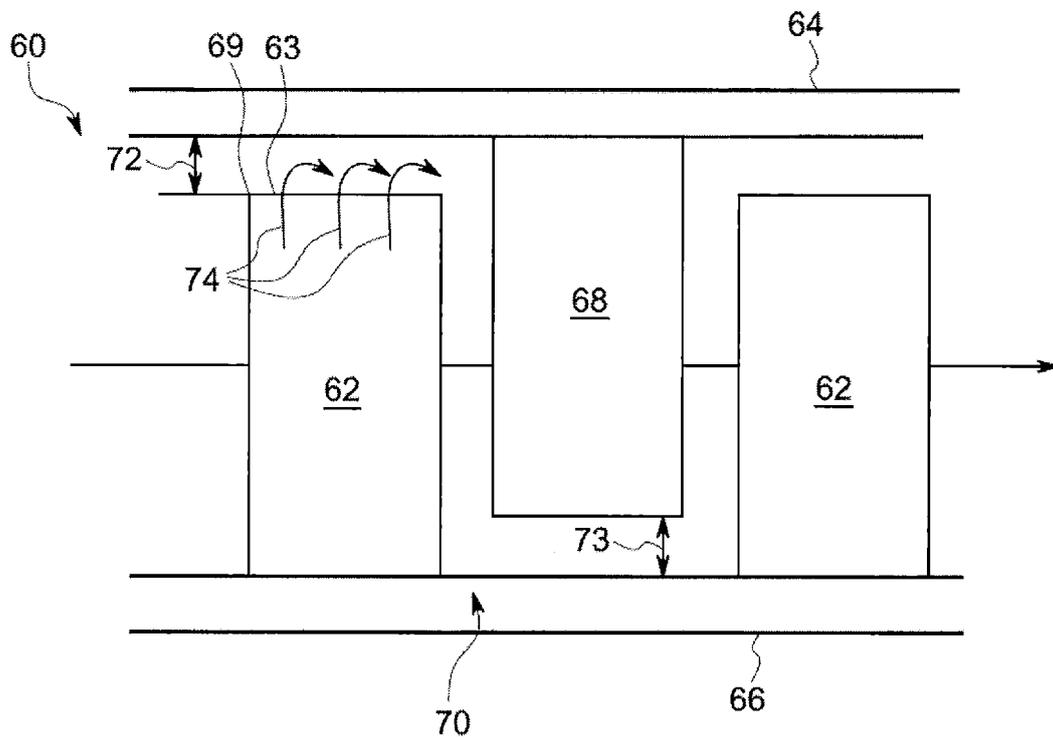
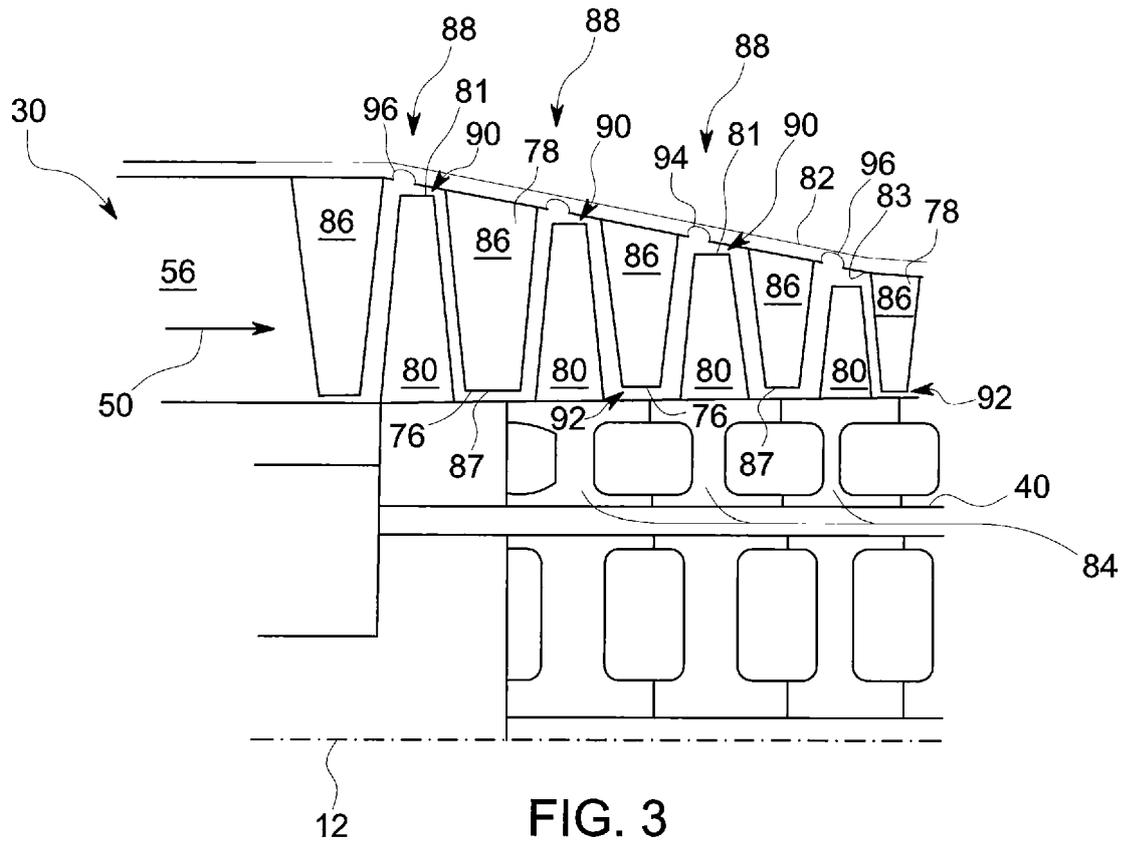


FIG. 2
(STAND DER TECHNIK)



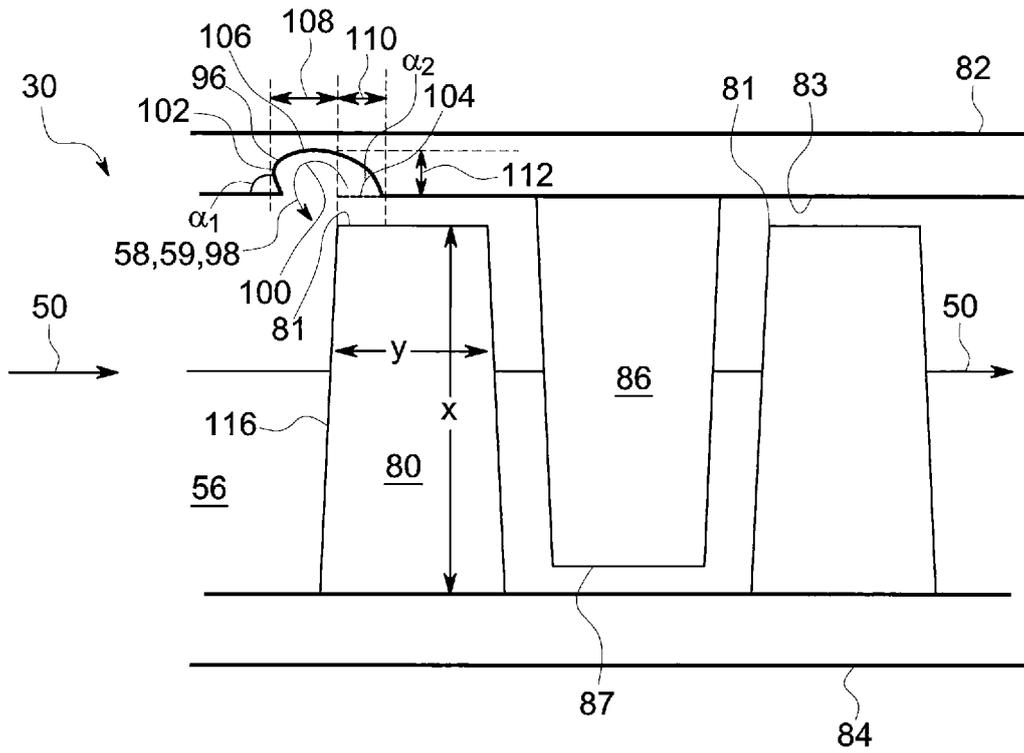


FIG. 4

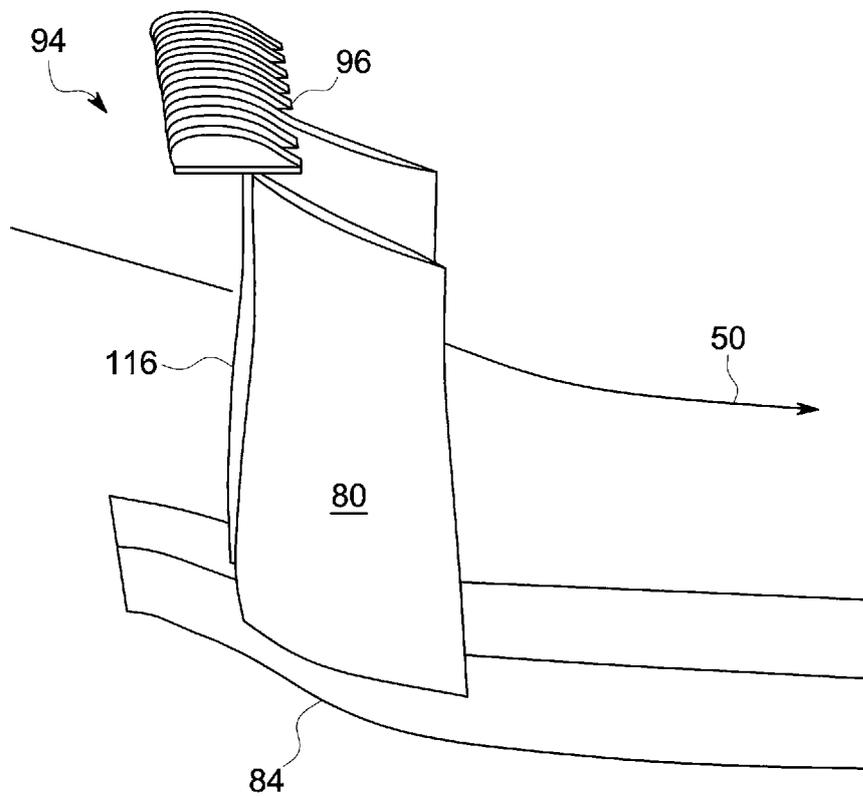


FIG. 5

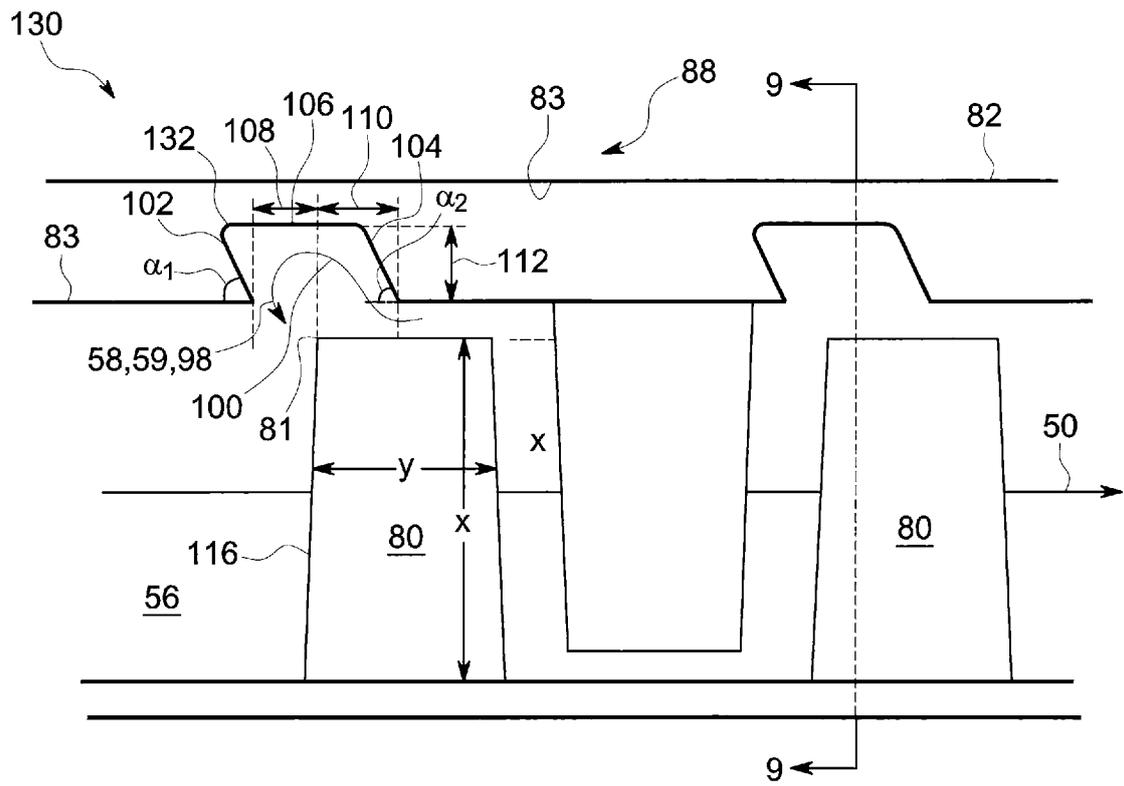


FIG. 7

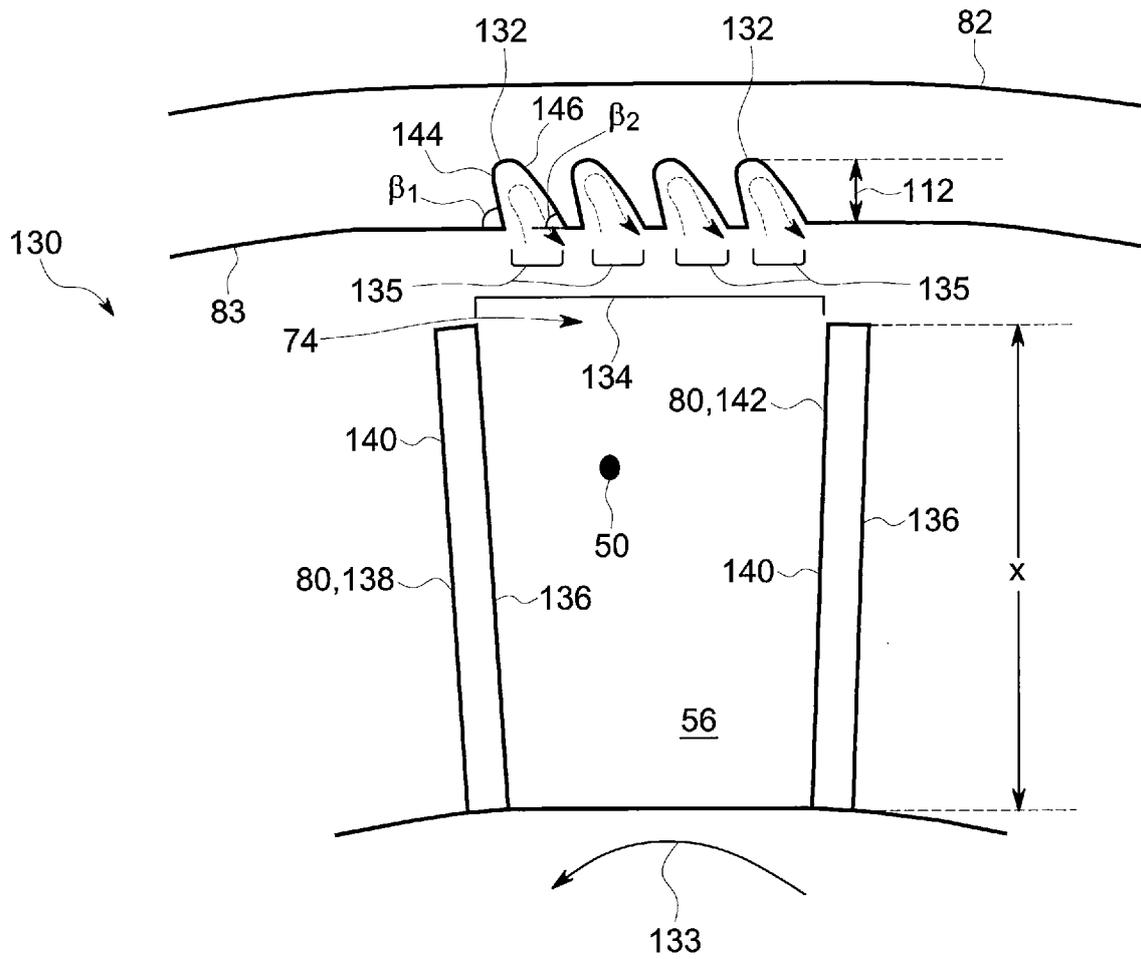


FIG. 9

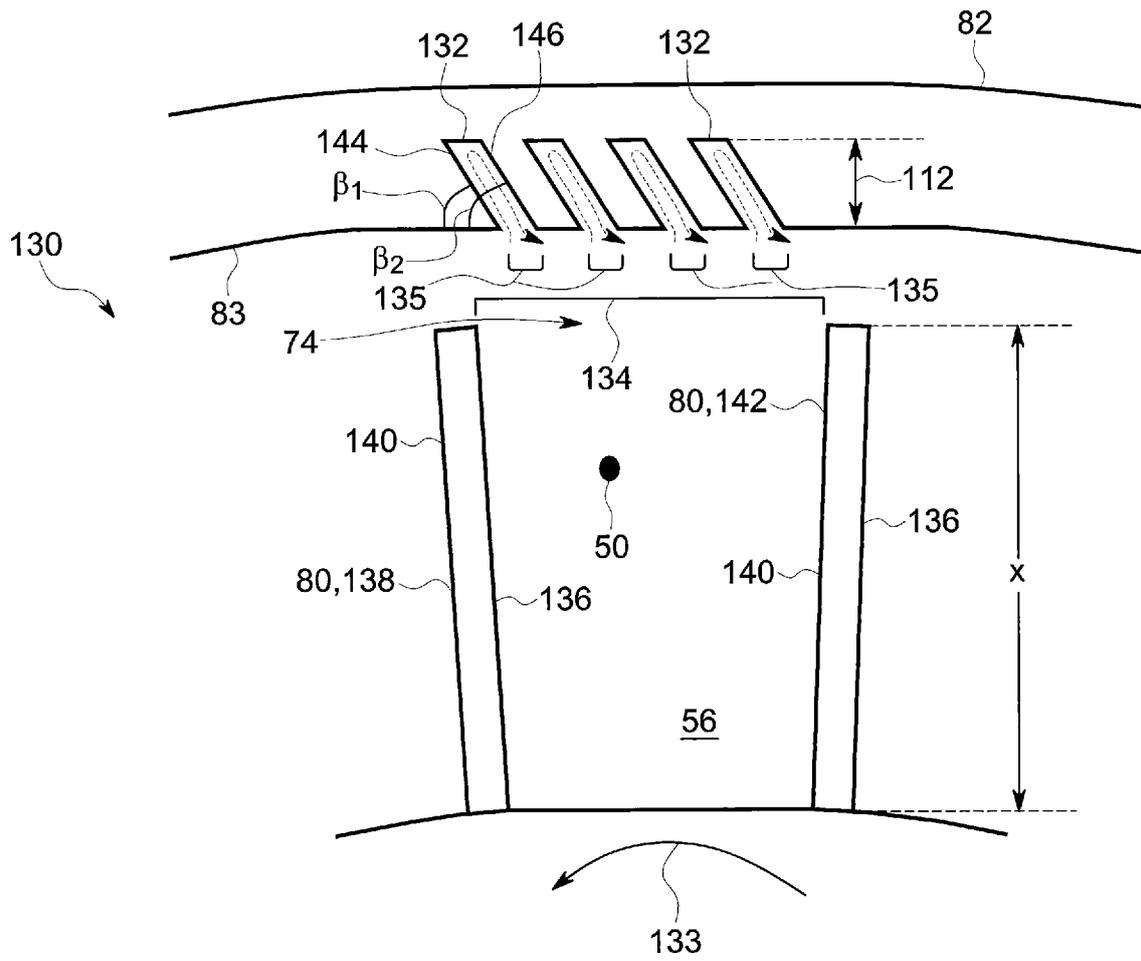


FIG. 10

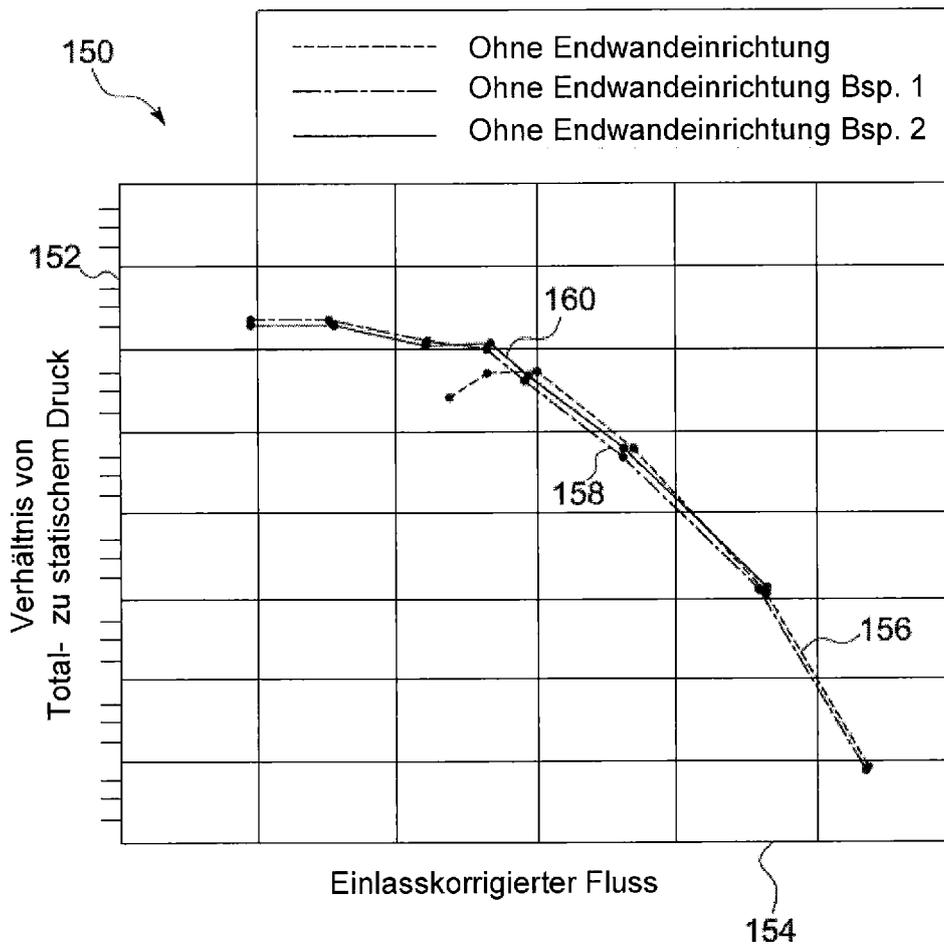


FIG. 11