



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 20 537 T2** 2008.07.31

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 478 857 B1**

(51) Int Cl.⁸: **F04D 29/68** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 20 537.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB03/00371**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 704 838.6**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/072949**

(86) PCT-Anmeldetag: **05.02.2003**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **04.09.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **24.11.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **23.04.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **31.07.2008**

(30) Unionspriorität:

200201688 28.02.2002 ZA

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR

(73) Patentinhaber:

MTU Aero Engines GmbH, 80995 München, DE

(72) Erfinder:

SEITZ, Peter Alexander, 85232 Bergkirchen, DE

(54) Bezeichnung: **KOMPRESSOR MIT SCHAUFELSPITZENEINRICHTUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft Verdichter mit einer Gehäuse-Strukturierungsanordnung zur Abwendung von Strömungsabriss und/oder einer Strukturierungsanordnung zur Abwendung von Strömungsabriss an der Nabe.

[0002] Turboverdichter, die in Flugzeugmotoren, Industriegasturbinen, Gas-Kompressionssystemen und Pumpen verwendet werden, haben jeweils eine aerodynamische Grenze eines stabilen Betriebs. Jenseits dieser Grenze kommt es zu einem Zustand, den man als Rotationsabrissströmung bezeichnet, wobei die glatte Gasströmung durch den Verdichter durch einen rasch rotierenden Ring von Pressgas um die Spitzen von einer oder mehreren Stufen der Verdichterleitelemente gestört wird. Bei einem vollständigen Zusammenbruch der Strömung über alle Stufen des Verdichters, so dass die Strömung an alle Stufen der Leitelemente abreißt, kommt es zu einem Verdichter-Pumpstoß.

[0003] Turboverdichter sind gewöhnlich dazu ausgelegt, dass sie einen Sicherheitsabstand zwischen der Luftströmung und dem Druckverhältnis für Normalbetrieb und der Luftströmung und dem Druckverhältnis haben, bei dem die Strömung abreißt. Man möchte daher die Abrisskennlinie auf ein höheres Druckverhältnis für einen vorgegebenen Motorbetrieb anheben, da dies den Abrissabstand und/oder das Arbeits-Druckverhältnis und somit die Leistung des Verdichters erhöht.

[0004] Signifikante Verbesserungen des Abrissabstands lassen sich erzielen durch Strukturieren des Verdichtergehäuses nahe den Spitzen der Verdichter-Laufschaufeln. Bei herkömmlichen Strukturierungsanordnungen zur Abwendung von Strömungsabriss, die meist Schlitze, Kammern und Furchen im Verdichter-Gehäuse umfassen, gehen die Verbesserungen des Abrissabstands oft mit einem Verlust der Verdichtereffizienz und einer Massenströmung bei hohen Geschwindigkeiten einher.

[0005] Eine bekannte Gehäusestrukturierung ist in einer Veröffentlichung von "The School of Mechanical Engineering", Cranfield Institute of Technology in Great Britain mit dem Titel "Application of Recess Vaned Casing Treatment to Axial Flow Compressors", Februar 1998, A. R. Aziman et al., in einer ASME-Veröffentlichung in The Journal of Fluid Engineering, Bd 109, Mai 1987 mit dem Titel "Improvement of Unstable Characteristics of an Axial Flow Fan by Air Separator Equipment", Y. Mijake et al., und in US-Patent 3 189 260 offenbart. Diese Veröffentlichungen offenbaren einen Mechanismus, der eine Kammer zum Sammeln von Rotationsabrisszellen in einem Betrieb

nach dem Abriss enthält. Da sich der Rotationsabriss über eine signifikante Strecke hinter die Laufschaufeln erstreckt, muss die Kammer relativ groß sein, damit sie effizient ist. Diese Art von Gehäusestrukturierung eignet sich zwar für Niedertouren-Anwendungen, wie beispielsweise Industrie-Turbinen und Verdichter, sie eignet sich jedoch nicht für Flugzeuganwendungen, bei denen Gewichts- und Raum-Einschränkungen keine relativ große Kammer im Außengehäuse am Einlass des Motors oder vor einem Verdichter gestatten.

[0006] Eine weitere Gehäusestrukturierung ist in US-Patent 5 762 470 offenbart. Dieses Patent beschreibt eine ringförmige Kammer im Gehäuse nahe den Spitzen der Laufschaufeln, die mit dem Hauptströmungsweg in dem Verdichter über eine Reihe ringsum voneinander beabstandeter Schlitze kommunizieren. Bei Gebrauch bewirken Druckdifferenzen zwischen dem Hauptströmungsweg und der ringförmigen Kammer, dass Luft durch die um die Laufschaufeln angeordneten Schlitze in die ringförmige Kammer und zurück in den Strömungsweg hinter den Laufschaufeln strömt. Ein Nachteil, der mit diesem bestimmten Typ der Gehäusestrukturierung einhergeht, ist, dass man eine spezielle Beschichtung auf den Rippen zwischen den Schlitzen benötigt, damit diese Rippen vor Beschädigung während des Schaufelkontakts bewahrt werden. Da die Rippen und Schlitze für eine angemessene Beschichtungshaftung oft zu schmal sind, neigt die Beschichtung jedoch dazu, während des Verdichterbetriebs abzufallen. Wird dagegen keine Beschichtung aufgebracht, muss man die Spitzenlücke signifikant vergrößern, damit der Spitzenabrieb während des Betriebs verhindert wird, und dies beeinträchtigt die Effizienz des Verdichters. Ein weiterer Nachteil, der mit dieser Art Gehäusestrukturierung einhergeht, ist, dass für einen effizienten Betrieb eine relativ große ringförmige Kammer im Außengehäuse vorhanden sein muss. Wie bereits erwähnt ist dies für bestimmte Anwendungen problematisch, wie für Flugzeugmotor-Verdichter. Zudem sind die relativ dünnen Rippen zwischen den Schlitzen empfindlich gegenüber Resonanz, die durch die Wechselwirkung der Laufschaufeln mit den Rippen verursacht wird, und folglich ist die Anwendung dieser Strukturierung eingeschränkt.

[0007] Das US-Patent 5 282 718 offenbart einen Verdichter mit einem Gehäuse, das einen in der Regel zylindrischen Strömungsweg umgrenzt, einen Rotor, der mindestens einen Satz Laufschaufeln trägt, mindestens einen Satz Statorschaufeln und eine Gehäusestrukturierung, einschließlich einer ringförmigen Kammer (Hohlraum) und einer Anzahl gekrümmter Leitelemente. Die Gehäusestrukturierung ist in der Form eines ringförmigen Einlasses ausgebildet, der sich nächst den hinteren Rändern der Verdichter-Laufschaufeln befindet und zu einer Anzahl von gekrümmten Leitelementen führt, die

ringsum voneinander beabstandet sind, in einem ringförmigen Hohlraum, und ein ringförmiger Auslass führt zurück zu dem Hauptströmungsweg in einer Region nächst den vorderen Rändern der Laufschaufeln. In diesem Design wird die Strömung, die sich am Rand der Trennung von den Schaufelspitzen befindet, über den Einlass in den ringförmigen Hohlraum gesaugt und gelangt stromaufwärts durch die Leitelemente primär mittels axialem Druckgradient über den ringförmigen Hohlraum. Die Leitelemente befinden sich zwischen dem Verdichtergehäuse und einem ringförmigen Bauteil, wobei letzteres die zurück geführte Strömung von der Hauptströmung in dem Bereich der Laufschaufeln und der Leitschaufel trennt.

[0008] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung eines Verdichters mit einer alternativen Strukturierung zur Abwendung von Strömungsabriss, die kompakt ist, relativ billig in der Herstellung ist, und die den Betriebsbereich des Verdichters verbessert, ohne dass die Effizienz des Verdichters beeinträchtigt wird.

[0009] Für die Zwecke dieser Patentbeschreibung betrifft der Begriff "axial" eine Richtung parallel zur Längsachse des Verdichtergehäuses, der Begriff "Querschnitt-" betrifft eine Richtung senkrecht zur Längsachse des Verdichtergehäuses, und der Begriff "radial" betrifft eine Richtung, die radial von oder zur Längsachse des Verdichtergehäuses verläuft.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0010] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird ein Verdichter bereitgestellt, umfassend: ein Gehäuse, das einen in der Regel zylindrischen Strömungsweg umgrenzt; einen Rotor, der mindestens einen Satz Laufschaufeln trägt; mindestens einen Satz Statorschaufeln; und eine Gehäusestrukturierung mit einem Rezirkulationsweg in dem Gehäuse, so dass bei Gebrauch eine Niederimpulsströmung nahe den Spitzen der Laufschaufeln beseitigt wird, und die Strömung zu dem in der Regel zylindrischen Strömungsweg stromaufwärts des Punktes der Beseitigung zurückgeführt wird, und einer Anzahl gekrümmter Leitelemente, die sich in dem Rezirkulationsweg befinden, wobei der Rezirkulationsweg als radial nach innen offene ringförmige Kammer ausgebildet ist und die gekrümmten Leitelemente in der ringförmigen Kammer einen ringförmigen Einlass stromabwärts der Leitelemente und/oder einen ringförmigen Auslass stromaufwärts der Leitelemente umgrenzen, wobei die Leitelemente jeweils von dem Gehäuse zu einem freien Ende radial nach innen abstehen, das sich bei oder nahe der einwärts gerichteten Mündung der ringförmigen Kammer befindet, so dass eine Reihe von radial nach innen offenen gekrümmten Kanälen in der Kammer nahe dem ringförmigen Einlass und/oder dem ring-

förmigen Auslass umgrenzt ist.

[0011] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Verdichter bereitgestellt, umfassend: ein Gehäuse, das einen in der Regel zylindrischen Strömungsweg umgrenzt; einen Rotor, der mindestens einen Satz Laufschaufeln trägt; mindestens einen Satz Statorschaufeln; und eine Nabenstrukturierung mit einem Rezirkulationsweg in der Nabe des Rotors nahe den Statorschaufeln und einer Anzahl gekrümmter Leitelemente, die sich in dem Rezirkulationsweg befinden, wobei der Rezirkulationsweg als radial nach innen offene ringförmige Kammer ausgebildet ist und die gekrümmten Leitelemente in der ringförmigen Kammer einen ringförmigen Einlass stromabwärts der Leitelemente und/oder einen ringförmigen Auslass stromaufwärts der Leitelemente umgrenzen, wobei die Leitelemente jeweils von der Rotornabe zu einem freien Ende radial nach außen abstehen, das sich bei oder nahe der auswärts gerichteten Mündung der ringförmigen Kammer befindet, so dass eine Reihe von radial nach außen offenen gekrümmten Kanälen in der Kammer nahe dem ringförmigen Einlass und/oder dem ringförmigen Auslass umgrenzt ist.

[0012] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind eine Rückwand und die Vorderwand dieser Kammer in einem Winkel, in der Regel zwischen 30 und 90°, zur Längsachse des Gehäuses geneigt.

[0013] Die Neigung der Rückwand zur Gehäuse-Längsachse kann sich von der Neigung der Vorderwand unterscheiden.

[0014] Die Leitelemente sind vorzugsweise in Radialrichtung in einem Winkel zwischen 10° und 90° geneigt. In diesem Fall kann die Neigung der Leitelemente zur Radialrichtung entlang der Höhe und/oder der Länge dieser Leitelemente variieren.

[0015] Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist das Verhältnis zwischen der Radialprojektionshöhe der Leitschaufel, d. h. der Höhe der Leitelemente in Radialrichtung, und der Radialtiefe der ringförmigen Kammer kleiner als 1,0. Mit anderen Worten enden die freien Enden der Leitelemente unmittelbar am Gehäuse nahe der ringförmigen Kammer, so dass sie sich außerhalb des Gehäuseströmungswegs befinden.

[0016] Das Verhältnis zwischen der Radialprojektionshöhe der Leitschaufel und der Radialtiefe kann entlang der Axiallänge der Leitelemente variieren.

[0017] Die Porosität der ringförmigen Kammer, d. h. das Verhältnis zwischen dem Volumen der Leitelemente und dem Gesamtvolumen der Kammer ist im

Idealfall größer als 0,5.

[0018] Das Verhältnis zwischen der Querschnittsbreite des Kanals zwischen benachbarten Leitelemente und der Umfangsteilung der Leitelemente ist gewöhnlich zwischen 0,3 und 1,0, und kann entlang der Radialprojektionshöhe und/oder der Axiallänge der Leitelemente variieren.

[0019] Bei einer Anordnung ist das Verhältnis zwischen der Radialprojektionshöhe der Leitelemente und der Gesamtaxialbreite der ringförmigen Kammer zwischen 0,2 und 1,0.

[0020] Der Axialmittelpunkt der ringförmigen Kammer liegt vorzugsweise stromaufwärts des axialen Blattiefenmittelpunktes der Laufschaufel im Schaufelspitzenbereich.

[0021] Das Verhältnis zwischen der Achsbreite der ringförmigen Kammer und der axialen Flügeltiefe der Laufschaufel ist im Idealfall zwischen 0,4 und 1,0.

[0022] Der Verdichter kann ein Gehäuse aufweisen, das einen Gehäuseeinsatz umfasst, der sich an das Verdichtergehäuse nächst den Laufschaufeln anschließen lässt und die Gehäusestrukturierung umgrenzt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0023] Die Erfindung wird nun lediglich beispielhaft anhand der beigefügten Zeichnungen genauer beschrieben. Es zeigt:

[0024] [Fig. 1](#) einen axialen Querschnitt eines Teils eines erfindungsgemäßen Turboverdichters;

[0025] [Fig. 2](#) einen Querschnitt entlang der Linie 2-2 in [Fig. 1](#);

[0026] [Fig. 3](#) einen Querschnitt entlang der Linie 3-3 in [Fig. 1](#);

[0027] [Fig. 4](#) eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Massenströmung auf der einen Seite und der Effizienz und dem Druckverhältnis auf der anderen Seite eines Verdichters, einschließlich einer erfindungsgemäßen Gehäusestrukturierung, im Gegensatz zu einem Verdichter ohne Gehäusestrukturierung;

[0028] [Fig. 5](#) einen Achsquerschnitt eines Teils eines Turboverdichters gemäß einer anderen erfindungsgemäßen Ausführungsform;

[0029] [Fig. 6](#) einen Querschnitt entlang der Linie 6-6 in [Fig. 5](#);

[0030] [Fig. 7](#) einen Achsquerschnitt eines Teils ei-

nes Turboverdichters gemäß einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform; und

[0031] [Fig. 8](#) einen Querschnitt entlang der Linie 8-8 in der [Fig. 7](#).

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0032] Die [Fig. 1](#) der Zeichnungen veranschaulicht einen Teil eines Gehäuses **10** eines mehrstufigen Axialströmungs-Turboverdichters, und ein Leitelement einer Reihe von Laufschaufeln **12** auf einer Rotorwelle (nicht gezeigt), die zentral durch das Gehäuse verläuft. Eine Reihe von Statorschaufeln **14** und **16** ist jeweils am Gehäuse stromaufwärts und stromabwärts der Laufschaufeln befestigt, wie gezeigt. Zur Verzögerung des Beginns der Strömungsabriss-Bedingungen an den Spitzen der Laufschaufeln umfasst das Gehäuse **10** eine Gehäusestrukturierungsanordnung zum Abwenden von Strömungsabriss, welche in der Regel mit der Bezugszahl **18** bezeichnet wird.

[0033] In dieser Ausführungsform der Erfindung umfasst die Anordnung **18** eine ringförmige Kammer **20** in dem Gehäuse **10** und eine Anzahl voneinander beabstandeter Leitelemente **22** in der Kammer. In Bezug auf die [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) der beigefügten Zeichnungen wird die Kammer gebildet von einer Rückwand **26**, einer Vorderwand **28**, die zusammen mit der Rückwand eine Mündung **30** umgrenzen, die in die Kammer **20** führt, und einer Außenwand **32** zwischen der Rückwand und der Vorderwand. Die Leitelemente **22** sind jeweils gekrümmt (siehe [Fig. 2](#)) und befinden sich in der Kammer **20**, so dass sie einen ringförmigen Einlass **34** und einen ringförmigen Auslass **36** stromaufwärts der Kammer **20** umgrenzen. Die Leitelemente **22** ragen in der [Fig. 1](#) von der Außenwand **32** zu den freien Enden **38** an der Mündung der Kammer **20** radial nach innen, so dass eine Anzahl gekrümmter Kanäle in der ringförmigen Kammer gebildet wird. Der Einlass **34**, der Auslass **36** und die gekrümmten Kanäle **40** kommunizieren jeweils mit einem in der Regel zylindrischen Strömungsweg **42**, der vom Gehäuse **10** umgrenzt wird, wie es am deutlichsten in der [Fig. 2](#) der Zeichnungen gezeigt ist.

[0034] In der veranschaulichten Ausführungsform sind die Rückwand **26** und die Vorderwand **28** in einem Winkel I zur Längsachse von Gehäuse **10** geneigt, wobei I in der Regel zwischen 30° und 90° liegt. Die Leitelemente **22** sind ebenfalls zur Gehäuse-Längsachse geneigt, wie in der [Fig. 1](#) gezeigt, und sind in Radialrichtung geneigt, wie in der [Fig. 3](#) veranschaulicht. Der Neigungswinkel S der Leitelemente **22** zur Radialrichtung, der entlang der Höhe und der gekrümmten Länge der Leitelemente **22** variieren kann, liegt zwischen 10° und 90°.

[0035] Zur Optimierung der Wirksamkeit der erfindungsgemäßen Gehäusestrukturierung liegt das Verhältnis zwischen der Querschnittsbreite des Kanals zwischen benachbarten Leitelementen und der Umfangsteilung der Leitelemente zwischen 0,3 und 1,0; das Verhältnis zwischen Schaufel-Radialprojektionshöhe H und der Gesamtaxialbreite L der ringförmigen Kammer liegt zwischen 0,2 und 1,0; das Verhältnis zwischen der Axialbreite der ringförmigen Kammer und der axialen Flügeltiefe der Laufschaufel liegt zwischen 0,4 und 1,0, und der Drehwinkel TA der Leitelemente **22**, der entlang der Höhe H der Leitelemente variieren kann, liegt zwischen 15° und 175°.

[0036] In der Praxis wird eine Niederimpulsströmung nahe dem Gehäuse **10**, die im Verdichter schließlich abreißen kann, über den Einlass **34** in die Kammer **20** gezogen, entlang der gekrümmten Kanäle **40** geführt, wo die Verwirbelung in der Strömung reduziert wird, und erneut in die Hauptströmung mit einer höheren Geschwindigkeit über den Auslass **36** eingeleitet, während eine starke Axialströmung in dem Weg **42** als Hauptströmung erhalten wird.

[0037] In der in den [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#) veranschaulichten Ausführungsform ist die Gehäusestrukturierung so ausgelegt, dass die Niederimpulsströmung, die in die Kammer **34** eintritt, an ihrem Minimum ist, wenn der Verdichter an seinem Design-Punkt arbeitet. An dem aerodynamischen Planungs-Punkt des Verdichters ist die Massenströmung, die in die Kammer **34** eintritt, in der Regel von der gleichen Größenordnung, wie die Strömung, die über die Laufschaufelspitzen in einem Verdichter ohne Gehäusestrukturierungsanordnung austritt. Erreicht der Verdichter jedoch seinen maximalen Druckanstieg, d. h. den Strömungsabrisspunkt des Verdichters, und bricht die Hauptströmung A in der Außenregion der Laufschaufeln nahe der Innenwand **44** des Gehäuses **10** zusammen, tritt die Strömung, die sich von der Hauptströmung abtrennt, in die ringförmige Kammer **20** über den Einlass **34** ein und wird zur Hauptströmung bei einer höheren Geschwindigkeit über den Auslass **36** zurück geführt. An dieser Stelle ist die Strömung durch die Kammer **20** auf einem Maximum und dient der Stabilisierung des Verdichters, so dass er bei einem höheren Druckanstieg arbeiten kann.

[0038] Wenn der Verdichter bei einer Drehgeschwindigkeit von mehr als der Planungsgeschwindigkeit arbeitet, tritt die Strömung **20** über den Auslass **36** ein und über den Einlass **34** aus, so dass der Drossel-Abstand des Verdichters erhöht wird. Arbeitet umgekehrt der Verdichter bei einer Drehgeschwindigkeit unter der Planungsgeschwindigkeit, ähnelt die Strömung durch die Kammer **20** derjenigen des Verdichters, wenn dieser zum Betrieb an seinem Abrisspunkt gedrosselt wird, so dass unter dieser Bedingung die Massenströmung, die in den Einlass **34** von der Laufschaufelspitze eintritt, verstärkt wird.

[0039] Die erfindungsgemäße Gehäusestrukturierung verstärkt folglich den Rezirkularisierungseffekt bei niedrigen Geschwindigkeiten und bei Planungsgeschwindigkeiten nahe dem Abrisspunkt, am Verdichter-Planungspunkt, d. h. bei Maximaleffizienz, minimiert die Gehäusestrukturierung den Rezirkularisierungseffekt, so dass Effizienzverluste minimiert werden.

[0040] Die [Fig. 4](#) veranschaulicht die Wirkungen der erfindungsgemäßen Gehäusestrukturierungsanordnung auf die Verdichterleistung und zeigt die Verbesserungen, die in generischen Verdichter-Eigenschaften mit der Verdichtergehäusestrukturierungsanordnung **18** erzielt werden können.

[0041] Zwei weitere Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Gehäusestrukturierung sind in den [Fig. 5](#) bis [Fig. 8](#) der beigefügten Zeichnungen veranschaulicht. In der Ausführungsform der [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) umfasst eine Gehäusestrukturierungsanordnung **118** zur Abwendung von Strömungsabriss eine ringförmige Kammer **120** in dem Gehäuse **110** und eine Anzahl von voneinander beabstandeten Leitelemente **122** in der Kammer. Die Leitelemente **122** sind jeweils gekrümmt (siehe [Fig. 6](#)) und befinden sich in der Kammer **120**, so dass ein ringförmiger Einlass **134** und eine Anzahl Auslässe **136** stromaufwärts der Kammer **134** zwischen den benachbarten Leitelementen **122** umgrenzt wird. Wie im Fall der vorhergehenden Ausführungsform ragen die Leitelemente **122** von einer Außenwand **132** zu freien Enden **138** an der Mündung der Kammer **120** nach innen, so dass eine Anzahl gekrümmter Kanäle **140** in der Kammer erhalten wird. Der Einlass **134**, die Auslässe **136** und die gekrümmten Kanäle **140** kommunizieren jeweils mit einem in der Regel zylindrischen Strömungsweg **142**, der durch das Gehäuse **10** umgrenzt wird.

[0042] In dieser erfindungsgemäßen Ausführungsform enden die freien Enden **138** der Leitelemente **122** unmittelbar vor dem Gehäuse **110** nächst der ringförmigen Kammer **120**, wie am deutlichsten gezeigt in der [Fig. 5](#). Auf diese Weise sind die freien Enden **138** leicht zum Gehäuse **110** vertieft, und liegen somit außerhalb des Strömungswegs **142**, der durch das Gehäuse umgrenzt wird. Dies ist in bestimmten Anwendungen vorteilhaft, beispielsweise wo relativ harte Materialien verwendet werden, da dies einen Schaufelabrieb von transienten Laufschaufelbewegungen verhindert, wodurch keine speziellen Weichbeschichtungen auf den Leitelementen **122** aufgebracht werden müssen, welche relativ teuer, schwierig aufzubringen und sehr wartungsintensiv sind.

[0043] Die Ausführungsform der [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) unterscheidet sich von der Ausführungsform der [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) insofern, als die Gehäusestrukturierungsanordnung **218** zur Abwendung von Strö-

mungsabriss umfasst eine ringförmige Kammer **220** in dem Gehäuse **210** und eine Anzahl gekrümmter voneinander beabstandeter Leitelemente **222** in der Kammer **220**, die eine Anzahl von Einlässen **234** zwischen den Leitelementen **222** umgrenzt, und einen ringförmigen Auslass **236** stromaufwärts der Einlässe **234**. Im Gegensatz zu der Ausführungsform der [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) sind ebenfalls die freien Enden der Leitelemente **222** zum Gehäuse **210** nächst der ringförmigen Kammer **220** nicht vertieft.

[0044] In einer nicht-veranschaulichten Ausführungsform der Erfindung umfasst die Nabe des Rotors eine Anordnung ähnlich der anhand der [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) der beigefügten Zeichnungen oben beschriebenen Ausführungsform, nächst den Statorschaufeln.

[0045] Die Gehäusestrukturierungsanordnungen **18**, **118**, **218** sind zwar als integrierte Teile der Gehäuse **10**, **110** und **210** beschrieben, es wird jedoch erwogen, dass die Gehäusestrukturierung in einem ringförmigen Einlass ausgebildet werden kann, und die an zwei Gehäuselängen befestigt werden kann, damit sie zwischen den beiden Gehäuselängen nächst den Laufschaufeln des Verdichters sandwichartig gepackt werden kann. Die Erfindung wurde zwar auch anhand von Verdichtern beschrieben, die stromaufwärts gelegene Statorschaufeln umfassen, jedoch versteht es sich, dass die Gehäusestrukturierung ebenfalls bei Kompressoren angewendet werden kann, die diese Statorschaufeln nicht enthalten.

[0046] Ein Vorteil der erfindungsgemäßen Gehäusestrukturierung ist die Verbesserung des Betriebsbereichs des Verdichters ohne signifikante Verluste der Verdichtereffizienz. Da zudem die erfindungsgemäße Gehäusestrukturierung effizient den Abrissabstand erhöht, während die Effizienz erhalten bleibt ist sie nicht empfindlich gegenüber Oberflächenrauheit und geometrische Toleranzen, und stellt folglich einen relativ billigen Ersatz für Vorrichtungen zum Abwenden von Strömungsabriss bereit, die derzeit in Kompressoren verwendet werden, wie variable Statorschaufeln, und die dazu gehörigen Aktuatoren und Steueralgorithmen. Da die Leitelemente zudem in der Gehäusestrukturierung vertieft sein können, damit ein Schaufelabrieb umgangen wird, bedarf es keiner speziellen Beschichtungen, die relativ teuer und schwierig aufzutragen und zu warten sind. Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Gehäusestrukturierung ist, dass sie relativ kompakt und folglich für Flugzeug-Anwendungen geeignet ist. Bei sehr hohen Betriebsgeschwindigkeiten, beispielsweise beim Startvorgang in einem Flugzeugmotor, verbessert die Gehäusestrukturierung den Drosselabstand und die Effizienz des Verdichters, wie in der [Fig. 4](#) der beigefügten Zeichnungen gezeigt.

Patentansprüche

1. Verdichter, umfassend ein Gehäuse (**10**, **110**, **210**), das einen in der Regel zylindrischen Strömungsweg (**42**, **142**) umgrenzt; einen Rotor, der mindestens einen Satz Laufschaufeln (**12**) trägt; mindestens einen Satz Statorschaufeln (**14**, **16**); und eine Gehäusestrukturierung (**18**, **118**, **218**) mit einem Rezirkulationsweg in dem Gehäuse (**10**, **110**, **210**), so dass bei Gebrauch eine Niederimpulsströmung nahe den Spitzen der Laufschaufeln (**12**) beseitigt wird, und Rückführen der Strömung zu dem in der Regel zylindrischen Strömungsweg (**42**, **142**) stromaufwärts des Punkts der Beseitigung und einer Anzahl gekrümmter Leitelemente (**22**, **122**, **222**), die sich in dem Rezirkulationsweg befinden, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rezirkulationsweg als radial nach innen offene ringförmige Kammer (**20**, **120**, **220**) ausgebildet ist und die gekrümmten Leitelemente (**22**, **122**, **222**) in der ringförmigen Kammer (**20**, **120**, **220**) einen ringförmigen Einlass (**34**, **134**) stromabwärts der Leitelemente (**22**, **122**) und/oder einen ringförmigen Auslass (**36**, **236**) stromaufwärts der Leitelemente (**22**, **222**) umgrenzen, wobei die Leitelemente (**22**, **122**, **222**) jeweils von dem Gehäuse (**10**, **110**, **210**) zu einem freien Ende (**38**, **138**) radial nach innen abstehen, das sich bei oder nahe der einwärts gerichteten Mündung (**30**, **130**) der ringförmigen Kammer (**20**, **120**, **220**) befindet, so dass eine Reihe von radial nach innen offenen gekrümmten Kanälen (**40**, **140**) in der Kammer (**20**, **120**, **220**) nahe dem ringförmigen Einlass (**34**, **134**) und/oder dem ringförmigen Auslass (**36**, **236**) umgrenzt wird.

2. Verdichter, umfassend ein Gehäuse, das einen gewöhnlich zylindrischen Strömungsweg umgrenzt; einen Rotor, der mindestens einen Satz Laufschaufeln trägt; mindestens einen Satz Statorschaufeln; und eine Nabenstrukturierung mit einem Rezirkulationsweg in der Nabe des Rotors nahe den Statorschaufeln und einer Anzahl gekrümmter Leitelemente, die sich in dem Rezirkulationsweg befinden, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rezirkulationsweg als radial nach außen offene ringförmige Kammer ausgebildet ist und die gekrümmten Leitelemente in der ringförmigen Kammer einen ringförmigen Einlass stromabwärts der Leitelemente und/oder einen ringförmigen Auslass stromaufwärts der Leitelemente umgrenzen, wobei die Leitelemente jeweils von der Rotornabe zu einem freien Ende radial nach außen abstehen, das sich bei oder nahe der auswärts gerichteten Mündung der ringförmigen Kammer befindet, so dass eine Reihe von radial nach außen offenen gekrümmten Kanälen in der Kammer nahe dem ringförmigen Einlass und/oder dem ringförmigen Auslass umgrenzt ist.

3. Verdichter nach Anspruch 1 oder 2, wobei eine Rückwand (**26**) der ringförmigen Kammer (**20, 120, 220**) und eine Vorderwand (**28**) dieser Kammer (**20, 120, 220**) in einem Winkel zur Längsachse des Gehäuses (**10, 110, 210**) geneigt sind.

4. Verdichter nach Anspruch 3, wobei der Neigungswinkel der Rückwand (**26**) und der Vorderwand (**28**) zur Längsachse des Gehäuses (**10, 110, 210**) zwischen 30° und 90° liegt.

5. Verdichter nach Anspruch 3 oder 4, wobei sich die Neigung der Rückwand (**26**) zur Gehäuse-Längsachse von der Neigung der Vorderwand (**28**) zur Gehäuse-Längsachse unterscheidet.

6. Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Leitelemente (**22, 122, 222**) in Radialrichtung in einem Winkel zwischen 10° und 90° geneigt sind.

7. Verdichter nach Anspruch 6, wobei die Neigung der Leitelemente (**22, 122, 222**) zur Radialrichtung entlang der Höhe und/oder der Länge dieser Leitelemente (**22, 122, 222**) variiert.

8. Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verhältnis zwischen der Radialprojektionshöhe der Leitschaufel und der Radialtiefe der ringförmigen Kammer (**20, 120, 220**) kleiner als 1,0 ist.

9. Verdichter nach Anspruch 8, wobei das Verhältnis zwischen der Radialprojektionshöhe der Leitschaufel und der Radialtiefe der ringförmigen Kammer (**20, 120, 220**) entlang der Axiallänge der Leitelemente (**22, 122, 222**) variiert.

10. Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verhältnis zwischen dem Volumen der Leitelemente (**22, 122, 222**) und dem Gesamtvolumen der ringförmigen Kammer (**20, 120, 220**) größer als 0,5 ist.

11. Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verhältnis zwischen der Querschnittsbreite des Kanals (**40, 140**) zwischen benachbarten Leitelementen (**22, 122, 222**) und der Umfangsteilung der Leitelemente (**22, 122, 222**) zwischen 0,3 und 1,0 ist.

12. Verdichter nach Anspruch 11, wobei das Verhältnis zwischen der Querschnittsbreite des Kanals (**40, 140**) zwischen benachbarten Leitelementen (**22, 122, 222**) und der Umfangsteilung der Leitelemente (**22, 122, 222**) entlang der Radialprojektionshöhe und/oder der Axiallänge der Leitelemente (**22, 122, 222**) variiert.

13. Verdichter nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, wobei das Verhältnis zwischen der Radialprojektionshöhe der Schaufel und der Gesamtaxialbreite der ringförmigen Kammer (**20, 120, 220**) zwischen 0,2 und 1,0 ist.

14. Verdichter nach Anspruch 1, wobei der Axialmittelpunkt der ringförmigen Kammer (**20, 120, 220**) stromaufwärts des axialen Blatttiefenmittelpunktes der Rotorschaukel in der Schaufelspitzenregion ist.

15. Verdichter nach Anspruch 1, wobei das Verhältnis zwischen der Axialbreite der ringförmigen Kammer (**20, 120, 220**) und dem axialen Blatttiefenmittelpunkt der Rotorschaukel zwischen 0,4 und 1,0 ist.

16. Verdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 15, der einen Einstufen-Verdichter umfasst.

17. Verdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 15, der einen Mehrstufen-Verdichter umfasst.

18. Verdichter nach Anspruch 16 oder 17, der für eine Axialströmung ausgelegt ist.

19. Verdichter nach Anspruch 16 oder 17, der für eine Diagonalströmung ausgelegt ist.

20. Verdichter nach Anspruch 16 oder 17, der für eine Radialströmung ausgelegt ist.

21. Verdichter nach Anspruch 1, wobei das Gehäuse einen Gehäuseeinsatz umfasst, der sich mit dem Verdichtergehäuse nächst den Laufschaufeln verbinden lässt und das eine Gehäusestrukturierung umgrenzt.

22. Verdichter nach Anspruch 21, wobei eine Rückwand der ringförmigen Kammer und eine Vorderwand dieser Kammer in einem Winkel zur Längsachse des Gehäuses geneigt sind.

23. Verdichter nach Anspruch 22, wobei der Neigungswinkel der Rückwand und der Vorderwand zur Längsachse des Gehäuses zwischen 30° und 90° ist.

24. Verdichter nach Anspruch 22 oder 23, wobei sich die Neigung der Rückwand zur Gehäuselängsachse von der Neigung der Vorderwand zur Gehäuselängsachse unterscheidet.

25. Verdichter nach einem der Ansprüche 21 bis 24, wobei die Leitelemente in Radialrichtung in einem Winkel zwischen 10° und 90° geneigt sind.

26. Verdichter nach Anspruch 25, wobei die Neigung der Leitelemente zur Radialrichtung entlang der Höhe und/oder der Länge dieser Leitelemente variiert.

27. Verdichter nach einem der Ansprüche 21 bis 26, wobei das Verhältnis zwischen der Radialprojektionshöhe der Leitschaufel und der Radialtiefe der ringförmigen Kammer kleiner als 1,0 ist.

28. Verdichter nach Anspruch 27, wobei das Verhältnis zwischen der Radialprojektionshöhe der Leitschaufel und der Radialtiefe der ringförmigen Kammer entlang der Axiallänge der Leitelemente variiert.

29. Verdichter nach einem der Ansprüche 21 bis 28, wobei das Verhältnis zwischen dem Volumen der Leitelemente und dem Gesamtvolumen der ringförmigen Kammer größer als 0,5 ist.

30. Verdichter nach einem der Ansprüche 21 bis 29, wobei das Verhältnis zwischen der Querschnittsbreite des Kanals zwischen benachbarten Leitelementen und der Umfangsteilung der Leitelemente zwischen 0,3 und 1,0 ist.

31. Verdichter nach Anspruch 30, wobei das Verhältnis zwischen der Querschnittsbreite des Kanals zwischen benachbarten Leitelementen und der Umfangsteilung der Leitelemente entlang der Radialprojektionshöhe und/oder der Axiallänge der Leitelemente variiert.

32. Verdichter nach einem der Ansprüche 21 bis 31, wobei das Verhältnis zwischen der Radialprojektionshöhe der Schaufel und der Gesamtaxialbreite der ringförmigen Kammer zwischen 0,2 und 1,0 ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

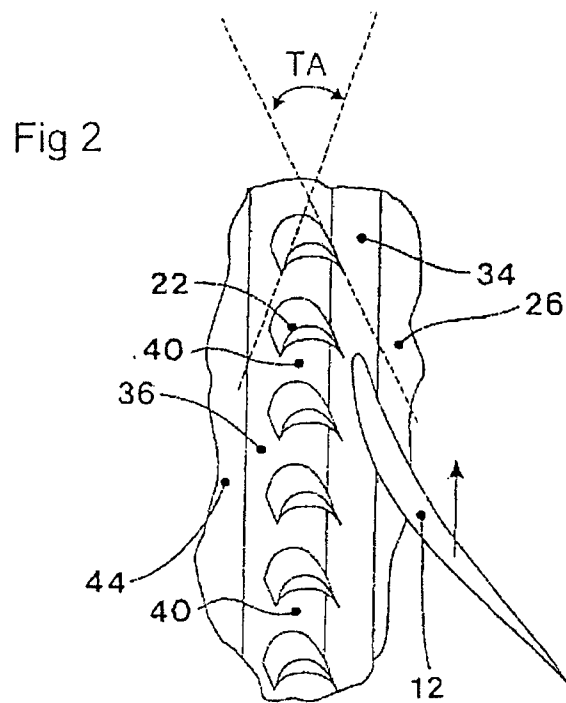
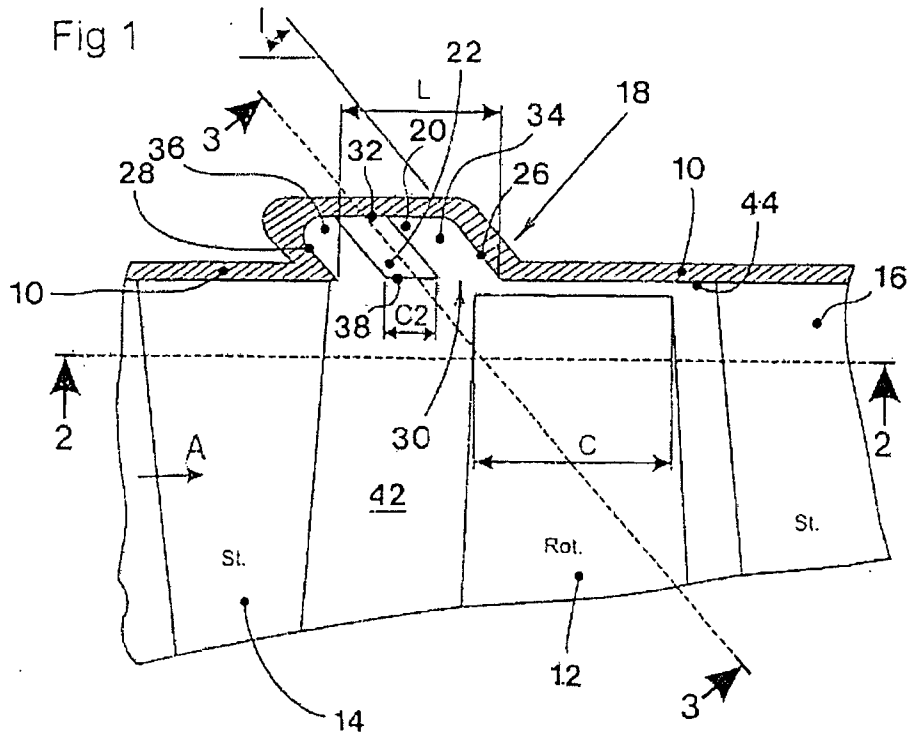


Fig 3

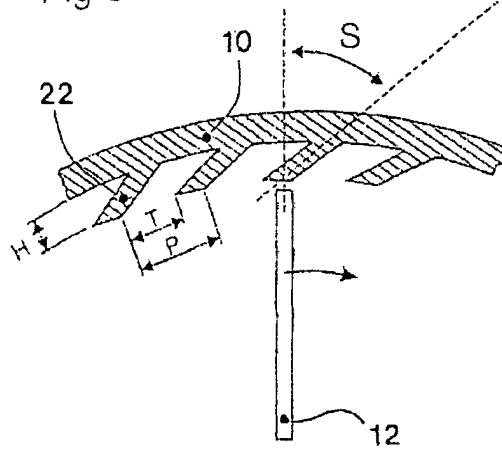


Fig 4

