

SCHWEIZERISCHE EidGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 703 590 B1

(51) Int. Cl.: F01D 5/06 (2006.01)  
F01D 11/02 (2006.01)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01274/11

(73) Inhaber:  
General Electric Company, 1 River Road  
Schenectady, New York 12345 (US)

(22) Anmeldedatum: 29.07.2011

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.02.2012

(72) Erfinder:  
Josef Scott Cummins,  
Greenville, South Carolina 29615 (US)  
Ian David Wilson, Greenville, South Carolina 29615 (US)

(30) Priorität: 02.08.2010 US 12/848,906

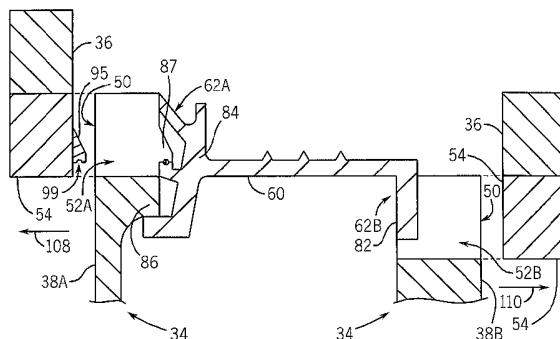
(24) Patent erteilt: 29.07.2016

(74) Vertreter:  
R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4  
8008 Zürich (CH)

(45) Patentschrift veröffentlicht: 29.07.2016

**(54) Mehrstufige Turbine mit einteiliger, ringförmiger Zwischenstufendichtung.**

(57) Gemäss der Erfindung enthält eine mehrstufige Turbine eine erste Turbinenstufe (34), die ein erstes Laufrad (38B) mit mehreren ersten Nuten (52B), die längs des Umfangs rings um das erste Laufrad (38B) voneinander beabstandet angeordnet sind, und mehrere erste Laufschaufelsegmente (54) enthält, die jeweils mit wenigstens einer der mehreren ersten Nuten (52B) gekoppelt sind. Die mehrstufige Turbine enthält ferner eine zweite Turbinenstufe (34), die ein zweites Laufrad (38A) mit mehreren zweiten Nuten (52A), die längs des Umfangs rings um das zweite Laufrad (38A) voneinander beabstandet angeordnet sind, und mehrere zweite Laufschaufelsegmente (54) enthält, die jeweils mit wenigstens einer der mehreren zweiten Nuten (52A) gekoppelt sind. Die mehrstufige Turbine enthält ferner eine einteilige, ringförmige Zwischenstufendichtung (60), die sich axial zwischen dem ersten und dem zweiten Laufrad (38B, 38A) erstreckt, wobei die einteilige ringförmige Zwischenstufendichtung (60) eine erste radiale Halterung (62B), die mit dem ersten Laufrad (38B) gekoppelt ist, und eine zweite radiale Halterung (62A) aufweist, die mit dem zweiten Laufrad (38A) gekoppelt ist.



## Beschreibung

### Hintergrund zu der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine mehrstufige Turbine mit einer einteiligen, ringförmigen Zwischenstufendichtung.

[0002] Allgemein verbrennen Gasturbinen ein Gemisch aus komprimierter Luft und Brennstoff, um heisse Verbrennungsgase zu erzeugen. Die Verbrennungsgase können durch eine oder mehrere Turbinenstufen strömen, um Leistung für eine Last und/oder einen Verdichter zu erzeugen. Zwischen den Stufen tritt ein Druckabfall auf, der einen Durchfluss eines Fluids, wie beispielsweise von Verbrennungsgasen, durch unbeabsichtigte Pfade ermöglichen kann. Es können Dichtungen zwischen den Stufen angeordnet sein, um eine Fluidleckage zwischen den Stufen zu reduzieren. Bedauerlicherweise können die Dichtungen Belastungen, wie beispielsweise Wärmebelastungen, ausgesetzt sein, die die Dichtungen in axialer und/oder radialer Richtung vorspannen können, wodurch die Effektivität der Dichtungen reduziert wird. Zum Beispiel kann eine Verbiegung einer Dichtung die Möglichkeit eines Reibzustands zwischen stationären und umlaufenden Komponenten erhöhen.

[0003] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine mehrstufige Turbine mit einer verbesserten Zwischenstufendichtung anzugeben, die eine verbesserte radiale und axiale Stabilität aufweist.

### Kurze Beschreibung der Erfindung

[0004] Gemäss der Erfindung enthält eine mehrstufige Turbine eine erste Turbinenstufe, die ein erstes Laufrad mit mehreren ersten Nuten, die in Umfangsrichtung rings um das erste Laufrad voneinander beabstandet angeordnet sind, und mehrere erste Laufschaufelsegmente aufweist, die jeweils mit wenigstens einer der ersten Nuten gekoppelt sind. Die mehrstufige Turbine enthält ferner eine zweite Turbinenstufe, die ein zweites Laufrad mit mehreren zweiten Nuten, die in Umfangsrichtung rings um das zweite Laufrad voneinander beabstandet angeordnet sind, und mehrere zweite Laufschaufelsegmente aufweist, die jeweils mit wenigstens einer der zweiten Nuten gekoppelt sind.

[0005] Die mehrstufige Turbine enthält ferner eine einteilige, ringförmige Zwischenstufendichtung, die sich axial zwischen dem ersten und dem zweiten Laufrad erstreckt, wobei die einteilige, ringförmige Zwischenstufendichtung eine erste radiale Halterung, die mit dem ersten Laufrad gekoppelt ist, und eine zweite radiale Halterung aufweist, die mit dem zweiten Laufrad gekoppelt ist, und sich die einteilige, ringförmige Zwischenstufendichtung längs des Umfangs über wenigstens zwei der mehreren ersten Nuten oder wenigstens zwei der mehreren zweiten Nuten erstreckt.

[0006] Gemäss einer Ausführungsform enthält die erste radiale Halterung mehrere erste radiale Haltevorsprünge, die in Umfangsrichtung zueinander versetzt sind, wobei jeder erste radiale Haltevorsprung konfiguriert ist, um mit einer der mehreren ersten Nuten in dem ersten Laufrad gekoppelt zu sein, um eine Bewegung der einteiligen Zwischenturbinendichtung in einer radialen Richtung zu blockieren.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0007] Diese und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden besser verstanden, wenn die folgende detaillierte Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen gelesen wird, in denen gleiche Bezugszeichen durchwegs gleiche Teile in den Zeichnungen kennzeichnen und worin zeigen:

- Fig. 1 ein schematisiertes Block- bzw. Strömungsdiagramm einer Ausführungsform einer Gasturbine, die Turbinendichtungen verwenden kann;
- Fig. 2 eine im Querschnitt dargestellte Seitenansicht der Gasturbine nach Fig. 1, geschnitten entlang der Längsachse;
- Fig. 3 eine im Querschnitt dargestellte ausschnittsweise Seitenansicht der Gasturbine nach Fig. 2 unter Veranschaulichung einer Ausführungsform einer Zwischenstufendichtung zwischen Turbinenstufen;
- Fig. 4 eine im Querschnitt dargestellte ausschnittsweise Seitenansicht der Gasturbine nach Fig. 2 mit von benachbarten Stufen entfernten Laufschaufeln;
- Fig. 5 eine im Querschnitt dargestellte ausschnittsweise Seitenansicht der Gasturbine nach Fig. 2 mit von benachbarten Stufen entfernter Zwischenstufendichtung;
- Fig. 6 eine im Querschnitt dargestellte Teilansicht einer Ausführungsform von radialen Haltevorsprüngen, die in Nuten eines Laufrads einer Turbinenmaschine eingeführt sind, geschnitten entlang der Linie 6–6 nach Fig. 3;
- Fig. 7 eine im Querschnitt dargestellte Seitenansicht eines Abschnitts der Gasturbine nach Fig. 2 unter Veranschaulichung einer weiteren Ausführungsform einer Zwischenstufendichtung zwischen Turbinenstufen;

Fig. 8 eine ausschnittsweise Perspektivansicht einer Ausführungsform der Zwischenstufendichtung, wie sie in Nuten des Laufrads eingesetzt ist; und

Fig. 9 eine ausschnittsweise Perspektivansicht einer Ausführungsform eines in das Laufrad eingreifenden axialen Haltevorsprungs.

#### **Detailierte Beschreibung der Erfindung**

**[0008]** Nachstehend sind eine oder mehrere spezielle Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben.

**[0009]** Wenn Elemente verschiedener Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eingeführt werden, sollen die Artikel «ein», «eine», «der», «die» und «das» bedeuten, dass ein oder mehrere der Elemente vorhanden sind. Die Ausdrücke «aufweisen», «enthalten» und «haben» sollen im Sinne von einschliesslich verstanden werden und bedeuten, dass es ausser den aufgeführten Elementen weitere Elemente geben kann.

**[0010]** Die vorliegende Offenbarung ist auf Gasturbinen gerichtet, die Zwischenstufendichtungen enthalten, wobei jede Zwischenstufendichtung Merkmale enthält, um die Spannungen entlang der axialen Stirnfläche der Dichtung zu reduzieren, um eine radiale Verbiegung der Dichtung zu minimieren und die Dichtung thermisch zu stabilisieren. Ausserdem vergrössern diese Merkmale den Oberflächenbereich der Turbinenlaufräder, der der Kühlluft ausgesetzt ist, wodurch die Festigkeit des Laufrads vergrössert wird. Zum Beispiel kann die Zwischenstufendichtung während des Betriebs durch benachbarte Turbinenlaufräder über radiale Halterungen der Dichtung, die mit den Laufrädern gekoppelt sind, vollständig gelagert sein. Die Laufräder weisen Nuten für die radialen Halterungen der Dichtung sowie Widerlager auf, um eine Bewegung der Dichtungen in radialer und axialer Richtung zu blockieren. Die radialen Halterungen können Schwabenschwanzvorsprünge oder axiale Haltevorsprünge enthalten. Ferner kann die Zwischenstufendichtung ein Einzelstück bilden, das sich in Umfangsrichtung über den Nuten an einem hohen Radius der Turbinenlaufräder erstreckt. Der hohe Radius der Zwischenstufendichtung kann das Zwischenstufenvolumen zur Kühlung sowie die Oberflächenbereiche der Turbinenlaufräder zur Kühlung vergrössern. Ferner kann die Zwischenstufendichtung lösbar sein, um einen Zugang zu darunterliegenden Komponenten zuzulassen. Zum Beispiel kann die Zwischenstufendichtung axial in eine Einbauposition und aus dieser heraus über ein oder mehrere Laufräder gleiten.

**[0011]** Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild eines beispielhaften Systems 10, das eine Gasturbine 12 enthält, die Zwischenstufendichtungen mit radialen Halterungen an benachbarten Laufrädern verwenden kann. In manchen Ausführungsformen kann das System 10 ein Luftfahrzeug oder Flugzeug, ein Wasserfahrzeug, eine Lokomotive, ein Energieerzeugungssystem oder Kombinationen von diesen enthalten. Die veranschaulichte Gasturbine 12 enthält einen Lufteinlassabschnitt 16, einen Verdichter 18, einen Brennkammerabschnitt 20, eine Turbine 22 und einen Auslassabschnitt 24. Die Turbine 22 ist mit dem Verdichter 18 über eine Welle 26 gekoppelt.

**[0012]** Wie durch die Pfeile angezeigt, kann Luft in die Gasturbine 12 durch den Einlassabschnitt 16 eintreten und in den Verdichter 18 hineinströmen, der die Luft vor ihrem Eintritt in den Brennkammerabschnitt 20 verdichtet. Der veranschaulichte Brennkammerabschnitt 20 enthält ein Brennkammergehäuse 28, das konzentrisch oder ringartig um die Welle 26 herum zwischen dem Verdichter 18 und der Turbine 22 angeordnet ist. Die verdichtete Luft aus dem Verdichter 18 tritt in die Brennkammern 30 ein, wobei die verdichtete Luft sich in den Brennkammern 30 mit Brennstoff vermischen und verbrennen kann, um die Turbine 22 anzutreiben.

**[0013]** Von dem Brennkammerabschnitt 20 aus strömen die heissen Verbrennungsgase durch die Turbine 22, wodurch der Verdichter 18 über die Welle 26 angetrieben wird. Zum Beispiel können die Verbrennungsgase Antriebskräfte auf Turbinenlaufschaufeln innerhalb der Turbine 22 ausüben, um die Welle 26 zu drehen. Wie nachstehend erläutert, kann die Turbine 22 mehrere Zwischenstufendichtungen mit radialen Halterungen an benachbarten Laufrädern enthalten. Nachdem die heissen Verbrennungsgase die Turbine 22 durchströmt haben, können sie aus der Gasturbine 12 durch den Auslassabschnitt 24 austreten.

**[0014]** Fig. 2 zeigt eine im Querschnitt dargestellte Seitenansicht einer Ausführungsform der Gasturbine 12 nach Fig. 1, geschnitten entlang der Längsachse 32. Wie dargestellt, enthält die Gasturbine 22 drei gesonderte Stufen 34. Jede Stufe 34 enthält einen Satz Laufschaufeln 36, die mit einem Laufrad 38 gekoppelt sind, das an der Welle 26 (Fig. 1) drehfest befestigt sein kann. Die Laufschaufeln 36 erstrecken sich von den Laufrädern 38 aus radial nach aussen und sind teilweise in dem Pfad der heissen Verbrennungsgase angeordnet. Dichtungen 60 erstrecken sich zwischen benachbarten Laufrädern 38 und sind durch diese gehalten. Wie nachstehend erläutert, enthalten die Dichtungen 60 radiale Halterungen, die mit benachbarten Laufrädern 38 verbunden sind, um einen radialen Halt zu bieten, während sie ferner eine verbesserte Kühlung und ein einfaches Entfernen ermöglichen. Obwohl die Gasturbine 22 als eine dreistufige Turbine veranschaulicht ist, können die hierin beschriebenen Dichtungen 60 in jeder beliebigen geeigneten Turbinenbauart mit einer beliebigen Anzahl von Stufen und Wellen eingesetzt werden. Zum Beispiel können die Dichtungen 60 in einer Gasturbine mit einer mehrstufigen Turbine, in einem Dual-Turbinensystem, das eine Niederdruckturbine und eine Hochdruckturbine enthält, oder in einer Dampfturbine enthalten sein. Ferner können die hierin beschriebenen Dichtungen 60 auch in einem Rotationsverdichter, wie beispielsweise dem in Fig. 1 veranschaulichten Verdichter 18, verwendet werden.

**[0015]** Wie vorstehend in Bezug auf Fig. 1 beschrieben, tritt Luft durch den Lufteinlassabschnitt 16 ein, und sie wird durch den Verdichter 18 verdichtet. Die verdichtete Luft aus dem Verdichter 18 wird anschliessend in den Brennkammerabschnitt 20 geleitet, worin die verdichtete Luft mit Brennstoff vermischt wird. Das Gemisch aus verdichteter Luft und Brennstoff wird im Allgemeinen innerhalb des Brennkammerabschnitts 20 verbrannt, um eine hohe Temperatur, einen hohen Druck aufweisende Verbrennungsgase zu erzeugen, die verwendet werden, um Drehmoment innerhalb der Turbine 22 zu erzeugen. Insbesondere üben die Verbrennungsgase treibende Kräfte auf die Laufschaufeln 36 aus, um die Laufräder 38 zu drehen. In manchen Ausführungsformen kann ein Druckabfall an jeder Stufe der Turbine auftreten, der einen Gasfluss durch unbeabsichtigte Pfade ermöglichen kann. Zum Beispiel können die heissen Verbrennungsgase in den Zwischenstufenraum zwischen Turbinenlaufrädern 38 einströmen, was Wärmelastungen auf die Turbinenkomponenten einbringen kann. In manchen Ausführungsformen kann der Zwischenstufenraum durch Abluft, die von dem Verdichter abgezapft oder durch eine andere Quelle geliefert wird, gekühlt werden. Jedoch kann ein Zustrom heisser Verbrennungsgase zu dem Zwischenstufenraum die Kühleffekte verringern. Demgemäss können die Dichtungen zwischen benachbarten Laufrädern 38 an einem hohen Radius angeordnet sein, um den Zwischenstufenraum gegen die heissen Verbrennungsgase abzudichten und einzuschliessen.

**[0016]** Fig. 3 zeigt eine im Querschnitt dargestellte Seitenansicht eines Paars benachbarter Rotorstufen 34, wie sie in Fig. 2 veranschaulicht sind. Für veranschaulichende Zwecke ist nur ein Teil der Stufen 34 dargestellt. Jedoch enthalten die Stufen 34 allgemein kreisringförmige bzw. scheibenförmige Laufräder 38 mit Laufschaufeln 36, die sich von einem Laufradstützabschnitt 50 der Laufräder 38 aus radial nach aussen (in der durch den Pfeil 48 angezeigten Richtung) erstrecken. Der Laufradstützabschnitt 50 ist entlang des Umfangs der Laufräder 38 angeordnet und enthält Nuten 52 (z.B. Schwalbenschwanznuten) zur Aufnahme unterer Segmente 54 der Laufschaufel 36. In manchen Ausführungsformen können ungefähr 50 bis 150 Laufschaufeln 36 längs des Umfangs um die Laufräder 38 (in der durch den Pfeil 56 angezeigten Richtung) und eine zugehörige Drehachse (die sich im Wesentlichen in der durch den Pfeil 58 angezeigten Richtung erstreckt) herum montiert und voneinander beabstandet angeordnet sein.

**[0017]** Eine Zwischenstufendichtung 60 erstreckt sich zwischen den beiden benachbarten Laufrädern 38A und 38B und ist durch die Laufräder 38 mechanisch gestützt bzw. gehalten. Die Zwischenstufendichtung 60 ist als ein einstückiges Teil zwischen den Laufrädern 38 (in der Umfangsrichtung 56) ringartig angeordnet und ist an den Laufrädern 38 über radiale Halterungen 62 angebracht. Jedes Laufrad 38 bildet eine ringförmige Struktur mit der Zwischenstufendichtung 60, die sich als eine ringförmige Struktur zwischen den Laufrädern 38 erstreckt. Während des Betriebs rotieren die Laufräder 38 und die Zwischenstufendichtung 60 um eine gemeinsame Achse. In manchen Ausführungsformen kann die Zwischenstufendichtung 60 mit den Laufrädern 38 an oder in der Nähe derselben radialen Stelle (sich in der Richtung 48 erstreckend) wie die in Umfangsrichtung voneinander beabstandeten Nuten 52 innerhalb der Laufräder 38, die die Laufschaufeln 36 halten, verbunden sein. Die Zwischenstufendichtung 60 kann eine kreisförmige Struktur von 360° enthalten, die an benachbarten Laufrädern 38 befestigt ist, um eine Wand zu bilden, die einen Zwischenstufenraum oder eine Laufradkavität 64 thermisch isoliert, der bzw. die eine Luftkühlungskammer bildet.

**[0018]** Der Zwischenstufenraum 64 empfängt Abluft, die aus dem Verdichter 18 abgezapft wird, um den Zwischenstufenraum 64 und benachbarte Turbinenkomponenten, wie beispielsweise die Laufräder 38, zu kühlen. Zur Förderung der Kühlung wird der Raum 64 möglichst gross ausgelegt, so dass folglich die Zwischenstufendichtung 60 an dem äussersten Abschnitt der Laufräder 38 oder der Laufradstützabschnitte 50 befestigt wird, wenn die Wand von der Zwischenstufendichtung 60 gebildet wird. Insbesondere sind Bereiche zur Befestigung der Zwischenstufendichtung 60 an den (in der Richtung 48) radial äusseren Abschnitten der Laufräder 38 angeordnet. Die Positionierung der Zwischenstufendichtung 60 zu dem radial äusseren Abschnitt (in der Richtung 48) der Laufräder 38 oder den Laufradstützabschnitten 50 hin vergrössert oder maximiert den Zwischenstufenraum 64, um eine Kühlung in dem Zwischenstufenraum 64 zu ermöglichen. Insbesondere weist die durch die Zwischenstufendichtung 60 gebildete Wand einen Innenradius 66 auf. Die Nuten 52A und 52B weisen jeweils obere, äussere Radien 68 bzw. 70 sowie untere, innere Radien 72 bzw. 74 auf. Der innere Radius 66 der Zwischenstufendichtungswand kann grösser als oder gleich sowohl dem unteren, inneren Radius 74 als auch dem oberen, äusseren Radius 70 der Nut 52B sein. Ausserdem kann der Wandinnenradius 66 grösser als oder gleich wenigstens einem von dem unteren, inneren Radius 72 und dem oberen, äusseren Radius 68 der Nut 52A sein. Die erhöhte Grösse des Zwischenstufenraums 64 und der zugehörigen Kühlkapazität, die auf den hohen Innenradius 66 der Zwischenstufendichtung 60 zurückzuführen ist, kann die Verwendung von Materialien geringerer Festigkeit für die Laufräder 38 ermöglichen. Eine Kühlung kann auch unterstützt werden, weil in dem Zwischenstufenraum keine radiale Unterteilung vorhanden ist. Insbesondere ist das Volumen 64 in der Radialrichtung 48 ein kontinuierlicher Raum. Ferner kann die Kühlluft aufgrund des grösseren Flächeninhalts entlang der Laufräder 38 eine grössere Konvektionskühlung erzielen.

**[0019]** Die Zwischenstufendichtung 60 kann mit (nicht veranschaulichten) stationären Leitschaufeln zusammenwirken, um die Strömung heisser Fluide, wie beispielsweise heisser Verbrennungsgase oder von Dampf, mit einem oberhalb der Laufräder 38 angeordneten (durch einen Pfeil allgemein veranschaulichten) Pfad 76, der durch die Schaufeln 36 hindurchführt, zu leiten. Insbesondere kann die Leitschaufelstruktur eine Dichtungsfläche enthalten, die mit an der Aussenfläche 80 der Zwischenstufendichtung 60 angeordneten Dichtungszähnen 78 zusammenwirken. In manchen Ausführungsformen können Labyrinthdichtungen zwischen dem Dichtungsflächenmaterial und den Dichtungszähnen 78 ausgebildet sein. Jedoch kann in anderen Ausführungsformen eine beliebige Dichtungsart ausgebildet sein. Die Dichtungszähne 78 können radial aussen (in Richtung 48) von der Zwischenstufendichtung 60 positioniert sein. Die Lage der Zwischenstufendichtung 60 zu

dem radial äusseren Bereich (Richtung 48) der Laufräder 38 oder der Laufradstützabschnitte 50 hin kann der Zwischenstufendichtung 60 ermöglichen, einen grossen Abdichtungsradius zu haben und die radiale Höhe der Leitschaufelstruktur zu minimieren. Die minimierte radiale Höhe kann den axial weisenden Flächenbereich der Leitschaufelstruktur sowie die axialen Gasbiegebelastungen reduzieren, die eine Verlagerung der Position der Leitschaufelstruktur bewirken können.

**[0020]** Wie oben erwähnt, enthält die Zwischenstufendichtung 60 radiale Halterungen 62, um die Struktur 60 an die Laufräder 38 zu befestigen. Die radialen Halterungen 62 sorgen sowohl für radialen als auch für axialen Halt für die Zwischenstufendichtung 60. Eine erste radiale Halterung 62B enthält radiale Haltevorsprünge 82. In manchen Ausführungsformen enthalten sowohl die erste radiale Halterung 62B als auch eine zweite radiale Halterung 62A der Zwischenstufendichtung 60 radiale Haltevorsprünge 82 (vgl. Fig. 7). Die radialen Haltevorsprünge 82 der ersten radialen Halterung 62B sind in den Nuten 52B angeordnet, um eine Bewegung der radialen Haltevorsprünge 82 und auf diese Weise der Zwischenstufendichtung 60 in der Radialrichtung 48 zu blockieren. Die radialen Haltevorsprünge 82 der ersten radialen Halterung 62B können Schwalbenschwanzvorsprünge 82 enthalten. Die Schwalbenschwanzvorsprünge 82 können dann in den Schwalbenschwanznuten 52B angeordnet sein, um eine Bewegung der Schwalbenschwanzvorsprünge 82 in der Radialrichtung 48 zu blockieren. Die unteren Segmente 54 der Laufschaufeln 36 sind ebenfalls in den Nuten 52B angeordnet, so dass sie auf diese Weise eine Bewegung der radialen Haltevorsprünge 82 in der Axialrichtung 58 blockieren.

**[0021]** Die zweite radiale Halterung 62A enthält axiale Vorsprünge 84. Die axialen Vorsprünge der zweiten radialen Halterung 62A können mit radialen Widerlagern des Laufrads 38A in Kontakt stehen, wodurch ein axialer und radialer Halt für die Zwischenstufendichtung 60 erzielt wird. Die radialen Widerlager können einen Rand 86 des Laufrads 38A, axiale Vorsprünge 87 mit Seildichtungsnuten 88 des Laufradstützabschnitts 50 und axiale Vorsprünge 95 der Laufschaufeln 36 (vgl. Fig. 4) enthalten. Die axialen Haltevorsprünge 84 der zweiten radialen Halterung 62A können einen Deckplattenabschnitt 90, mit der Seildichtungsnut wechselwirkende Abschnitte 92 und mit dem Rand wechselwirkende Abschnitte 94 enthalten. Der Deckplattenabschnitt 90 wirkt sowohl mit dem Laufradstützabschnitt 50 als auch mit den unteren Segmenten 54 der Laufschaufeln 36 zusammen. Die Seildichtungsnutwechselwirkungsabschnitte 92 können mit den Seildichtungsnuten 88 der axialen Vorsprünge 87 gekoppelt sein, um einen Kanal 96 für eine Seildichtung 98 zu bilden. Die Laufschaufeln 36 können auch axiale Vorsprünge 95 mit Seildichtungsnuten 99 (vgl. Fig. 4) enthalten. Die Seildichtungsnuten 99 der Laufschaufeln 36 und die Seildichtungsnuten 88 des Laufradstützabschnitts 50 können sich längs des Umfangs um 360° in der Richtung 56 rings um das Laufrad 38A erstrecken und gemeinsam mit der Seildichtung 38 eine Leckage von den stationären Komponenten der Maschine aus minimieren. In einigen Ausführungsformen können die Laufschaufeln 36 und die axialen Vorsprünge 87 des Laufradstützabschnitts 50 ferner Halteschlitzte enthalten. Die Halteschlitzte der Laufschaufeln 36 und die Halteschlitzte des Laufradstützabschnitts 50 können sich längs des Umfangs um 360° in der Richtung 56 rings um das Laufrad 38A erstrecken und gemeinsam mit einem Laufschaufelhaltdraht ein axiales Halten für die Laufschaufel 36 erzielen. Die Randwechselwirkungsabschnitte 94 können mit dem Rand 86 des Laufrads 38A wechselwirken, um eine Bewegung des axialen Haltevorsprungs 84 der zweiten radialen Halterung 62A in der Radialrichtung 48 zu blockieren. In einigen Ausführungsformen können die Randwechselwirkungsabschnitte 94 mit dem Rand 86 des Laufrads 38A gefaltete Verbindungen bilden.

**[0022]** Fig. 4 veranschaulicht den Einbau der Zwischenstufendichtung 60 zwischen den Turbinenstufen 34. Fig. 4 zeigt eine im Querschnitt dargestellte Seitenansicht des Paares benachbarter Turbinenstufen 34. Während einer Instandhaltung oder eines sonstigen Demontageprozesses können die Laufschaufeln 36 aus den Nuten 52A in einer Axialrichtung 108 oder aus den Nuten 52B in einer Axialrichtung 110 entfernt werden. Während des Einbaus kann die Zwischenstufendichtung 60 axial über das Laufrad 38B in eine Position zwischen den Laufrädern 38A und 38B gleiten, während die Laufschaufeln 36 entfernt sind. Die Zwischenstufendichtung 60 kann in Axialrichtung 108 über das Laufrad 38B gleiten, während die radialen Haltevorsprünge 82 der ersten radialen Halterung 62B in derselben Richtung 108 durch die Nuten 52B gleiten. Während dieser Bewegung können beide Haltevorsprünge 82 und 84 der ersten und zweiten radialen Halterung 62B bzw. 62A mit den Nuten 52B ausgerichtet sein und durch diese gleiten. Die Zwischenstufendichtung 60 gleitet in axialer Richtung, bis der axiale Haltevorsprung 84 der zweiten radialen Halterung 62A mit den radialen Widerlagern 86 und 87 des Laufrads 38A oder des Laufradstützabschnitts 50, wie oben beschrieben, in Kontakt gelangt, um die Zwischenstufendichtung zu bilden. Die radialen Widerlager 86 und 87 blockieren eine weitere Bewegung der Zwischenstufendichtung 60 in der Axialrichtung 108. Die Laufschaufeln 36 können in die Nuten 52A und 52B wiedereingeführt werden, wo die unteren Segmente 54 der in die Nuten 52B eingeführten Laufschaufeln 36 eine Bewegung der radialen Haltevorsprünge 82 der ersten radialen Halterung 62B in der Axialrichtung 110 blockieren. Ferner steht nach Wiedereinführung der Laufschaufeln 36 der axiale Haltevorsprung 84 der zweiten axialen Halterung 62A mit dem radialen Widerlager 95 des Laufrads 38A in Kontakt, um die Zwischenstufendichtung zu bilden.

**[0023]** Fig. 5 veranschaulicht das Lösen der Zwischenstufendichtung 60 von dem Paar benachbarter Turbinenlaufräder 38. Wenn die Laufschaufeln 36 von den Nuten 52A und 52B entfernt sind, kann die Zwischenstufendichtung 60 in der Axialrichtung 110 gleiten, um die radialen Haltevorsprünge 82 der ersten radialen Halterung 62B aus den Nuten 52B zu entfernen. Während dieser Entfernung können beide Haltevorsprünge 82 und 84 der ersten und der zweiten radialen Halterung 62B bzw. 62A mit den Nuten 52B ausgerichtet sein und durch diese hindurchgleiten. In Ausführungsformen mit radialen Haltevorsprüngen 82 der ersten radialen Halterung 62B an einem Ende der Zwischenstufendichtung 60, wie in Fig. 5 veranschaulicht, müssen zur Entfernung der Zwischenstufendichtung 60 in der Axialrichtung 110 nur die Laufschaufeln

36 in den Nuten 52B entfernt werden. Das Entfernen der Zwischenstufendichtung 60 schafft Zugang zu Komponenten, die normalerweise unter der Zwischenstufendichtung 60 liegen, ohne Demontage anderer Komponenten der Turbine 22.

**[0024]** Fig. 6 zeigt eine im Querschnitt dargestellte Teilansicht einer Ausführungsform der Zwischenstufendichtung 60 mit mehreren radialen Haltevorsprüngen 82 der ersten radialen Halterung 62B, die in Nuten 52B des Laufrads 38B eingeführt sind, geschnitten entlang der Linie 6–6 nach Fig. 3. Der Laufradstützabschnitt 50 des Laufrads 38B enthält mehrere Vorsprünge 118, die sich von dem Laufrad 38B aus radial nach aussen erstrecken. Die Vorsprünge 118 sind längs des Umfangs im Abstand zueinander rings um das Laufrad 38B angeordnet, um in Umfangsrichtung voneinander beabstandete Nuten 52B zu bilden. Die Nuten 52B können Schwalbenschwanznuten 52B sein. Die Nuten 52B, die durch die voneinander beabstandeten Vorsprünge 118 gebildet sind, können eine wellige, gekrümmte oder allgemein nichtlineare Oberfläche enthalten, die durch mehrere Erhebungen und Senkungen definiert ist. Zum Beispiel kann die Oberfläche Zungen oder Nasen 120 enthalten. Die radialen Haltevorsprünge 82 der ersten radialen Halterung 62B der Zwischenstufendichtung 60 sind in Umfangsrichtung zueinander versetzt angeordnet und in den Nuten 52B eingesetzt. Die radialen Haltevorsprünge 82 der ersten radialen Halterung 62B können Schwalbenschwanzvorsprünge 82 sein. Ähnlich wie die Nuten 52B können die Schwalbenschwanzvorsprünge 82 eine gewellte, gekrümmte oder allgemein nichtlineare Oberfläche 121 enthalten, die durch mehrere Erhebungen und Senkungen definiert ist. Zum Beispiel können die Schwalbenschwanzvorsprünge 82 Nasen 122 enthalten, die zwischen den Nasen 120 der Schwalbenschwanznuten 52B eingefügt sind. Die Vorsprünge 82 der ersten radialen Halterung 62B können sich vollständig oder nur zum Teil in die Nuten 52B hinein in der Radialrichtung 124 unter Hinterlassung eines Zwischenraums zwischen den Vorsprünge 82 und dem Laufrad 38B erstrecken. Dieser Zwischenraum ermöglicht eine weitere Kühlung des Laufrads 38B und des Laufradstützabschnitts 50. Die Wechselwirkung zwischen den Nasen 120 und 122 kann die radialen Haltevorsprünge 82 der ersten radialen Halterung 62B daran hindern, in der Radialrichtung 126 verschoben zu werden. In anderen Worten gestatten die Nasen 120 und 122 keine radiale Bewegung der Zwischenstufendichtung 60 an dem Laufrad 38B. Zusätzlich blockieren die Nuten 52B die Bewegung der Vorsprünge 82 der ersten radialen Halterung 62B in Umfangsrichtung 128. Wie zum Teil veranschaulicht, bildet die Zwischenstufendichtung 60 ein einziges ringförmiges Teil, das sich in Umfangsrichtung über mehrere Nuten 52B hinweg erstreckt und sich über 360° über alle Nuten 52B hinweg erstrecken kann. Zum Beispiel kann die Zwischenstufendichtung 60 sich über 2 bis 50, 2 bis 25, 2 bis 10 oder 2 bis 5 Nuten hinweg erstrecken.

**[0025]** Wie oben erwähnt, können sowohl die erste als auch die zweite radiale Halterung 62B und 62A der Zwischenstufendichtung 60 jeweils mehrere radiale Haltevorsprünge 82 enthalten. Fig. 7 veranschaulicht eine Ausführungsform mit der Zwischenstufendichtung 60, die die erste radiale Haltevorsprünge 82B der ersten radialen Halterung 62B und zweite radiale Haltevorsprünge 82A der zweiten radialen Halterung 62A enthält, die in den Nuten 52B bzw. 52A der Laufräder 38B bzw. 38A angeordnet sind. Ein Einführen der ersten und zweiten Vorsprünge 82B und 82A der ersten und der zweiten radialen Halterung 62B bzw. 62A in die Nuten 52B und 52A blockiert eine Bewegung der Zwischenstufendichtung 60 in der durch die Pfeile 138 und 144 angezeigten Radialrichtung. Die unteren Segmente 54 der Laufschaufeln 36 sind in den Nuten 52A und 52B angeordnet, um die Bewegung der radialen Haltevorsprünge 82A und 82B in Axialrichtungen 140 bzw. 142 zu blockieren. Die radialen Haltevorsprünge 82A und 82B der zweiten und der ersten radialen Halterung 62A bzw. 62B können Schwalbenschwanzvorsprünge 82 enthalten, und die Nuten 52A und 52B können Schwalbenschwanznuten 52 enthalten, wie dies im Zusammenhang mit Fig. 6 beschrieben ist. Die Schwalbenschwanzvorsprünge 82A können in radial nach aussen weisender Richtung 138 orientiert sein, die zu der radial nach innen weisenden Orientierungsrichtung 144 der Schwalbenschwanzvorsprünge 82B entgegengesetzt gerichtet ist. In Ausführungsformen, in denen die beiden radialen Haltevorsprünge 82A und 82B Schwalbenschwanzvorsprünge 82 enthalten, erstreckt sich die Zwischenstufendichtung 60 in Umfangsrichtung über wenigstens zwei der Nuten 52A und wenigstens zwei der Nuten 52B hinweg, wie dies in Fig. 6 veranschaulicht ist, und die Zwischenstufendichtung 60 kann sich in Umfangsrichtung über alle Nuten 52A und 52B erstrecken, um die Wand zwischen den Laufrädern 38A und 38B zu bilden.

**[0026]** Fig. 8 zeigt eine ausschnittsweise Perspektivansicht einer Ausführungsform der Zwischenstufendichtung 60, die in Nuten 52B des Laufrads 38B eingesetzt ist. Die einteilige Zwischenstufendichtung 60, wie sie in Fig. 8 veranschaulicht ist, enthält Dichtungszähne 78, die erste radiale Halterung 62B mit radialen Haltevorsprüngen 82 und die zweite radiale Halterung 62A mit axialen Haltevorsprüngen 84. Die Dichtungszähne 78 können sich in Umfangsrichtung über 360° hinweg in Richtung 154 erstrecken und mit Leitschaufelstrukturen wechselwirken, wie dies vorstehend beschrieben ist. Die axialen Haltevorsprünge 84 der zweiten radialen Halterung 62A enthalten den Deckplattenabschnitt 90 und die Randwechselwirkungsabschnitte 94. Der Deckplattenabschnitt 90 kann sich kontinuierlich längs des Umfangs über 360° hinweg in der Richtung 154 erstrecken und mit den unteren Segmenten 54 der Laufschaufeln 36 oder dem Laufradstützabschnitt 50 wechselwirken. Die Randwechselwirkungsabschnitte 94 können durch Spalte 156 voneinander beabstandet sein. Diese Spalte 156 sind zu den Vorsprünge 118 des Laufrads 38B und Zwischenräumen zwischen den radialen Haltevorsprüngen 82 der ersten radialen Halterung 62B, die durch die Vorsprünge 118 besetzt sind, ausgerichtet. Die Spalte 156 können ähnlich den oberen Abschnitten 158 der Vorsprünge 118 des Laufrads 38B geformt sein, wodurch die Ausrichtung der Haltevorsprünge 82 und 84 mit den Nuten 52B erleichtert und auf diese Weise dem Randwechselwirkungsabschnitt 94 der axialen Haltevorsprünge 84 der zweiten radialen Halterung 62A ermöglicht wird, axial durch die Nuten 52B zu gleiten. Die radialen Haltevorsprünge 82 der ersten radialen Halterung 62B können Schwalbenschwanzvorsprünge 82 enthalten, wie dies im Zusammenhang mit Fig. 6 beschrieben ist. Die Vorsprünge 82 können in den Nuten 52B angeordnet sein, wodurch der Dichtung ermöglicht wird, sich in Umfangsrichtung über wenigstens zwei der Nuten 52B hinweg zu erstrecken. Die Nuten 52B können Schwalbenschwanznuten 52B enthalten.

**[0027]** Fig. 9 zeigt eine ausschnittsweise Perspektivansicht einer Ausführungsform der Zwischenstufendichtung 60, die an dem Laufrad 38A und dem Laufradstützabschnitt 50 anliegt. Die Zwischenstufendichtung 60, wie sie in Fig. 9 veranschaulicht ist, enthält Dichtungszähne 78 und die zweite radiale Halterung 62A mit axialen Haltevorsprüngen 84. Die axialen Haltevorsprünge 84 der zweiten radiaen Halterung 62A enthalten den Deckplattenabschnitt 90, den Seildichtungsnutwechselwirkungsabschnitt 92 und die Randwechselwirkungsabschnitte 94. Der Deckplattenabschnitt 90 und die Seildichtungswechselwirkungsabschnitte 92 funktionieren in der oben beschriebenen Weise. Die Randwechselwirkungsabschnitte 94 sind mit einer Unterseite 168 des Randes 86 des Laufrads 38A gekoppelt. Die Spalte 156 zwischen den Randwechselwirkungsabschnitten 94 schaffen einen Zugang für Kühlluft 170 von dem Zwischenstufenraum 64. Die Kühlluft 170 ermöglicht die Kühlung des oberen Abschnitts des Laufrads 38A, des Laufradstützabschnitts 50 und der unteren Segmente 54 der Laufschaufeln 36. Wie oben erwähnt, ermöglicht diese Kühlung es, dass ein Material geringerer Festigkeit für die Laufräder 38 verwendet werden kann.

**[0028]** Die radialen Halterungen 62 der in den vorstehenden Ausführungsformen beschriebenen Zwischenstufendichtung 60 sorgen durch den Anschluss an die Laufräder 38 sowohl für einen axialen als auch für einen radiaen Halt und ermöglichen auf diese Weise die Verwendung einer leichteren Struktur 60. Ferner wird durch den Anschluss dieser radialen Halterungen 62 an einem hohen Radius der Laufräder 38 ein grösserer Oberflächenbereich der Laufräder 38 der Kühlung des Zwischenstufenraums 64 ausgesetzt, wodurch die Verwendung eines Materials geringerer Festigkeit für die Laufräder 38 ermöglicht wird. Diese hohe radiale Position der Zwischenstufendichtung 60 ermöglicht auch eine Reduktion der Grösse des Leitapparates, d.h. der radiaen Abmessung der Laufschaufeln. Ferner ermöglicht die Konstruktion der radialen Halterungen 62 das Entfernen der Zwischenstufendichtung 60 in Axialrichtung durch die Nuten 52 für die Laufschaufeln 36 hindurch, ohne den Rotor entstapeln oder demontieren zu müssen.

**[0029]** Die Erfindung betrifft eine mehrstufige Turbine 22, die eine erste Turbinenstufe 34 enthält, die ein erstes Laufrad 38B mit mehreren ersten Nuten 52B, die längs des Umfangs rings um das erste Laufrad 38B voneinander beabstandet sind, und mehrere erste Laufschaufelsegmente enthält, die jeweils mit wenigstens einer der mehreren ersten Nuten 52B gekoppelt sind. Die mehrstufige Turbine 22 enthält ferner eine zweite Turbinenstufe 34, die ein zweites Laufrad 38A mit mehreren zweiten Nuten 52A, die längs des Umfangs rings um das zweite Laufrad 38A voneinander beabstandet sind, und mehrere zweite Laufschaufelsegmente enthält, die jeweils mit wenigstens einer der mehreren zweiten Nuten 52A gekoppelt sind. Die mehrstufige Turbine 22 enthält ferner eine einteilige, ringförmige Zwischenstufendichtung 60, die sich axial zwischen dem ersten und dem zweiten Laufrad 38B, 38A erstreckt, wobei die einteilige Zwischenstufendichtung 60 eine erste radiale Halterung 62B, die mit dem ersten Laufrad 38B gekoppelt ist, und eine zweite radiale Halterung 62A aufweist, die mit dem zweiten Laufrad 38A gekoppelt ist, und sich die einteilige Zwischenstufendichtung 60 längs des Umfangs über wenigstens zwei der mehreren ersten Nuten 52B oder wenigstens zwei der mehreren zweiten Nuten 52A erstreckt.

#### Bezugszeichenliste

##### [0030]

- 10 System
- 12 Gasturbine
- 16 Lufteinlassabschnitt
- 18 Verdichter
- 20 Brennkammerabschnitt
- 22 Turbine
- 24 Auslassabschnitt
- 26 Welle
- 28 Brennkammergehäuse
- 30 Brennkammer
- 32 Längsachse
- 34 Stufe
- 36 Laufschaufel
- 38 Laufräder

48	Richtung
50	Laufradstützabschnitt
52	Nuten
54	Untere Segmente
56	Richtung
58	Richtung
60	Zwischenstufendichtung
62	Radiale Halterungen
64	Zwischenstufenraum
66	Innerer Radius
68	Oberer Radius
70	Oberer Radius
72	Unterer Radius
74	Unterer Radius
76	Strömungspfad
78	Dichtungszähne
80	Aussenfläche
82	Radiale Haltevorsprünge
84	Axiale Haltevorsprünge
86	Rand
88	Seildichtungsnut
90	Deckplattenabschnitt
92	Seildichtungsnutwechselwirkungsabschnitt
94	Randwechselwirkungsabschnitt
95	Axialer Vorsprung
96	Kanal
98	Seildichtung
99	Seildichtungsnut
108	Axialrichtung
110	Axialrichtung
118	Vorsprünge
120	Nasen
122	Nasen
124	Richtung
126	Radialrichtung
128	Richtung

- 138 Radialrichtung
- 140 Axialrichtung
- 142 Axialrichtung
- 144 Richtung
- 154 Richtung
- 156 Spalt
- 168 Unterseite

### Patentansprüche

1. Mehrstufige Turbine (22), die aufweist:
  - eine erste Turbinenstufe (34), die ein erstes Laufrad (38B) mit mehreren ersten Nuten (52B), die in Umfangsrichtung rings um das erste Laufrad (38B) voneinander beabstandet angeordnet sind, und mehrere erste Laufschaufelsegmente aufweist, die jeweils mit wenigstens einer der ersten Nuten (52B) gekoppelt sind;
  - eine zweite Turbinenstufe (34), die ein zweites Laufrad (38A) mit mehreren zweiten Nuten (52A), die in Umfangsrichtung rings um das zweite Laufrad (38A) voneinander beabstandet angeordnet sind, und mehrere zweite Laufschaufelsegmente aufweist, die jeweils mit wenigstens einer der zweiten Nuten (52A) gekoppelt sind;
  - eine einteilige, ringförmige Zwischenstufendichtung (60), die sich axial zwischen dem ersten und dem zweiten Laufrad (38B, 38A) erstreckt, wobei die einteilige, ringförmige Zwischenstufendichtung (60) eine erste radiale Halterung (62B), die mit dem ersten Laufrad (38B) gekoppelt ist, und eine zweite radiale Halterung (62A) aufweist, die mit dem zweiten Laufrad (38A) gekoppelt ist, und sich die einteilige, ringförmige Zwischenstufendichtung (60) in Umfangsrichtung über wenigstens zwei der mehreren ersten Nuten (52B) oder wenigstens zwei der mehreren zweiten Nuten (52A) erstreckt.
2. Mehrstufige Turbine (22) nach Anspruch 1, wobei die einteilige Zwischenstufendichtung (60) eine einteilige Ringdichtung (60) ist, die sich in Umfangsrichtung überall die mehreren ersten Nuten (52B) und all die mehreren zweiten Nuten (52A) erstreckt.
3. Mehrstufige Turbine (22) nach Anspruch 1, wobei die erste radiale Halterung (62B) mehrere erste radiale Haltevorsprünge (82, 82B) aufweist und jeder erste radiale Haltevorsprung (82, 82B) in einer der mehreren ersten Nuten (52B) angeordnet ist, um eine Bewegung der einteiligen ringförmigen Zwischenstufendichtung (60) in einer Radialrichtung durch Formschluss zu blockieren.
4. Mehrstufige Turbine (22) nach Anspruch 3, wobei jeder erste radiale Haltevorsprung (82, 82B) einen ersten Schwabenschwanzvorsprung (82, 82B) aufweist und jede der mehreren ersten Nuten (52B) eine Schwabenschwanznut (52B) aufweist.
5. Mehrstufige Turbine (22) nach Anspruch 3, wobei jedes erste Schaufelsegment in einer der mehreren ersten Nuten (52B) angeordnet ist, um eine Bewegung eines von den ersten radialen Haltevorsprüngen (82, 82B) in einer Axialrichtung zu blockieren.
6. Mehrstufige Turbine (22) nach Anspruch 5, wobei die einteilige, ringförmige Zwischenstufendichtung (60) derart konfiguriert ist, dass sie entlang der Axialrichtung über das erste Laufrad (38) zwischen das erste und zweite Laufrad (38) eingebracht werden kann, sofern die mehreren ersten Laufschaufelsegmente aus den mehreren ersten Nuten (52B) entfernt sind, wobei jeder erste radiale Haltevorsprung (82) derart konfiguriert ist, um beim Einbringen der einteiligen Zwischenstufendichtung (60) entlang der Axialrichtung durch eine der mehreren ersten Nuten (52) in der Axialrichtung hindurchzupassen.
7. Mehrstufige Turbine (22) nach Anspruch 3, wobei die zweite radiale Halterung (62A) mehrere zweite radiale Haltevorsprünge (82, 82A) aufweist und jeder zweite radiale Haltevorsprung (82, 82A) in einer der mehreren zweiten Nuten (52A) angeordnet ist, um eine Bewegung der einteiligen, ringförmigen Zwischenstufendichtung (60) in der Radialrichtung durch Formschluss zu blockieren.
8. Mehrstufige Turbine (22) nach Anspruch 3, wobei die zweite radiale Halterung (62A) wenigstens einen axialen Haltevorsprung (84) aufweist, der konfiguriert ist, um mit einem radialen Widerlager des zweiten Laufrads (38A) in Kontakt zu stehen, um eine Bewegung der einteiligen, ringförmigen Zwischenstufendichtung (60) in der Radialrichtung durch Formschluss zu blockieren.
9. Mehrstufige Turbine (22) nach Anspruch 1, wobei sich die mehreren ersten Nuten (52B) von einem ersten inneren Radius (74) zu einem ersten äusseren Radius (70) erstrecken, sich die mehreren zweiten Nuten (52) von einem zweiten inneren Radius (72) zu einem zweiten äusseren Radius (68) erstrecken, die einteilige ringförmige Zwischenstufendichtung (60) eine Wand aufweist, die sich zwischen dem ersten und dem zweiten Laufrad (38B, 38A) erstreckt, die Wand einen Innenradius (66) aufweist, der grösser als oder gleich sowohl dem ersten als auch dem zweiten in-

## **CH 703 590 B1**

- neren Radius (74, 72) der ersten bzw. zweiten Nuten (52B, 52A) ist, und der Innenradius (66) grösser als oder gleich wenigstens dem ersten und/oder zweiten äusseren Radius (70, 68) der ersten bzw. zweiten Nuten (52B, 52A) ist.
10. Mehrstufige Turbine (22) nach Anspruch 9, wobei die Wand eine äussere radiale Begrenzung einer Luftkühlungskammer zwischen dem ersten und dem zweiten Laufrad (38) definiert.

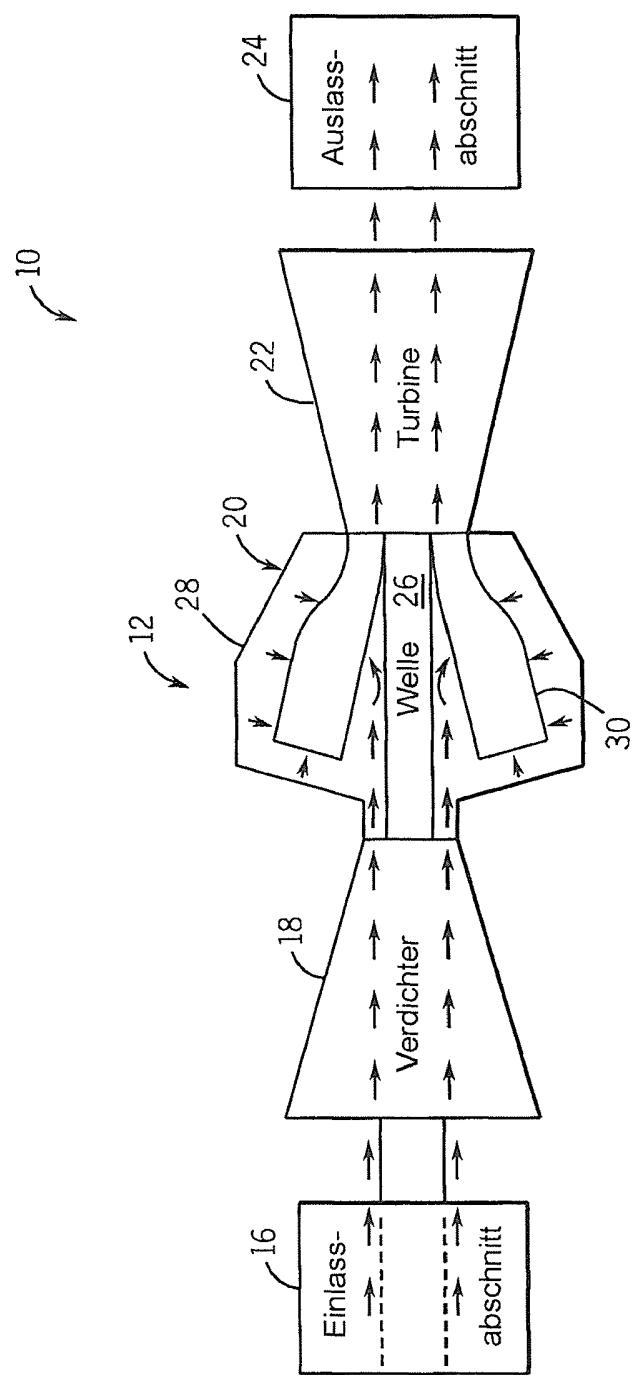
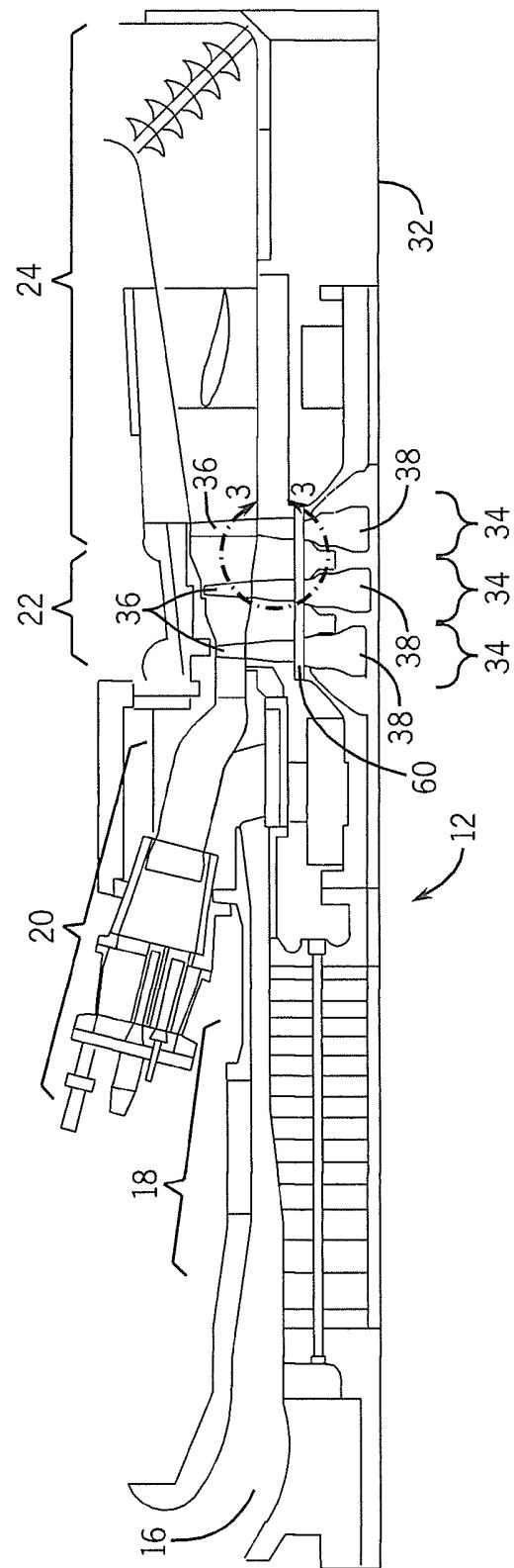


FIG. 1



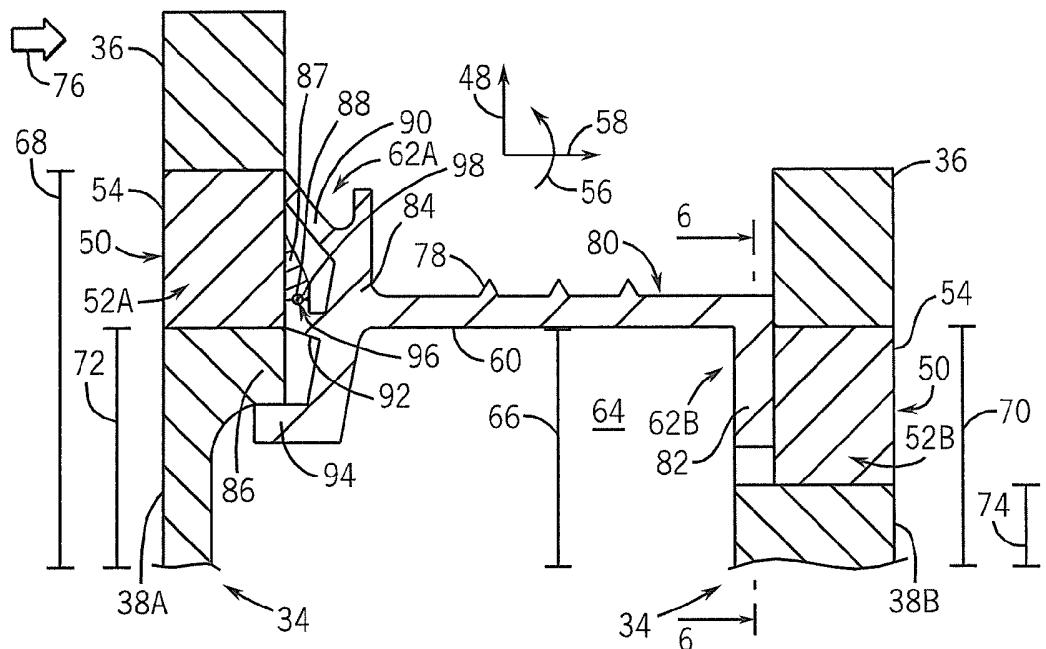


FIG. 3

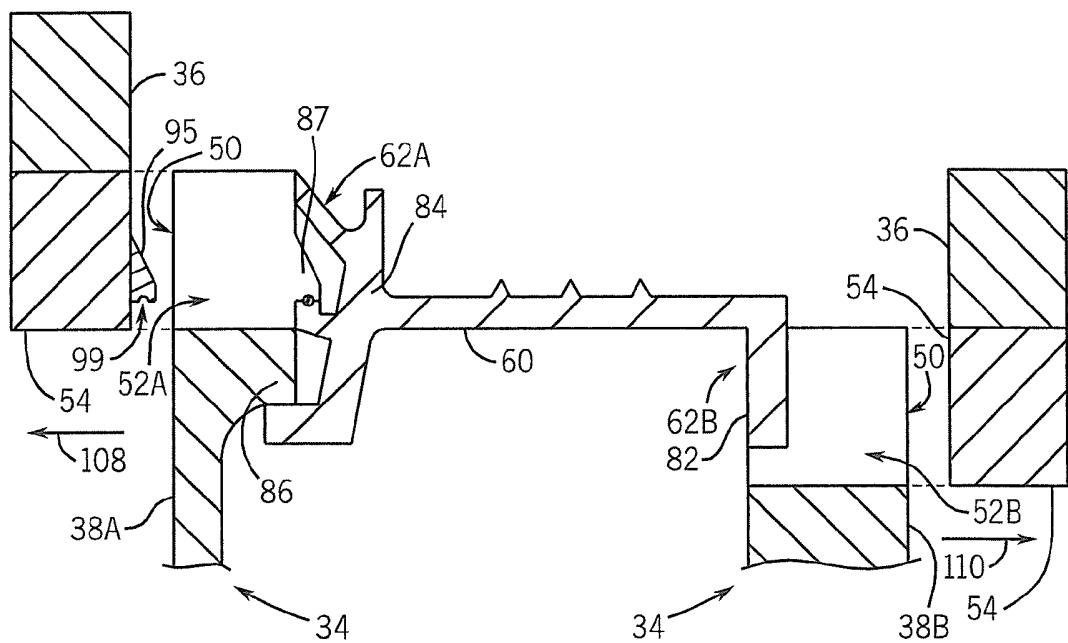


FIG. 4

