



(10) **DE 10 2010 016 995 A1** 2010.12.02

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 016 995.1**

(22) Anmeldetag: **18.05.2010**

(43) Offenlegungstag: **02.12.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F01D 11/22** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**12/472,195 26.05.2009 US**

(74) Vertreter:  
**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

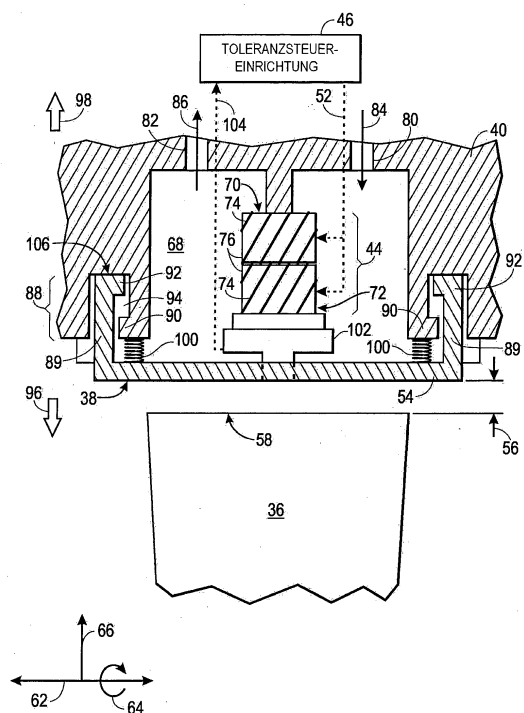
(71) Anmelder:  
**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US**

(72) Erfinder:  
**Bhatnagar, Shubhra, Bangalore, Karnataka, IN;  
Shastry, Chakrakody Girish, Kundalahalli,  
Bangalore, IN**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zur Abstandssteuerung**

(57) Zusammenfassung: In einem Ausführungsbeispiel enthält ein System (10) eine Turbinen-Abstandssteuereinrichtung (46). Die Turbinen-Abstandssteuereinrichtung (46) ist dazu eingerichtet, Abstände (56) einer Anzahl von Mantelsegmenten (44), die um eine Anzahl von Schaufeln (26, 36) angeordnet sind, durch erste (70) und zweite (72) einander gegenüberliegende Magnete, die in feststehenden und beweglichen Abschnitten (54) jedes Mantelsegments (44) angeordnet sind, voneinander unabhängig anzupassen.



**Beschreibung****HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die im Vorliegenden offenbarte Erfindung betrifft Abstandssteuerungstechniken und spezieller ein System zum Anpassen des Abstands zwischen einer stationären Komponente und einer rotierenden Komponente einer rotierenden Maschine.

**[0002]** In gewissen Anwendungen kann zwischen Komponenten, die sich in Bezug zueinander bewegen, ein Abstand vorhanden sein. Beispielsweise kann ein Abstand zwischen rotierenden und stationären Komponenten in einer rotierenden Maschine, wie einem Verdichter, einer Turbine oder dergleichen, vorhanden sein. Der Abstand kann während des Betriebs der rotierenden Maschine aufgrund von Temperaturänderungen oder aufgrund sonstiger Faktoren größer oder kleiner werden. In Turbinentriebwerken ist es wünschenswert, während Einschwingbedingungen, z. B. während eines Hochfahrvorgangs (z. B., um das Auftreten eines Reibkontakts zwischen einer Turbinenschaufel und einem Mantel zu vermeiden) einen größeren Abstand vorzusehen, und während Dauerbetriebsbedingungen (beispielsweise, um die Leistungsabgabe und den Betriebswirkungsgrad zu steigern) einen geringeren Abstand bereitzustellen.

**KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG**

**[0003]** Im Folgenden sind spezielle Ausführungsbeispiele gemäß dem Gegenstand der ursprünglich vorliegenden Erfindung zusammenfassend beschrieben. Diese Ausführungsbeispiele sollen den Schutzbereich der vorliegenden Erfindung nicht begrenzen, vielmehr sollen diese Ausführungsbeispiele lediglich eine Kurzbeschreibung möglicher Ausprägungen der Erfindung unterbreiten. In der Tat kann die Erfindung vielfältige Ausprägungen abdecken, die den nachstehend dargelegten Ausführungsbeispielen ähneln oder sich von diesen unterscheiden können.

**[0004]** In einem Ausführungsbeispiel enthält ein System ein Turbinentriebwerk. Das Turbinentriebwerk weist eine Welle mit einer Drehachse auf. Das Turbinentriebwerk enthält ferner mehrere Laufschaufeln, die mit der Welle verbunden sind. Darüber hinaus weist das Turbinentriebwerk einen Mantel mit einer Anzahl von Segmenten auf, die rund um den Umfang um die Anzahl von Schaufeln angeordnet sind. Jedes der Segmente enthält einen feststehenden Mantelabschnitt mit einem ersten Magneten und einen beweglichen Mantelabschnitt mit einem zweiten Magneten, der dem ersten Magneten gegenüberliegt. In jedem Segment basiert mindestens entweder der erste und/oder der zweite Magnet auf einem Elektromagneten, wobei der bewegliche Mantelabschnitt durch den ersten und zweiten Magneten ma-

gnetisch betätigt wird, so dass er sich in Bezug auf die Rotationsachse der Welle in eine radiale Richtung bewegt, um einen Abstand zwischen der Anzahl von Schaufeln und dem beweglichen Mantelabschnitt zu ändern.

**[0005]** In noch einem Ausführungsbeispiel enthält ein System einen ringförmigen Mantel. Der ringförmige Mantel ist dazu eingerichtet, um sich rund um mehrere Laufschaufeln eines Verdichters oder einer Turbine zu erstrecken. Der ringförmige Mantel basiert auf einem feststehenden Mantelabschnitt, der einen ersten Elektromagneten aufweist, und auf einem beweglichen Mantelabschnitt, der einen zweiten Elektromagneten aufweist. Der bewegliche Mantelabschnitt wird durch den ersten und zweiten Elektromagneten magnetisch betätigt, so dass er sich in Bezug auf eine Rotationsachse der Laufschaufeln in eine radiale Richtung bewegt, um einen Abstand zwischen der Anzahl von Schaufeln und dem beweglichen Mantelabschnitt zu ändern.

**[0006]** In noch einem weiteren Ausführungsbeispiel enthält ein System eine Turbinen-Abstandssteuereinrichtung. Die Turbinen-Abstandssteuereinrichtung ist dazu eingerichtet, Abstände einer Anzahl von Mantelsegmenten, die um eine Anzahl von Schaufeln angeordnet sind, durch erste und zweite, einander gegenüberliegende Magnete voneinander unabhängig anzupassen, die in feststehenden und beweglichen Abschnitten jedes Mantelsegments angeordnet sind.

**KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN**

**[0007]** Diese und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nach dem Lesen der nachfolgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen verständlicher, in denen übereinstimmende Teile durchgängig mit übereinstimmenden Bezugszeichen versehen sind:

**[0008]** [Fig. 1](#) veranschaulicht in einem schematischen Blockschaltbild ein System, das ein Gasturbinentriebwerk mit einer Turbine enthält, die ein magnetisch betätigtes Abstandssteuerungssystem aufweist, gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0009]** [Fig. 2](#) veranschaulicht in einer partiellen axialen Querschnittsansicht der Turbine von [Fig. 1](#) ein Ausführungsbeispiel eines magnetisch betätigten Elements des Abstandssteuerungssystems von [Fig. 1](#);

**[0010]** [Fig. 3](#) veranschaulicht in einem vergrößerten axialen Querschnitt das magnetisch betätigte Element, genommen innerhalb der gekrümmten Linie 3-3 von [Fig. 2](#), in einer ersten radialen Position;

**[0011]** [Fig. 4](#) veranschaulicht in einem vergrößerten axialen Querschnitt das magnetisch betätigte Element, genommen innerhalb der gekrümmten Linie 3-3 von [Fig. 2](#), jedoch in einer zweiten radialen Position;

**[0012]** [Fig. 5](#) zeigt in einer partiellen radialen Querschnittsansicht die Turbine von [Fig. 1](#), gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

**[0013]** [Fig. 6](#) veranschaulicht in einer vereinfachten partiellen radialen Querschnittsansicht der Turbine von [Fig. 1](#) die aufgrund von Wärmeausdehnung auftretende Verformung der Turbine, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

**[0014]** [Fig. 7](#) veranschaulicht in einem Flussdiagramm ein Verfahren zum Anpassen einer Abstandseinstellung, basierend auf einer Betriebsbedingung eines Turbinensystems, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

**[0015]** [Fig. 8](#) veranschaulicht in einem Flussdiagramm ein Verfahren zum Anpassen einer Abstandseinstellung zumindest teilweise basierend auf einer Analyse eines Ist- und eines Soll-Abstands, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0016]** Ein oder mehrere spezielle Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend beschrieben. In dem Bemühen, eine kurzgefasste Beschreibung dieser Ausführungsbeispiele vorzulegen, sind möglicherweise nicht sämtliche Ausstattungsmerkmale einer tatsächlichen Verwirklichung in der Beschreibung aufgeführt. Es sollte aber klar sein, dass bei der Entwicklung einer jeden solchen Verwirklichung, wie in jedem technischen oder konstruktiven Projekt, zahlreiche für eine Verwirklichung spezifische Entscheidungen zu treffen sind, um spezielle Ziele der Entwickler zu erreichen, z. B. Konformität mit systembezogenen und wirtschaftlichen Beschränkungen, die von einer Verwirklichung zur anderen unterschiedlich sein können. Darüber hinaus sollte es klar sein, dass eine solche Entwicklungsbemühung komplex und zeitraubend sein kann, jedoch nichtsdestoweniger für den Fachmann, der über den Vorteil dieser Offenbarung verfügt, eine Routinemaßnahme der Entwicklung, Fertigung und Herstellung bedeutet.

**[0017]** Wenn Elemente vielfältiger Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung eingeführt werden, sollen die unbestimmten und bestimmten Artikel "ein", "eine", bzw. "der, die, das" etc. das Vorhandensein von mehr als einem Element einschließen. Die Begriffe "umfassen", "enthalten" und "aufweisen" sind

als einschließend zu verstehen und bedeuten, dass möglicherweise zusätzliche Elemente vorhanden sind, die sich von den aufgelisteten Elementen unterscheiden. Beliebige Beispiele von Betriebsparametern und/oder Umgebungsbedingungen schließen andere Parameter/Bedingungen der offenbarten Ausführungsbeispiele nicht aus. Darüber hinaus sollte es klar sein, dass Bezüge auf "ein Ausführungsbeispiel" der vorliegenden Erfindung nicht als Ausschluss der Existenz zusätzlicher, die aufgeführten Merkmale ebenfalls beinhaltender Ausführungsbeispiele interpretiert wird.

**[0018]** Wie nachfolgend im Einzelnen erörtert, betrifft die vorliegende Offenbarung allgemein magnetisch geregelte/gesteuerte Abstandstechniken, die in einem System durchgeführt werden können, beispielsweise in einem auf einem Turbinentriebwerk basierende System (z. B. einem Luftfahrzeug, einer Lokomotive, einem Stromgenerator usw.). In dem hier verwendeten Sinne soll sich der Begriff "Abstand" oder dgl. auf einen Toleranzspielraum oder Spalt beziehen, der zwischen zwei oder mehr Systemkomponenten vorhanden sein kann, die sich während des Betriebs in Bezug zueinander bewegen. Der Abstand kann, wie für den Fachmann ersichtlich, in Abhängigkeit von dem System, von der Art der Bewegung und von sonstigen vielfältigen Faktoren einem Ringspalt, einem linearen Spalt, einem rechtwinkligen Spalt oder einer beliebigen sonstigen Geometrie entsprechen. In einer Anwendung kann der Abstand sich auf den radialen Spalt oder Raum zwischen Gehäusekomponenten beziehen, die eine oder mehrere rotierende Schaufeln eines Verdichters, einer Turbine, oder dergleichen umgeben. Durch ein Steuern/Regeln des Abstands mittels der im Vorliegenden offenbarten Techniken kann die Leckstrommenge zwischen den rotierenden Schaufeln und dem Gehäuse reduziert werden, so dass der Betriebswirkungsgrad gesteigert wird, während die Wahrscheinlichkeit eines Reibkontakts (d. h. einer Berührung zwischen Gehäusekomponenten und den rotierenden Schaufeln) gleichzeitig auf ein Minimum reduziert wird. Es ist klar, dass der Leckstrom einem beliebigen Fluid entsprechen kann, z. B. Luft, Dampf, Verbrennungsgasen, und so fort.

**[0019]** Gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung kann ein Turbinentriebwerk, das die hier offenbarten magnetischen Abstandssteuerungstechniken verwendet, eine Gehäusekomponente mit einem feststehenden Mantelabschnitt und mit einem oder mehreren beweglichen Mantelabschnitten enthalten, die rund um den Umfang um eine Rotationsachse des Turbinentriebwerks positioniert sind, um eine Innenfläche des Gehäuses zu definieren. Jedes der magnetischen Betätigungselemente kann in Reaktion auf Steuersignale, die durch eine Abstandssteuerungseinrichtung bereitgestellt sind, eine radiale Bewegung eines entsprechenden der beweglichen Mantel-

abschnitte hervorbringen. In einem Ausführungsbeispiel kann jeder bewegliche Mantelabschnitt (mittels seines entsprechenden magnetischen Betätigungselements) unabhängig betätigt werden, um für jeden beweglichen Mantelabschnitt unterschiedliche radiale Verschiebungen hervorzubringen. Auf diese Weise kann in Bezug auf die rotierenden Turbinenschaufeln (oder Verdichterlaufschaukeln) ein im Wesentlichen konsistenter Abstand um die Innenfläche des Gehäuses sogar dann aufrecht erhalten werden, falls das Turbinengehäuse selbst unrund ist oder während des Betriebs (beispielsweise aufgrund einer Verformung, die auf eine ungleichmäßige Wärmeausdehnung und dergleichen zurückzuführen ist) unrund wird. Darüber hinaus können die radialen Positionen der beweglichen Mantelabschnitte in einigen Ausführungsbeispielen in Abhängigkeit von einer oder mehreren Betriebsbedingungen des Turbinentriebwerks in Echtzeit angepasst werden. Solche Betriebsbedingungen können durch Sensoren, z. B. Temperatursensoren, Schwingungssensoren, Positionssensoren usw., gemessen werden. Durch die Bereitstellung einer Echtzeitanpassung der verschiebbaren Mantelabschnitte kann der Abstand zwischen dem Turbinengehäuse und den Turbinenschaufeln (oder Verdichterlaufschaukeln) feinangepasst werden, um eine Abwägung zwischen dem Turbinenwirkungsgrad und der Wahrscheinlichkeit einer Berührung (z. B. eines Reibens) zwischen den Turbinenschaufeln und dem Turbinengehäuse zu treffen. In einigen Ausführungsbeispielen kann die Anpassung der verschiebbaren Mantelabschnitte wenigstens teilweise in Abhängigkeit von einer aktuellen Betriebsbedingung der Turbine, d. h. eines Hochfahrvorgangs, eines Dauerbetriebs, einer Maximaldrehzahl, einer Volllast, einer Drosselung usw., bestimmt werden.

**[0020]** Unter Beachtung des Vorausgehenden zeigt [Fig. 1](#) in einem Blockschaltbild ein exemplarisches System **10**, das ein Gasturbinentriebwerk **12** umfasst, das Merkmale einer magnetischen Abstandssteuerung aufweist, gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung. In speziellen Ausführungsbeispielen kann das System **10** auf einem Luftfahrzeug, einem Wasserfahrzeug, einer Lokomotive, einem Stromerzeugungssystem oder einer gewissen Kombination von diesen basieren. Dementsprechend kann das Turbinentriebwerk **12** unterschiedliche Lasten antreiben, beispielsweise einen Generator, einen Propeller, ein Getriebe, ein Antriebssystem oder eine Kombination davon. Das Turbinensystem **10** kann zum Betrieb des Turbinensystems **10** flüssigen oder gasförmigen Brennstoff, z. B. Erdgas und/oder ein wasserstoffreiches Synthesegas, verwenden. Das Turbinentriebwerk **12** weist einen Luftansaugabschnitt **14**, einen Verdichter **16**, einen Brennkammerabschnitt **18**, eine Turbine **20** und einen Auslassabschnitt **22** auf. Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, kann die Turbine **20** antriebsmäßig über eine Welle **24** mit dem Verdichter verbunden 16 sein.

**[0021]** Im Betrieb tritt durch den Luftansaugabschnitt **14** Luft (wie durch die Pfeile angezeigt) in das Turbinensystem **10** ein und kann in dem Verdichter **16** unter Druck gesetzt werden. Der Verdichter **16** kann Verdichterlaufschaukeln **26** aufweisen, die mit der Welle **24** verbunden sind. Die Verdichterlaufschaukeln **26** können den radialen Spalt zwischen der Welle **24** und einer inneren Wand oder Fläche **28** eines Verdichtergehäuses **30** überspannen, in dem die Verdichterlaufschaukeln **26** angeordnet sind. Beispielsweise kann die innere Wand **28** im Wesentlichen ringförmig oder konisch gestaltet sein. Die Rotation der Welle **24** bewirkt eine Rotation der Verdichterlaufschaukeln **26**, so dass Luft in den Verdichter **16** gesaugt und vor dem Eintritt in den Brennkammerabschnitt **18** verdichtet wird. Es ist daher im Allgemeinen erwünscht, zwischen den Verdichterlaufschaukeln **26** und der inneren Wand **28** des Verdichtergehäuses **30** einen kleinen radialen Spalt aufrecht zu erhalten, um eine Berührung zwischen den Verdichterlaufschaukeln **26** und der Innenfläche **28** des Verdichtergehäuses **30** zu vermeiden. Beispielsweise kann eine Berührung zwischen der Verdichterlaufschaukel **26** und dem Verdichtergehäuse **30** eine unerwünschte, im Allgemeinen mit "Reiben" bezeichnete Bedingung zur Folge haben und kann an einer oder mehreren Komponenten des Turbinentriebwerks **12** Schäden hervorrufen.

**[0022]** Der Brennkammerabschnitt **18** weist ein Brennkammergehäuse **32** auf, das konzentrisch oder ringförmig um die Welle **24** und axial zwischen dem Verdichterabschnitt **16** und der Turbine **20** angeordnet ist. In dem Brennkammergehäuse **32** kann der Brennkammerabschnitt **20** mehrere Brennkammern **34** aufweisen, die an mehreren Umfangspositionen in einer im Wesentlichen runden oder ringförmigen Anordnung um die Welle **24** angeordnet sind. Während verdichtete Luft den Verdichter **16** verlässt und in jede der Brennkammern **34** eintritt, kann die verdichtete Luft in jeder entsprechenden Brennkammer **34** zur Verbrennung mit Brennstoff vermischt werden. Beispielsweise kann jede Brennkammer **34** eine oder mehrere Brennstoffdüsen aufweisen, die in die Brennkammer **34** ein Brennstoff-Luft-Gemisch in einem Verhältnis injizieren können, das geeignet ist, die Verbrennung, die Emissionen, den Brennstoffverbrauch und die Leistungsabgabe zu optimieren. Die Verbrennung der Luft und des Brennstoffs kann heiße, unter Druck gesetzte Abgase erzeugen, die anschließend genutzt werden können, um eine oder mehrere Turbinenschaufeln **36** in der Turbine **20** anzutreiben.

**[0023]** Die Turbine **20** kann die oben erwähnten Turbinenschaufeln **36** und ein Turbinengehäuse **40** enthalten. Die Turbinenschaufeln **36** können mit der Welle **24** verbunden sein und den radialen Spalt zwischen der Welle **24** und der innenliegenden oder inneren Wand **38** des Turbinengehäuses **40** überspan-

nen. Beispielsweise kann die innere Wand **38** im Wesentlichen ringförmig oder konisch gestaltet sein. Die Turbinenschaufeln **36** sind im Allgemeinen durch einen kleinen radialen Spalt von der inneren Wand **38** des Turbinengehäuses **40** getrennt, um das Auftreten einer Berührung (Reibung) zwischen den Turbinenschaufeln **36** und der inneren Wand **38** des Turbinengehäuses **40** zu vermeiden. Es ist klar, dass eine Berührung zwischen den Turbinenschaufeln **36** und dem Turbinengehäuse **40**, wie oben erörtert, Reibung hervorrufen kann, die möglicherweise Schäden an einer oder mehreren Komponenten des Turbinentriebwerks **12** hervorruft.

**[0024]** Die Turbine **20** kann ein Laufradelement enthalten, das jede der Turbinenschaufeln **36** mit der Welle **24** verbindet. Darüber hinaus weist die in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel dargestellte Turbine **20** drei Stufen auf, wobei jede Stufe durch eine entsprechende der veranschaulichten Turbinenschaufeln **36** repräsentiert ist. Es sollte jedoch klar sein, dass andere Konstruktionen eine größere oder geringere Anzahl von Turbinenstufen aufweisen können. Im Betrieb strömen die in und durch die Turbine **20** strömenden Verbrennungsgase gegen die Turbinenschaufeln **36** und zwischen diese und versetzen dadurch die Turbinenschaufeln **36** und damit die Welle **24** in Drehung, um eine Last anzutreiben. Die Rotation der Welle **24** bewirkt darüber hinaus, dass die in dem Verdichter **16** angeordneten Schaufeln **26** die durch die Ansaugöffnung **14** aufgenommene Luft ansaugen und verdichten. Darüber hinaus können die den Auslassabschnitt **22** verlassenden Abgase in einigen Ausführungsbeispielen beispielsweise als eine Schubenergiequelle für ein Fahrzeug, z. B. für ein Düsenflugzeug, genutzt werden.

**[0025]** Wie weiter in [Fig. 1](#) gezeigt, kann das Turbinensystem **10** ein Abstandssteuerungssystem enthalten. Das Abstandssteuerungssystem kann mehrere magnetische Betätigungselemente **44**, eine Abstandssteuereinrichtung **46** und vielfältige Sensoren **48** enthalten, die an vielfältigen Stellen in dem Turbinensystem **10** angeordnet sind. Die magnetischen Aktuatoren **44** können genutzt werden, um einen radial beweglichen Abschnitt des Verdichtergehäuses **30** oder des Turbinengehäuses **40** in Abhängigkeit von Signalen **52** zu positionieren, die von der Abstandssteuereinrichtung **46** her aufgenommen werden. Die Abstandssteuereinrichtung **46** kann unterschiedliche Hardware und/oder Softwarekomponenten enthalten, die dafür programmiert sind, Programmroutinen und Algorithmen auszuführen, die dazu dienen, den Abstand (z. B. einen radialen Spalt) zwischen den Turbinenschaufeln **36** und dem Turbinengehäuse **40** und/oder zwischen den Verdichterschaufeln **26** und dem Verdichtergehäuse **30** anzupassen. Die Sensoren **48** können genutzt werden, um vielfältige Daten **50**, die Betriebsbedingungen des Turbinentriebwerks **12** kennzeichnen, zu der Ab-

standssteuereinrichtung **46** zu übertragen, so dass die Abstandssteuereinrichtung **46** die magnetischen Aktuatoren **44** entsprechend anpassen kann. Lediglich als Beispiel erwähnt, können die Sensoren **48** auf Temperatursensoren zum Erfassen einer Temperatur, auf Schwingungssensoren, um Schwingungen zu erfassen, auf Strömungssensoren, um eine Strömungsrate zu erfassen, auf Positionssensoren oder auf beliebigen sonstigen Sensoren basieren, die zum Detektieren vielfältiger Betriebsbedingungen der Turbine **12**, beispielsweise einer Rotationsgeschwindigkeit der Welle **24**, einer Leistungsabgabe, usw., geeignet sind. Die Sensoren **48** können bei/in einer beliebigen Komponente des Turbinensystems **10**, beispielsweise ist dies die Ansaugöffnung **14**, der Verdichters **16**, die Brennkammer **18**, die Turbine **20** und/oder der Auslassabschnitts **20** usw., angeordnet sein. Es ist klar, dass sich durch eine in dieser Weise während des Betriebes des Turbinentriebwerks **12** durchgeführten Minimierung des Laufschaufelabstands ein größerer Teil der mittels der Verbrennung von Brennstoff in dem Brennkammerabschnitt **18** durch die Turbine erzeugten Leistung **20** auffangen lässt.

**[0026]** Die im Vorliegenden beschriebenen Abstandssteuerungstechniken sind besser zu verstehen mit Bezug auf [Fig. 2](#), in der ein partieller axialer Querschnitt des Turbinenabschnitts **20** von [Fig. 1](#) gezeigt ist. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, kann das Turbinengehäuse **40** einen beweglichen Mantelabschnitt **54** aufweisen, der die oben erwähnte Innenfläche oder innere Wand **38** des Turbinengehäuses **40** definiert. Wie oben erwähnt, kann der Abstand zwischen der Turbinenschaufel **36** und der inneren Wand **38** des beweglichen Mantelabschnitts **54** durch einen radialen Spalt **56** gebildet sein, der den Abstand zwischen der inneren Fläche oder Wand **38** des beweglichen Mantelabschnitts **54** und der Spitze **58** der Schaufel **36** überspannt. Dieser Abstand oder radiale Spalt **56** verhindert eine Berührung zwischen den Turbinenschaufeln **36** und dem Turbinengehäuse **40** und bildet einen Pfad für Verbrennungsgase, so dass diese die Turbinenschaufeln **36** umgehen, während sie entlang der Axialrichtung, d. h. in Richtung des Auslassabschnitts **22**, stromabwärts strömen. Es ist klar, dass ein Gasleckstrom allgemein unerwünscht ist, da von dem vorbei geleiteten Gas ausgehende Energie nicht durch die Turbinenlaufschaufeln **36** aufgefangen wird und nicht in Rotationsenergie umgewandelt wird, was den Wirkungsgrad und die Leistungsabgabe des Turbinentriebwerks **12** mindert. D. h., der Wirkungsgrad des Turbinensystems hängt wenigstens teilweise von der Quantität der durch die Turbinenlaufschaufeln **36** aufgefangenen Verbrennungsgasen ab. Eine Reduzierung des radialen Spalts **56** kann daher die Leistungsabgabe der Turbine **20** steigern. Falls der radiale Spalt **56**, wie oben erwähnt, zu klein ist, kann zwischen den Turbinenschaufeln **36** und dem Turbinengehäuse **40** allerdings Reibung auftre-

ten, mit der möglichen Folge von Schäden an Komponenten des Turbinentriebwerks **12**.

**[0027]** Um eine angemessene Abwägung zwischen einer Steigerung des Wirkungsgrads der Turbine **20** und einer Verringerung der Wahrscheinlichkeit einer Berührung oder einer Reibung zwischen den Turbinenschaufeln **36** und dem Turbinengehäuse **40** zu treffen, können die magnetischen Betätigungselemente **44** genutzt werden, um den beweglichen Mantelabschnitt **54** in radialer Richtung gegen die Rotationsachse (z. B. der Achse längs der Welle **24**) der Turbine **20** zu bewegen oder davon zu entfernen, um die Abmessung des radialen Spalts **56** zu steigern oder zu verringern. In dem hier veranschaulichten Ausführungsbeispiel ist der bewegliche Mantelabschnitt **54** unmittelbar mit dem Turbinengehäuse **40** verbunden dargestellt. In weiteren Ausführungsbeispielen kann ein intermediäres Mantelsegment intermediär zwischen dem Gehäuse **40** und dem beweglichen Mantelabschnitt **54** angebracht sein. D. h., der bewegliche Mantelabschnitt **54** kann mit einem intermediären Mantelsegment verbunden sein, und das intermediäre Mantelsegment kann mit dem Turbinengehäuse **40** verbunden sein. Somit kann eine im Wesentlichen ringförmigen Mantelkonstruktion, die die Turbinenschaufeln **36** umgibt, in Abhängigkeit von der speziellen Konstruktion des Turbinenabschnitts **20** die beweglichen Mantelabschnitte **54** und das Turbinengehäuse **40** aufweisen, oder sie kann die beweglichen Mantelabschnitte **54**, intermediären Mantelabschnitte und das Turbinengehäuse **40** aufweisen.

**[0028]** Wie ohne weiteres aus [Fig. 3](#) zu entnehmen, kann der magnetische Aktuator **44** in einem Ausführungsbeispiel zwischen dem Turbinengehäuse **40** und dem beweglichen Mantelabschnitt **54** angeordnet sein. Außerdem versteht es sich, dass die in [Fig. 2](#) gezeigten Mantelanpassungstechniken in Verbindung mit einer oder mehreren beliebigen der veranschaulichten Turbinenschaufeln **36** genutzt werden können. Beispielsweise können die Mantelanpassungstechniken in einer mehrstufigen Turbine in jeder Stufe bewegliche Mantelabschnitte **54** bereitstellen. Darüber hinaus sollte es klar sein, dass die hier erörterten Mantelanpassungstechniken auch in ähnlicher Weise genutzt werden können, um den Abstand in Zusammenhang mit den Verdichterschaukeln **26** in dem Verdichtergehäuse **30** zu steuern.

**[0029]** Mit Bezugnahme auf [Fig. 3](#) ist eine Detailansicht der beweglichen Mantelelemente gezeigt, die in dem Bereich veranschaulicht sind, der durch die gekrümmte Linie 3-3 von [Fig. 2](#) definiert ist. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist die Rotationsachse der Turbine **20** durch den Pfeil **62** dargestellt, die Drehrichtung der Turbinenschaufeln **36** ist durch den Pfeil **64** gezeigt, und die Radialrichtung ist durch den Pfeil **66** gezeigt. Wie deutlicher in [Fig. 3](#) zu sehen, ist das

magnetische Betätigungselement **44** im Inneren eines Hohlraums **68** zwischen dem Turbinengehäuse **40** und dem beweglichen Mantelabschnitt **54** angeordnet. Insbesondere kann der magnetische Aktuator **44** einen ersten Magneten **70** und einen zweiten Magneten **72** aufweisen. Der erste Magnet **70** (im Folgenden der "stationäre Magnet") kann mit dem Turbinengehäuse **40** verbunden sein und bleibt während des Betriebs des magnetischen Aktuators **44** in Bezug auf das Gehäuse **40** stationär. Der zweite Magnet **72** (im Folgenden der "bewegliche Magnet") kann mit dem beweglichen Mantelabschnitt **54** verbunden sein und kann sich während des Betriebs in Bezug auf das Gehäuse **40** bewegen.

**[0030]** In dem veranschaulichten Ausführungsbeispiel kann die Polarität der Magneten **70** und **72** fluchtend ausgerichtet sein, um zwischen dem stationären Magneten **70** und dem beweglichen Magneten **72** eine abstoßende Kraft vorzusehen. In einigen Ausführungsbeispielen können der stationäre Magnet **70** und/oder der bewegliche Magnet **72** Elektromagnete sein. Beispielsweise kann jeder der Magneten **70** und **72**, wie in [Fig. 3](#) gezeigt, eine Drahtspule **74** aufweisen, die gewickelt um einen Magnetkern **76** ist und mit der Abstandssteuereinrichtung **46** elektrisch verbunden ist. Beispielsweise kann die Spule **74** einen beliebigen geeigneten Leiter, z. B. aus Kupfer, enthalten, und der Kern **76** kann auf einem beliebigen geeigneten Magnetkernmaterial, z. B. Eisen, basieren. Darüber hinaus können die Magnete **70** und **72** in anderen Ausführungsbeispielen Hufeisenmagnete oder Magnetspulen beinhalten. Selbstverständlich wird die Ausrichtung der Magneten **70** und **72** von der Art der verwendeten magnetischen Elemente abhängen.

**[0031]** In einigen Ausführungsbeispielen kann die Wärme, die von den Verbrennungsgasen ausgeht, die die Turbine **20** durchströmen, eine hohe Temperatur in dem Hohlraum **68** hervorrufen. Beispielsweise kann die Temperatur in dem Hohlraum **68** während des Betriebes des Turbinentriebwerks **12** etwa 800 bis 1700 Grad Fahrenheit oder darüber erreichen. Dementsprechend können die Spule **74** und der Kern **76**, die jeweils dem stationären Magneten **70** und dem beweglichen Magneten **72** entsprechen, auf Materialien basieren, die bei hohen Temperaturen stabil sind und geeignete elektrische Eigenschaften aufweisen. Lediglich als Beispiel kann die Spule **74** in einigen Ausführungsbeispielen auf Nickel basieren, und der Kern **76** kann auf einer Eisen/Kobalt/Vanadium-Legierung basieren, z. B. Vacoflux50® (etwa 49,0% Kobalt, 1,9% Vanadium und 49,1% Eisen), das von Vacuumschmelze GmbH, Hanau, Hessen, Deutschland beziehbar ist, oder Hiperco50® (etwa 48,75% Kobalt, 1,9% Vanadium, 0,01% Kohlenstoff, 0,05% Silizium, 0,05% Columbium/Niob, 0,05% Mangan und 49,19% Eisen), das von Carpenter Technology Corporation of Wyomissing, Pennsylva-

nia, USA bezogen werden kann. Darüber hinaus kann das Gehäuse **40**, um die Temperaturen in dem Hohlraum **68** zu verringern, Entlüftungskanäle **80** und **82** aufweisen, die einen Strömungspfad für ein Kühlfluid vorsehen, das, wie durch die Strömungspfeile **84** und **86** gezeigt, durch den Hohlraum **68** zirkuliert. In einem Ausführungsbeispiel kann das Kühlfluid ein Teil der Luft sein, die aus dem Verdichter **16** ausgestoßen wird.

**[0032]** Wie weiter in [Fig. 3](#) gezeigt, kann der bewegliche Mantelabschnitt **54** betriebsmäßig durch eine oder mehrere Nuten **88** mit dem Gehäuse **40** verbunden sein. Beispielsweise können die Nuten **88** in dem Gehäuse **40** einen Flansch **90** aufweisen, der mit einem entsprechenden Flansch **92** in Eingriff kommt, der mit einer Führung oder Leiste **89** auf dem beweglichen Mantelabschnitt **54** verbunden ist. Die Nuten **88** und die Leisten **89** können in Bezug auf die Achse **62** in Umfangsrichtung ausgerichtet sein. Beispielsweise kann sich die Nut **88** entlang des Umfangs durch das Gehäuse **40** erstrecken und kann der (den Flansch **92** aufweisenden) Leiste **89** des beweglichen Mantelabschnitts **54** erlauben, während des Zusammenbaus in die Nut **88** zu gleiten. Somit erlaubt ein Hohlraum **94** innerhalb der Nut **88**, nachdem die Leiste **89** des beweglichen Mantelabschnitts **54** in die Nut **88** eingeführt ist, dem beweglichen Mantelabschnitt **54**, sich radial (längs der radialen Achse **66**) in Richtung der Rotationsachse **62** (Pfeil **96**) zu bewegen, um die Spaltweite **56** (d. h. den Abstand) zu verringern, oder sich radial (längs der radialen Achse **66**) von der Rotationsachse **62** (Pfeil **98**) zu entfernen, um die Spaltweite **56** (d. h. den Abstand) zu vergrößern. Beispielsweise kann der bewegliche Mantelabschnitt **54** in einigen Ausführungsbeispielen einen Bewegungsbereich von höchstens etwa 25, 50, 75, 100, 125 oder 150 Millimeter aufweisen. In weiteren Ausführungsbeispielen kann der bewegliche Mantelabschnitt **54** einen Bewegungsbereich von weniger als 25 Millimeter oder mehr als 150 Millimeter aufweisen. Darüber hinaus können gesonderte Nuten **88**, wie in [Fig. 3](#) veranschaulicht, an jedem gegenüberliegenden axialen Ende des Hohlraums **68** angeordnet sein, um Flansche **92** aufzunehmen, die sich von Leisten **89** aus erstrecken, die mit gegenüberliegenden axialen Enden des beweglichen Mantelabschnitts **54** verbunden sind. D. h., jeder bewegliche Mantelabschnitt **54** kann mit einem Paar Leisten **89** verbunden sein, die in Bezug auf die Achse **62** in Umfangsrichtung ausgerichtet sind, und die dazu eingerichtet sind, den beweglichen Mantelabschnitt **54** mit den Nuten **88** an dem Gehäuse **40** zu verbinden.

**[0033]** In dem veranschaulichten Ausführungsbeispiel kann der bewegliche Mantelabschnitt **54** ferner über ein oder mehrere Vorspannelemente, die hier als Federn dargestellt und durch Bezugszeichen **100** bezeichnet sind, mit dem Gehäuse **40** verbunden sein. Die Federn **100** können den beweglichen Man-

telabschnitt **54** im Ruhezustand in Radialrichtung weg von der Rotationsachse **62** der Turbine **20**, d. h. in Richtung **98**, vorspannen. Auf diese Weise ist eine störungssichere Vorrichtung geschaffen, bei der der bewegliche Mantelabschnitt **54** radial von der Rotationsachse **62** weg bewegt wird, so dass der Abstand **56** (d. h. die Spaltweite) zwischen der inneren Wand **38** des Turbinengehäuses **40** und den Turbinenschaufeln **36** vergrößert wird, falls die Magnete **70** und **72** (beispielsweise aufgrund einer elektrischen oder mechanischen Störung oder einer Fehlfunktion) ausfallen sollten. Es ist klar, dass die Feder(n)/Vorspannelemente **100** an einer beliebigen geeigneten Stelle zwischen dem Turbinengehäuse **40** und dem beweglichen Mantelabschnitt **54** angeordnet sein können.

**[0034]** Der bewegliche Mantelabschnitt **54** kann mit einem Abstand- oder Abstandssensor **102** verbunden sein, der dazu eingerichtet ist, einen Abstand **56**, d. h. die Spaltweite, durch Messen eines Abstands zwischen der Bodenfläche **38** des beweglichen Mantelabschnitts **54** und der Spitze **58** der Schaufel **36** zu erfassen. Es ist klar, dass der Sensor **102** ein beliebiger geeigneter Typ eines Abstandssensors sein kann, beispielsweise ein kapazitiver, induktiver oder fotoelektrischer Abstandssensor. Ein von dem Abstandssensor **102** stammendes Ausgabesignal **104** kann als ein Rückführungssignal an die Abstandssteuereinrichtung **46** übermittelt werden. Die Abstandssteuereinrichtung **46** ist somit in der Lage, durch die Nutzung der durch die Abstandssensoren **102** gelieferten Abstandsdaten **104**, und/oder der durch sonstige Turbinensensoren **48** erzeugten Rückmeldungsdaten **50** (z. B. Temperatur, Schwingung, Strömung usw.), den radialen Spalt **56** zwischen der inneren Wand **38** des Turbinengehäuses **40** und der Spitze **58** der Turbinenschaufeln **36**, wie oben erörtert, entsprechend anzupassen.

**[0035]** Vor dem Weiterlesen sollte beachtet werden, dass die oben beschriebenen Ausstattungsmerkmale von [Fig. 3](#) auch in Ausführungsbeispielen vorgesehen sein können, die, wie oben mit Bezug auf [Fig. 2](#) erörtert, ein (beispielsweise intermediär zwischen dem beweglichen Mantelabschnitt **54** und dem Turbinengehäuse **40** angebrachtes) intermediäres Mantelsegment bzw. einen Mantelabschnitt aufweisen. Beispielsweise ist der stationäre Magnet **70** in derartigen Ausführungsbeispielen mit dem intermediären Mantelabschnitt verbunden, und die Nuten **88** sind ebenfalls an dem intermediären Mantelabschnitt (d. h. nicht an dem Turbinengehäuse **40**) ausgebildet. Die auf dem beweglichen Mantelabschnitt **54** angeordneten Leisten **89** können mit an den intermediären Mantelabschnitten ausgebildeten Nuten **88** verbunden sein. D. h., der bewegliche Mantelabschnitt **54** kann ebenfalls an dem intermediären Mantelabschnitt angefügt sein. Unabhängig von der verwendeten Konstruktion ist der Betrieb der magnetischen Betäti-

gungselemente (z. B. des stationären Magneten **70** und des beweglichen Magneten **72**), wie im Folgenden erörtert, im Wesentlichen identisch.

[0036] Mit Bezugnahme auf [Fig. 4](#) wird der Betrieb des magnetischen Aktuators **44** näher erläutert. Im Betrieb kann die Abstandssteuereinrichtung **46** den radialen Spalt **56** durch Ausgabe geeigneter Steuersignale **52** in Form eines Stroms zu den Spulen **74** verkleinern. Es ist klar, dass, während ein Strom durch die Spulen **74** fließt, ein Magnetfeld entsteht. Abhängig von der Konstruktion der Magneten **70** und **72** können die den Magneten **70** und **72** zugeführten Ströme übereinstimmen oder unterschiedlich sein. Das Magnetfeld erzeugt zwischen dem stationären Magneten **70** und dem beweglichen Magneten **72** eine abstoßende Kraft, die der Vorspannkraft der Feder(n) **100** entgegenwirkt und veranlasst, dass sich der bewegliche Mantel **54**, radial in Richtung der Rotationsachse **62** (z. B. in Richtung von Pfeil **96**) bewegt. Die Abstandssteuereinrichtung **46** kann die Weite des radialen Spalts **56** durch ein Reduzieren oder Abschalten des den Spulen **74** zugeführten Stroms vergrößern, so dass die Vorspannkraft der Feder(n) **100** bewirkt, dass sich der bewegliche Mantelabschnitt **54** nach außen und weg von der Rotationsachse **62** (d. h. in Richtung von Pfeil **98**) bewegt. Beispielsweise kann sich der bewegliche Mantelabschnitt **54** solange in Richtung von Pfeil **98** bewegen, bis er in die in [Fig. 3](#) gezeigte Position zurückgekehrt ist. Auf diese Weise kann die Abstandssteuereinrichtung **46** die Position des beweglichen Mantelabschnitts **54** und somit den Abstand zwischen den Turbinenschaufeln **36** und dem Turbinengehäuse **40** durch Anpassen der Stärke des erzeugten Magnetfelds (bzw. der erzeugten Magnetfelder) mittels der oben beschriebenen Anordnung fein anpassen. Außerdem ist es mittels der oben beschriebenen Anordnung möglich, den radialen Spalt **56** in Abhängigkeit von den abgetasteten Abstandsdaten **104** und/oder basierend auf einer oder mehrerer Betriebsbedingungen des Turbinentriebwerks **12** in Echtzeit aktiv anzupassen. Solche Techniken zum Anpassen des radialen Spalts **56** werden nachfolgend mit Bezug auf [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) erörtert.

[0037] Mit Bezug auf [Fig. 5](#) ist eine Schnittansicht der Turbine **20** von [Fig. 1](#) längs der Schnittlinie 5-5 von [Fig. 1](#) veranschaulicht. Wie gezeigt, können mehrere Turbinenschaufeln **36** mit einem Laufrad **108** verbunden sein, das wiederum um die Welle **24** angebracht sein kann. Während Verbrennungsgase durch die Turbine **20** strömen, versetzen die Schaufeln **36** den Rotor **108** in Drehung und bewirken dadurch außerdem die Rotation der Welle **24**. Wie deutlicher in [Fig. 5](#) zu sehen, kann das Turbinengehäuse **40** mehrere Segmente aufweisen, zu denen jeweils ein beweglicher Mantelabschnitt **54** gehört, der in Umfangsrichtung um das Turbinengehäuse **40** angeordnet ist und die Turbinenschaufeln **36** im Wesentli-

chen umgibt. Jeder bewegliche Mantelabschnitt **54** kann einen magnetischen Aktuator **44** aufweisen, der durch ein entsprechendes von mehreren Steuersignalen **52** unabhängig geregelt/gesteuert werden kann, das durch die Abstandssteuereinrichtung **46** bereitgestellt wird. Beispielsweise kann das Turbinengehäuse **40** die beweglichen Mantelabschnitte **54a–54e** aufweisen, von denen jeder entsprechende magnetische Aktuatorkomponenten **44a–44e** enthalten kann. In Antwort auf entsprechende Steuersignale **52a–52e** kann jeder der beweglichen Mantelabschnitte **54a–54e** durch die Abstandssteuereinrichtung **46** geeignet positioniert werden, um einen Soll-Abstand und eine Rundheit in dem Strömungspfad zwischen dem beweglichen Mantelabschnitt **54** und den Turbinenschaufeln **36** aufrecht zu erhalten.

[0038] Während für Zwecke der Veranschaulichung in [Fig. 5](#) speziell lediglich auf die beweglichen Mantelabschnitte **54a–54e** Bezug genommen ist, sollte es aber klar sein, dass die Abstandssteuereinrichtung **46** dazu eingerichtet sein kann, an jeden beweglichen Mantelabschnitt **54** in dem Gehäuse ein unabhängiges entsprechendes Steuersignal **52** auszugeben, das dazu dient, einen entsprechenden magnetischen Aktuator **44** zu betätigen. Beispielsweise kann in einem Ausführungsbeispiel jeder bewegliche Mantelabschnitt **54** einen gesonderten Sensor **102** aufweisen, der dazu dient, den Abstands, wie oben erörtert, zu messen. Somit kann jeder magnetische Aktuator **44** und jeder Sensor **102** in Datenaustausch mit der Abstandssteuereinrichtung **46** verbunden sein, und jeder bewegliche Mantelabschnitt kann wenigstens teilweise auf der Grundlage der Abstandsdaten angepasst werden, die von den Sensoren **102** an die Abstandssteuereinrichtung **46** ausgegeben sind. D. h., die Abstandssteuereinrichtung **46** kann die unabhängige Steuerung jedes beweglichen Mantelabschnitts **54** bewirken, indem sie einen entsprechenden (die Magnete **70** und **72** aufweisenden) magnetischen Aktuator **44**, der jeweils einem der beweglichen Mantelabschnitte **54** entspricht, wenigstens teilweise auf der Grundlage der Abstandrückmeldungsdaten (Ausgabesignal **104**), die von einem entsprechenden Abstandssensor **102** stammen, der auf jedem beweglichen Mantelabschnitt **54** (wie beispielsweise in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigt) angeordnet ist, betätigt (oder deaktiviert). Darüber hinaus sollte es klar sein, dass die beweglichen Mantelabschnitte **54** in [Fig. 5](#) aus Gründen der Übersichtlichkeit (in Bezug auf die Achse **62**) in Umfangsrichtung geringfügig voneinander beabstandet veranschaulicht sind. In einigen Ausführungsbeispielen kann diese Beabstandung deutlich verringert oder eliminiert werden, um die Turbinenleistung weiter zu verbessern.

[0039] Wie in [Fig. 5](#) gezeigt, kann das Turbinengehäuse **40** 24 bewegliche Mantelabschnitte **54** enthalten. Es ist jedoch klar, dass eine beliebige geeignete Anzahl von beweglichen Mantelabschnitten **54** vor-

gesehen sein kann. Beispielsweise kann das Turbinengehäuse **40** 10, 20, 30, 40, 50 oder mehr bewegliche Mantelabschnitte **54** aufweisen. Die beweglichen Mantelabschnitte **54** können insgesamt geeignet betätigt werden, so dass die Gesamtheit der Innenflächen **38** eine im Wesentlichen kreisförmige Fläche um die Turbinenschaufeln **36** bereitstellt. In einigen Ausführungsbeispielen können die Innenflächen **38** der beweglichen Mantelabschnitte **54** in Umfangsrichtung gekrümmt sein, um die allgemeine Rundheit des Mantels zu verbessern. Darüber hinaus kann durch eine Bereitstellung einer individuellen Steuerung jedes beweglichen Mantelabschnitts **54**, wie oben erörtert, die Rundheit des Mantels in Bedingungen verbessert werden, in denen das Turbinengehäuse **40**, beispielsweise aufgrund einer während des Betriebs auftretenden ungleichmäßigen Wärmeausdehnung des Turbinengehäuses **40**, unrund wird. Diese Bedingung einer Rundlaufabweichung wird in [Fig. 6](#) näher erläutert.

**[0040]** Mit Bezug auf [Fig. 6](#) ist anhand einer vereinfachten Schnittansicht der Turbine **20** längs der Schnittlinie 5-5 von [Fig. 1](#) die verbesserte Rundheit des Mantels (der beispielsweise durch die innere Wand **38** der beweglichen Mantelabschnitte **54** definiert ist) veranschaulicht, wenn das Turbinengehäuse **40** unrund ist. Es ist einsichtig, dass die Gestalt des Turbinengehäuses **40** in [Fig. 6](#) übertrieben dargestellt ist, um die Verformung des Turbinengehäuses **40** hervorzuheben. Die Verformung des Turbinengehäuses **40** kann darauf zurückzuführen sein, dass das Turbinengehäuse **40** in einigen Ausführungsbeispielen in einer Ebene, die durch die Mittellinie der Welle **24** (z. B. durch die Rotationsachse **62**) verläuft, geteilt sein kann, um einen erleichterten Zugang zu den inneren Komponenten der Turbine **20**, beispielsweise für eine Wartung und Instandhaltung, zu schaffen. In einer derartigen Konstruktion kann eine horizontale Verbindung genutzt werden, um die beiden Teile des Turbinengehäuses **40** zusammenzufügen. Beispielsweise kann die Verbindung auf zwei zusammenpassenden Flanschen basieren, die Durchgangsschrauben aufweisen, die zwischen den Flanschen einen Anpressdruck ausüben und die Teile des Turbinengehäuses **40** auf diese Weise miteinander verbinden. Allerdings kann die auf die Anwesenheit der Flansche zurückzuführende zusätzliche radiale Dicke in der allgemeinen Nähe der Flansche eine thermische Reaktion, die sich von dem übrigen Turbinengehäuse **40** unterscheidet, sowie eine Diskontinuität der in Umfangsrichtung verlaufenden Spannungen zur Folge haben, die während des Betriebes der Turbine **20** entstehen können. Das Zusammenwirken der thermischen Reaktion und der Spannungsdiskontinuität an den Flanschverbindungen können dazu führen, dass das Turbinengehäuse **40** während des Betriebs der Turbine **20** unrund wird.

**[0041]** Wenn die Turbine **20**, nachdem sie eine aus-

reichende Zeitspanne betrieben wurde, eine Rundlaufabweichung aufweist, kann es beispielsweise dazu kommen, dass die Höhe **110** des Turbinengehäuses **40**, wie in [Fig. 6](#) gezeigt, größer wird als die Breite **112** des Turbinengehäuses **40**. Außerdem kann die übertrieben dargestellte Abweichung des Turbinengehäuses **40** von der Kreisform in manchen Fällen einem amerikanischen Fußball oder einer Erdnuss ähneln. In einigen Ausführungsbeispielen kann die Abweichung des Turbinengehäuses **40** von der Kreisform hinsichtlich der Differenz zwischen der Höhe **110** und der Breite **112** bis zu etwa 100 Millimeter oder mehr betragen. Allerdings können die inneren Wände oder Flächen **38** der beweglichen Mantelabschnitte **54** trotz der Abweichung des Turbinengehäuses **40** von der Kreisform einen im Wesentlichen kreisförmigen Querschnitt beibehalten, indem die beweglichen Mantelabschnitte **54** in einer geeigneten Weise unterschiedlich betätigt werden, so dass die Abweichung des Turbinengehäuses **40** von der Kreisform ausgeglichen ist. Beispielsweise können einige der beweglichen Mantelabschnitte **54** (z. B. jene, die mit Blick auf den Abstand **114** betätigt sind), wie in [Fig. 6](#) gezeigt, in einem höheren Maße betätigt sein als andere bewegliche Mantelabschnitte **54** (z. B. jene, die mit Blick auf den Abstand **116** betätigt sind). D. h., einige der beweglichen Mantelabschnitte **54** können in Abhängigkeit von der Rundlaufabweichungsbedingung des Turbinengehäuses **40** eine größere Verschiebung erfahren, um einen Soll-Abstand oder radialen Spalt **56** zwischen den Turbinenschaufeln **36** und der inneren Wand **38** der beweglichen Mantelabschnitte **54** aufrecht zu erhalten. Auf diese Weise kann ein geeigneter Abstand um den gesamten Umfang der Turbine **20** trotz einer möglichen Abweichung des Turbinengehäuses **40** von der Kreisform aufrecht erhalten werden.

**[0042]** Indem nun Bezug auf [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) genommen wird, sind erfindungsgemäße Beispiele von Verfahren veranschaulicht, die genutzt werden können, um einen Abstand in dem System **10** anzupassen. Indem zunächst auf [Fig. 7](#) eingegangen wird, ist ein Verfahren **120** zum Anpassen eines Abstands auf der Grundlage gemessener Parameter des Turbinenriebwerks **12** gezeigt. Das Verfahren **120** kann, wie in Block **122** gezeigt, mit dem Schritt der Überwachung eines oder mehrerer Parameter des Turbinenriebwerks **12** beginnen. Die Parameter können durch die oben erörterten Turbinensensoren **48** gemessen werden und können mit einem beliebigen geeigneten Parameter des Turbinenriebwerks **12** in Beziehung stehen, der genutzt werden kann, um einen angemessenen Abstand zu ermitteln. Beispielsweise können sich einige Parameter auf die Temperatur im Inneren der Turbine **20** oder gewisser Komponenten der Turbine **20** (z. B. der Schaufeln **36**, des Laufrads **108** usw.), auf die Schwingungspegel in der Turbine **20**, auf die Rotationsgeschwindigkeit der Welle **24**, auf die Leistungsabgabe der Turbine **12**,

auf eine Strömungsrate des Verbrennungsgases, auf Druckdaten oder auf eine gewisse Kombination von diesen beziehen. Darüber hinaus können sich einige Parameter auf eine Steuereingabe des Turbinentriebwerks **12** beziehen. Beispielsweise können sich einige Parameter auf einen spezifizierten Leistungspegel oder Betriebszustand des Turbinentriebwerks **12**, auf eine seit einem Hochfahrvorgang des Turbinentriebwerks **12** verstrichene Zeitspanne, oder auf ein Eingabesignal für ein Hochfahren und/oder Herunterfahren beziehen.

**[0043]** Der eine oder die mehreren in Block **122** überwachten Parameter des Turbinentriebwerks **12** können anschließend genutzt werden, um in den Entscheidungsblöcken **124**, **128** und **132** eine Soll-Abstandseinstellung zu ermitteln. Beispielsweise wird in Entscheidungsblock **124**, eine Entscheidung gefällt, ob die Parameter einen Einschwingbetriebszustand des Turbinentriebwerks **12** anzeigen, d. h. einen Zustand, in dem ein sich verändernder Parameter des Turbinentriebwerks **12** möglicherweise dazu neigt, rasche Änderungen des Abstands hervorzurufen. Beispielsweise können ein oder mehrere Parameter sich auf eine Temperatur des Turbinengehäuses **40**, der Schaufeln **36** oder einiger andere Komponente des Turbinentriebwerks **12** beziehen. Falls erfasst wird, dass sich die Temperatur rasch ändert, kann dies anzeigen, dass das Turbinentriebwerk **12** sich in einem Einschwingzustand, beispielsweise in einem Zustand des Hochfahrens oder Herunterfahrens, befindet.

**[0044]** Falls ein derartiger Einschwingbetriebszustand erfasst wird, kann das Verfahren **120** mit Block **126** fortfahren, in dem der Mantel magnetisch betätigt wird, um einen Soll-Abstandseinstellung aufrecht zu erhalten, die einem Einschwingbetriebszustand entspricht. In einem Ausführungsbeispiel kann das Verfahren **120** den beweglichen Mantelabschnitte **54** hinsichtlich einer maximalen Abstandseinstellung magnetisch betätigen. Durch Einstellen des Abstands auf einen maximalen Pegel, kann die Wahrscheinlichkeit einer Berührung zwischen der inneren Wand **38** des Mantels und den Turbinenschaufeln **36** auf ein Minimum reduziert werden. Beispielsweise kann die Abstandssteuereinrichtung **46**, um den maximalen Abstands vorgabewert zu erreichen, einen elektrischen Strom zu den Spulen **74** eines oder mehrerer Magneten **70** und **72** reduzieren oder eliminieren. Auf diese Weise können die Federn **100**, während die abstoßende Kraft der Magneten verringert wird, die beweglichen Mantelabschnitte **54** nach außen und weg von der Rotationsachse **62** (z. B. in Richtung des Pfeils **98** in [Fig. 3](#)) zurückziehen. Danach kann das Verfahren **120** zu Block **122** zurückkehren und mit der Überwachung des (bzw. der) Betriebsparameter des Turbinentriebwerks **12** fortfahren.

**[0045]** In einem Ausführungsbeispiel kann die Entscheidung darüber, ob das Turbinentriebwerk **12** in einem Einschwingzustand oder in einer Dauerbetriebsbedingung arbeitet, auch auf empirischen Messwerten oder theoretischen Schätzungen basieren, die die Zeitdauer betreffen, die das Turbinentriebwerk **12** benötigt, um nach einem Hochfahrvorgang oder nach einer sonstigen Änderung des Leistungsvorgabewerts des Turbinentriebwerks **12** einen Dauerbetriebszustand zu erreichen. Die empirischen Daten können genutzt werden, um in die Abstandssteuereinrichtung **46** spezifizierten Zeitkonstanten einzuprogrammieren, die die Zeitdauer kennzeichnen, die benötigt wird, um Dauerbetriebsbedingungen zu erreichen, nachdem gewisse Änderungen des Leistungsvorgabewerts des Turbinentriebwerks **12** initiiert wurden. Beispielsweise kann die Abstandssteuereinrichtung **46**, nachdem eine spezielle Änderung des Leistungsvorgabewerts des Turbinentriebwerks **12** stattgefunden hat, die Zeitdauer verfolgen, die seit der Änderung des Leistungsvorgabewerts verstrichen ist, um zu ermitteln, ob sich das Turbinentriebwerk **12** in einem Einschwingzustand oder in einem Dauerbetriebszustand befindet. Falls die verstrichene Zeit die spezifizierte Zeitkonstante überschreitet, kann dies anzeigen, dass das Turbinentriebwerk **12** den Dauerbetriebszustand erreicht hat. Falls die verstrichene Zeitspanne hingegen kleiner ist als die spezifizierte Zeitkonstante, kann dies anzeigen, dass sich das Turbinentriebwerk **12** noch in einem Einschwingbetriebszustand befindet.

**[0046]** Indem wieder auf Entscheidungsblock **124** eingegangen wird, kann das Verfahren **120**, falls die überwachten Parameter keinen Einschwingbetriebszustand anzeigen, mit einem der Dauerbetriebsentscheidungsblöcke **128** oder **132** fortfahren. Falls beispielsweise bestimmt wird, dass der gemessene Parameter (z. B. die Temperatur) über eine gewisse Zeitspanne verhältnismäßig konstant ist, kann dies anzeigen, dass das Turbinentriebwerk **12** eine Dauerbetriebsbedingung erreicht hat. Somit kann das Verfahren **120** zu der durch die Blöcke **128** und **130** dargestellten Entscheidungslogik übergehen, um zu ermitteln, ob die Turbine **20** in einer Dauerbetriebsbedingung mit voller Leistung oder in einer gedrosselten Dauerbetriebsbedingung arbeitet. Dementsprechend kann die magnetische Betätigung der beweglichen Mantelabschnitte **54**, wie nachfolgend erörtert, auf der Grundlage des Leistungsvorgabewerts des Turbinentriebwerks **12** ermittelt werden.

**[0047]** Indem nun mit Entscheidungsblock **128** fortgefahren wird, wird eine Entscheidung getroffen, ob die Parameter anzeigen, dass das Turbinentriebwerk **12** unter Dauerbetriebsbedingungen voller Leistung arbeitet. Falls die überwachten Parameter eine Dauerbetriebsbedingung voller Leistung anzeigen, kann das Verfahren **120** die beweglichen Mantelabschnitte **54** in Block **130** mit Blick auf eine vorbestimmte Ver-

schiebung magnetisch betätigen, um einen radialen Spalt **56** zu schaffen, der für die Dauerbetriebsbedingungen voller Leistung einen minimalen Abstand bereitstellen soll. In einigen Ausführungsbeispielen kann die vorbestimmte Verschiebung jedes beweglichen Mantelabschnitts **54** auf empirischen Messwerten oder theoretischen Schätzungen basieren, die das unter Dauerbetriebsbedingung voller Leistung möglicherweise erwartete Maß und/oder die Rate der Ausdehnung und/oder der Verformung des Turbinengehäuses **40**, der Turbinenschaufeln **36** usw., betreffen. Danach kann das Verfahren **120** zu Block **122** zurückkehren und mit der Überwachung des Betriebsparameters (bzw. der mehreren Betriebsparameter) des Turbinentriebwerks **12** fortfahren. Lediglich als Beispiel erwähnt, kann der Abstandsvorgabewert für eine Dauerbetriebsbedingung voller Leistung kleiner als der Abstandsvorgabewert für die oben erörterte Einschwingbetriebsbedingung sein.

**[0048]** Falls in Entscheidungsblock **128** bestimmt wird, dass die überwachten Parameter keine Dauerbetriebsbedingung voller Leistung anzeigen, fährt das Verfahren **120** mit Entscheidungsblock **132** fort, in dem eine Entscheidung getroffen wird, ob die überwachten Parameter anzeigen, dass das Turbinentriebwerk **12** bei gedrosselten Dauerbetriebsbedingungen (z. B. 50 des Vorgabewerts voller Leistung oder darunter) arbeitet. Falls dies zutrifft, kann das Verfahren **120** die beweglichen Mantelabschnitte **54** in Block **134** hinsichtlich einer vorbestimmten Verschiebung magnetisch betätigen, um einen radialen Spalt **56** zu schaffen, der geeignet ist, um einen minimalen Abstand für die gedrosselten Dauerbetriebsbedingungen bereitzustellen. Wie oben erwähnt, kann die vorbestimmte Verschiebung jedes beweglichen Mantelabschnitts **54** auf empirischen Messwerten oder theoretischen Schätzungen basieren, die das bei gedrosselten Dauerbetriebsbedingungen möglicherweise erwartete Maß und/oder die Rate der Ausdehnung und/oder der Verformung des Turbinengehäuses **40**, der Turbinenschaufeln **36**, usw., betreffen. Außerdem können in einigen Ausführungsbeispielen mehrere Drosselungsvorgabewerte in die Abstandssteuereinrichtung **46** einprogrammiert sein, um vielfältigen Leistungsvorgabewerten des Turbinentriebwerks **12** zu entsprechen. Wenn die beweglichen Mantelabschnitte **54** entsprechend angepasst sind, kann das Verfahren **120** ausgehend von Block **134** zu Block **122** zurückkehren und mit der Überwachung von Betriebsparameter(n) des Turbinentriebwerks **12** fortfahren. Darüber hinaus kann das Verfahren **120**, falls in Entscheidungsblock **132** keine gedrosselte Dauerbetriebsbedingung erfasst ist, auch ausgehend von Entscheidungsblock **132** zu Block **122** zurückkehren und mit der Überwachung der Turbinenparameter fortfahren.

**[0049]** Wie oben beschrieben, kann die Abstandssteuereinrichtung **46** dafür programmiert sein, zwei

oder mehr gesonderte Abstandsvorgabewerte bereitzustellen, die wenigstens teilweise in Abhängigkeit davon ausgewählt werden können, ob das Turbinentriebwerk **12** unter einer Dauerbetriebsbedingung arbeitet (z. B. mit voller oder gedrosselter Leistung). Mit Bezug auf [Fig. 8](#) ist ein Verfahren **140** gezeigt, das dazu dient, einen Abstand in Echtzeit graduell einzustellen, gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung. Unter Verwendung des Verfahrens **140** kann ein Soll-Abstand unabhängig davon aufrecht erhalten werden, ob das Turbinentriebwerk **12** in einem Dauerbetriebs- oder in einem Einschwingzustand arbeitet.

**[0050]** Wie in [Fig. 8](#) gezeigt, beginnt das Verfahren **140** in Block **142**, in dem ein Soll-Abstand bestimmt wird. Der Soll-Abstand kann, wie im Vorausgehenden mit Bezug auf [Fig. 7](#) erörtert, wenigstens teilweise auf der Grundlage der Betriebsbedingungen des Turbinentriebwerks **12** bestimmt werden. Beispielsweise können während des Hochfahrens des Turbinentriebwerks **12** Schwingungen in der Turbine **20** eine rasche Änderung des radialen Spalts **56** hervorrufen. Daher kann der Soll-Abstand, um die Wahrscheinlichkeit eines Reibkontakts während des Hochfahrens zu verringern, während der Phasen erhöhter Schwingungspegel, wie sie durch einen oder mehrere Turbinensensoren **48** erfasst sind, auf einen verhältnismäßig großen Wert eingestellt werden. Beispielsweise können Signale, die die Schwingungspegel (z. B. Abtastdaten **50**) kennzeichnen, wie im Vorausgehenden mit Bezug auf [Fig. 1](#) beschrieben, an die Abstandssteuereinrichtung **46** übermittelt werden, um den Soll-Abstand zu bestimmen. In einigen Ausführungsbeispielen kann Block **142** auf einer periodischen Grundlage wiederholt werden, oder er kann in Reaktion auf eine Änderung einer Betriebsbedingung des Turbinentriebwerks **12**, z. B. bei einer Initialisierung eines Herunterfahrvorgangs, bei einer Drosselung oder bei einer sonstigen Änderung des Betriebszustands des Turbinentriebwerks **12**, wiederholt werden. Außerdem kann der Soll-Abstand (z. B. durch eine Modulation der Ströme, die den Spulen **74** der Magnete **70** und **72** zugeführt sind) über einen kontinuierlichen Bereich von Abstandswerten graduell angepasst werden.

**[0051]** Das Verfahren **140** kann ferner den Schritt beinhalten, den Ist-Abstand zu messen, wie durch Block **144** gezeigt. Beispielsweise kann der Ist-Abstand durch jeden der Abstands- oder Abstandssensoren **102** gemessen werden, die mit jeden der beweglichen Mantelabschnitte **54** um den Umfang des Turbinengehäuses **40** verbunden sind, und (als Rückführungsdatensignale **104**, wie in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigt) an die Abstandssteuereinrichtung **46** übermittelt werden. Als Nächstes wird in Entscheidungsblock **146** eine Entscheidung getroffen, ob der in Block **144** gemessene Ist-Abstand gleich dem in Block **142** ermittelten Soll-Abstand ist. Falls der

Ist-Abstand ungleich dem Soll-Abstand ist, fährt das Verfahren **140** mit Block **148** fort, in dem der Abstand nach Vorgabe des Soll-Abstands angepasst wird. Beispielsweise kann der Vorgang der Abstandseinstellung ein Bereitstellen eines unabhängigen Abstandseinstellungssteuerungsvorgangs für jedes der beweglichen Mantelabschnitte **54** in dem Turbinengehäuse **40** beinhalten. D. h., in diesem Fall kann die Position jedes der beweglichen Mantelabschnitte **54**, wie oben mit Bezug auf [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) erörtert, magnetisch betätigt werden, um den Ist-Abstand in größere Übereinstimmung mit dem Soll-Abstand zu bringen. Wie in [Fig. 8](#) gezeigt, kann das Verfahren **140** nach Ausführung von Block **148** zu Entscheidungsblock **146** zurückkehren. In einigen Ausführungsbeispielen können die Blöcke **146** und **148** periodisch wiederholt werden, um den Soll-Abstand aufrecht zu erhalten. Darüber hinaus kann das Verfahren, falls ermittelt wird, dass die Ist- und Soll-Abstände übereinstimmen, wie durch Block **150** gezeigt, den Anpassungsvorgang beenden.

**[0052]** Während aus dem dargestellten Verfahren **140** hervorgeht, dass das Anpassungsverfahren enden kann (Block **150**), wenn ein Soll-Abstand erreicht ist, kann das Verfahren **140** in weiteren Ausführungsbeispielen in gesonderten kurzen Intervallen wiederholt werden, um eine nahezu fortlaufende Überwachung und Anpassung des Toleranzabstands in Echtzeit bereitzustellen. Durch ein ständiges Anpassen des Abstands in Echtzeit kann ein im Wesentlichen konstanter Abstand aufrecht erhalten werden, während das thermische Ansprechen der Turbine **20** während des Betriebs ein Schrumpfen und Ausdehnen der Schaufeln **36** und/oder des Turbinengehäuses **40** hervorruft. Beispielsweise können die Turbinenschaufeln **36** dazu neigen, sich radial auszudehnen, während sich die Turbine **20** aufgrund der Verbrennungsgase, die den Brennkammerabschnitt **18** verlassen, erwärmt. Während sich die Turbinenschaufeln **36** radial ausdehnen, können die beweglichen Mantelabschnitte **54** nach außen (in Richtung des Pfeils **98** in [Fig. 3](#)) angepasst werden, um eine Soll-Laufschaufeltoleranz aufrecht zu erhalten.

**[0053]** Es sollte ferner klar sein, dass, während die vorliegenden Beispiele allgemein die Anwendung der im Vorliegenden beschriebenen Abstandssteuertechniken in Zusammenhang mit einer Turbine eines Turbinentriebwerkssystems veranschaulichen, die im Vorausgehenden beschriebenen Techniken auch auf einen Verdichter des Turbinentriebwerkssystems sowie auf ein beliebiges System angewendet werden können, das eine stationäre Komponente und eine rotierende Komponente aufweist, und bei dem ein Abstand zwischen den stationären und rotierenden Komponenten aufrecht zu erhalten ist.

**[0054]** Die vorliegende Beschreibung verwendet Beispiele, um die Erfindung, einschließlich des bes-

ten Modus zu offenbaren, und um außerdem jedem Fachmann zu ermöglichen, die Erfindung in der Praxis einzusetzen, beispielsweise beliebige Einrichtungen und Systeme herzustellen und zu nutzen, und beliebige damit verbundene Verfahren durchzuführen. Der patentfähige Schutzbereich der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert und kann andere dem Fachmann in den Sinn kommende Beispiele umfassen. Solche anderen Beispiele sollen in den Schutzbereich der Ansprüche fallen, falls sie strukturelle Elemente aufweisen, die sich von dem wörtlichen Inhalt der Ansprüche nicht unterscheiden oder falls sie äquivalente strukturelle Elemente mit unwesentlichen Unterschieden gegenüber dem wörtlichen Inhalt der Ansprüche enthalten.

**[0055]** In einem Ausführungsbeispiel enthält ein System **10** eine Turbinen-Abstandssteuereinrichtung **46**. Die Turbinen-Abstandssteuereinrichtung **46** ist dazu eingerichtet, Abstände **56** einer Anzahl von Mantelsegmenten **44**, die um eine Anzahl von Schaufeln **26**, **36** angeordnet sind, durch erste **70** und zweite **72** einander gegenüberliegende Magnete, die in feststehenden und beweglichen Abschnitten **54** jedes Mantelsegments **44** angeordnet sind, voneinander unabhängig anzupassen.

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b>	Turbinensystem
<b>12</b>	Turbinentriebwerk
<b>14</b>	Ansaugöffnung
<b>16</b>	Verdichter
<b>18</b>	Brennkammerabschnitt
<b>20</b>	Turbine
<b>22</b>	Auslass
<b>24</b>	Welle
<b>26</b>	Verdichterlaufschaukel
<b>28</b>	innere Wand
<b>30</b>	Verdichtergehäuse
<b>32</b>	Brennkammergehäuse
<b>34</b>	Brennkammer
<b>36</b>	Turbinenschaufel
<b>38</b>	innere Wand
<b>40</b>	Turbinengehäuse
<b>44</b>	Aktuator
<b>46</b>	Abstandssteuereinrichtung
<b>48</b>	Sensoren
<b>50</b>	Daten
<b>52</b>	Signale
<b>54</b>	beweglicher Mantel
<b>56</b>	radialer Spalt
<b>58</b>	Spitze
<b>62</b>	Rotationsachse
<b>64</b>	Drehrichtung
<b>66</b>	Radialrichtung
<b>68</b>	Hohlraum
<b>70</b>	erster Magnet
<b>72</b>	zweiter Magnet
<b>74</b>	Draht

76	Kern
80	Entlüftungskanal
82	Entlüftungskanal
84	Strom
86	Strom
88	Nut
89	Leiste
90	Flansch
92	Flansch
94	Hohlraum
96	radiale Richtung auf die Rotationsachse zu
98	radiale Richtung von der Rotationsachse weg
100	Feder
102	Abstandssensor
104	Ausgabesignal
108	Laufgrad
110	Höhe
112	Breite
114	betätigter Abstand
116	betätigter Abstand
120	Verfahren
122	Schritt
124	Schritt
126	Schritt
128	Schritt
130	Schritt
132	Schritt
134	Schritt
140	Verfahren
142	Schritt
144	Schritt
146	Schritt
148	Schritt
150	Schritt

### Patentansprüche

1. System (10), zu dem gehören:  
 ein Turbinentriebwerk (12), mit:  
 einer Welle (24), die eine Drehachse (62) aufweist;  
 mehrere Laufschaufeln (26, 36), die mit der Welle (24) verbunden sind;  
 einem Mantel (30, 40), der mehrere Segmente (44) aufweist, die rund um den Umfang der mehreren Schaufeln (26, 36) angeordnet sind, wobei jedes Segment (44) folgendes umfasst:  
 einen feststehenden Mantelabschnitt, der einen ersten Magneten (70) aufweist; und  
 einen beweglichen Mantelabschnitt (54), der einen zweiten Magneten (72) aufweist, der dem ersten Magneten (70) gegenüberliegt, wobei wenigstens entweder der erste (70) und/oder der zweite (72) Magnet einen Elektromagneten umfasst und wobei der Abschnitt des beweglichen Mantels (54) durch den ersten (70) und zweiten (72) Magneten magnetisch betätigt wird, um sich in Bezug auf die Achse (62) in radialer Richtung (96, 98) zu bewegen, um einen Abstand (56) zwischen den Schaufeln (26, 36) und dem beweglichen Mantelabschnitt (54) anzupassen.

2. System nach Anspruch 1, wobei die mehreren Schaufeln (36) und der Mantel (40) in einem Turbinenabschnitt (20) des Turbinentriebwerks (12) angeordnet sind.

3. System nach Anspruch 1, wobei die mehreren Schaufeln (26) und der Mantel (30) in einem Verdichtungsabschnitt (16) des Turbinentriebwerks (12) angeordnet sind.

4. System nach Anspruch 1, mit einer Abstandssteuereinrichtung (46), die mit einem Abstandssensor (48) verbunden ist, der dazu eingerichtet ist, den Abstand (56) zwischen den Schaufeln (26, 36) und dem Mantel (30, 40) zu messen.

5. System nach Anspruch 1, mit einer Abstandssteuereinrichtung (46), die mit mehreren Abstandssensoren (102) verbunden ist, die dazu eingerichtet sind, Abstände (56) zwischen der Anzahl von Schaufeln (26, 36) und jedem beweglichen Mantelabschnitt (54) der Segmente (44) zu messen.

6. System nach Anspruch 5, wobei die Abstandssteuereinrichtung (46) dazu eingerichtet ist, die Abstände (56) mittels magnetischer Kräfte zwischen dem ersten (70) und zweiten (72) Magneten unabhängig zu steuern, die in den feststehenden und beweglichen Mantelabschnitten (54) jedes Segments (44) angeordnet sind.

7. System nach Anspruch 1, wobei der bewegliche Mantelabschnitt (54) ein Paar Leisten (89) aufweist, die in Bezug auf die Achse (62) in Umfangsrichtung (64) ausgerichtet sind, wobei der feststehende Mantelabschnitt ein Paar Nuten (88) aufweist, die in Bezug auf die Achse (62) in Umfangsrichtung (64) ausgerichtet sind, wobei die Leisten (89) und Nuten (88) in Umfangsrichtung (64) miteinander verbunden sind, und wobei die Leisten (89) und Nuten (88) einen begrenzten Bereich einer radialen Bewegung (96, 98) in der Radialrichtung (66) zulassen.

8. System (10), zu dem gehört:  
 eine Turbinen-Abstandssteuereinrichtung (46), die dazu eingerichtet ist, Abstände (56) einer Anzahl von Mantelsegmenten (44), die um eine Anzahl von Schaufeln (26, 36) angeordnet sind, durch erste (70) und zweite (72) einander gegenüberliegende Magnete, die in feststehenden und beweglichen (54) Abschnitten jedes Mantelsegments (44) angeordnet sind, voneinander unabhängig anzupassen.

9. System (10) nach Anspruch 8, wobei die Abstandseinjustierung jedes der Anzahl von Mantelsegmenten (44) wenigstens zum Teil auf einzelnen Abstandsmesswerten für jedes Mantelsegment (44) begründet ist.

10. System (10) nach Anspruch 8, wobei die Ab-

standseinjustierung jedes der Anzahl von Mantelsegmenten (**44**) wenigstens teilweise darauf begründet ist, ob das System (**10**) sich in einem Einschwingzustand oder in einer Dauerbetriebsbedingung befindet.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

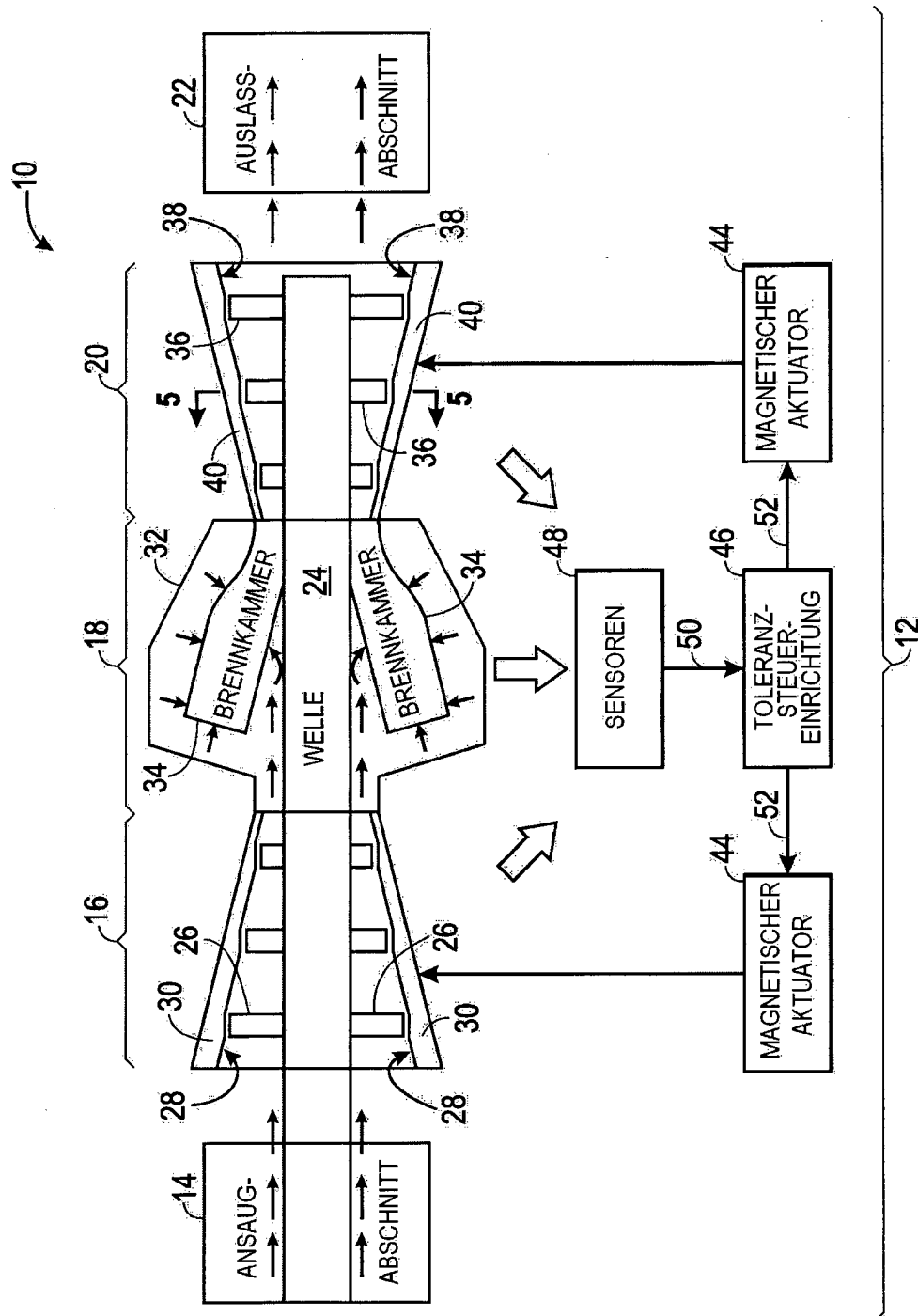


FIG. 1

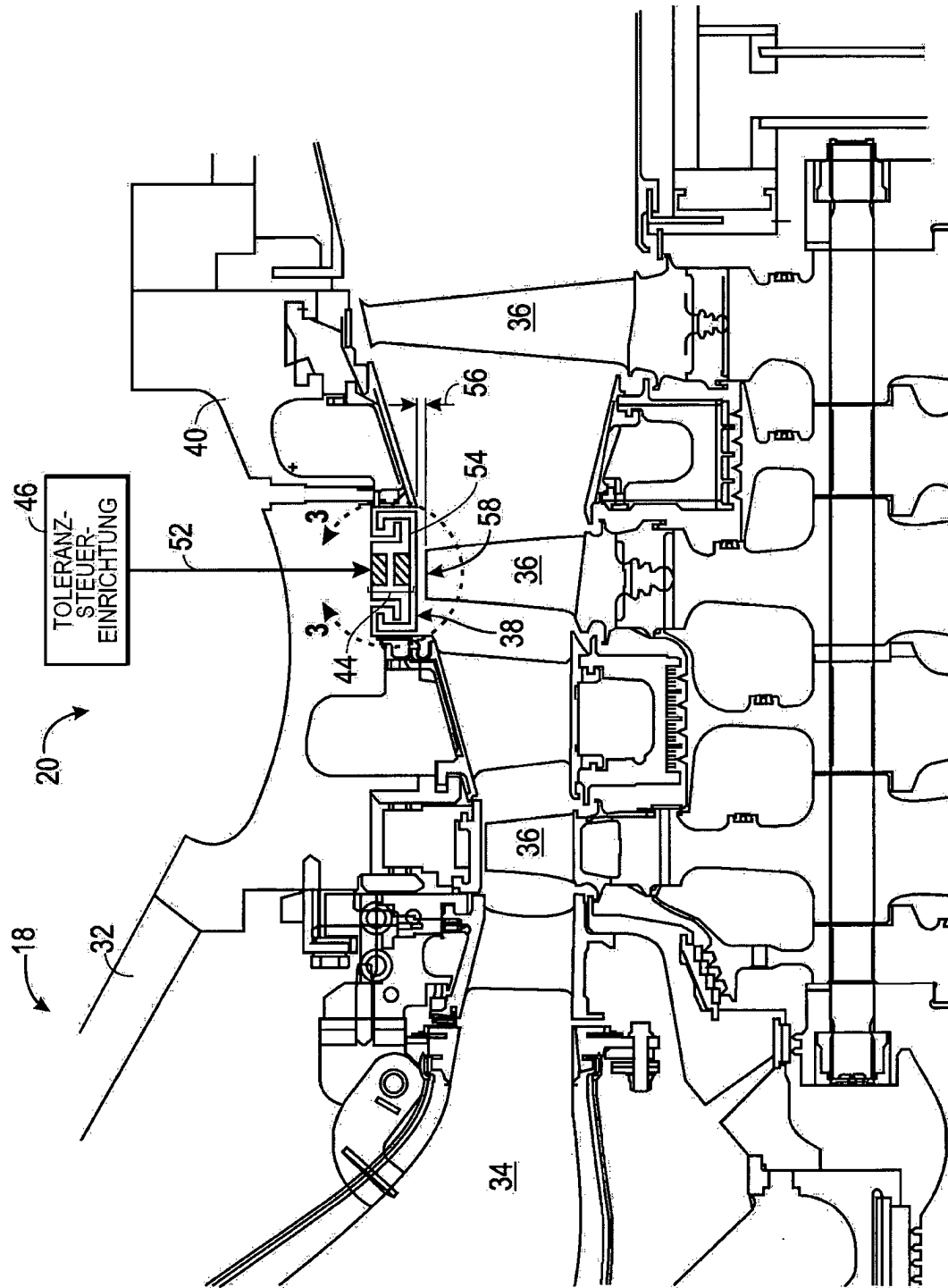


FIG. 2

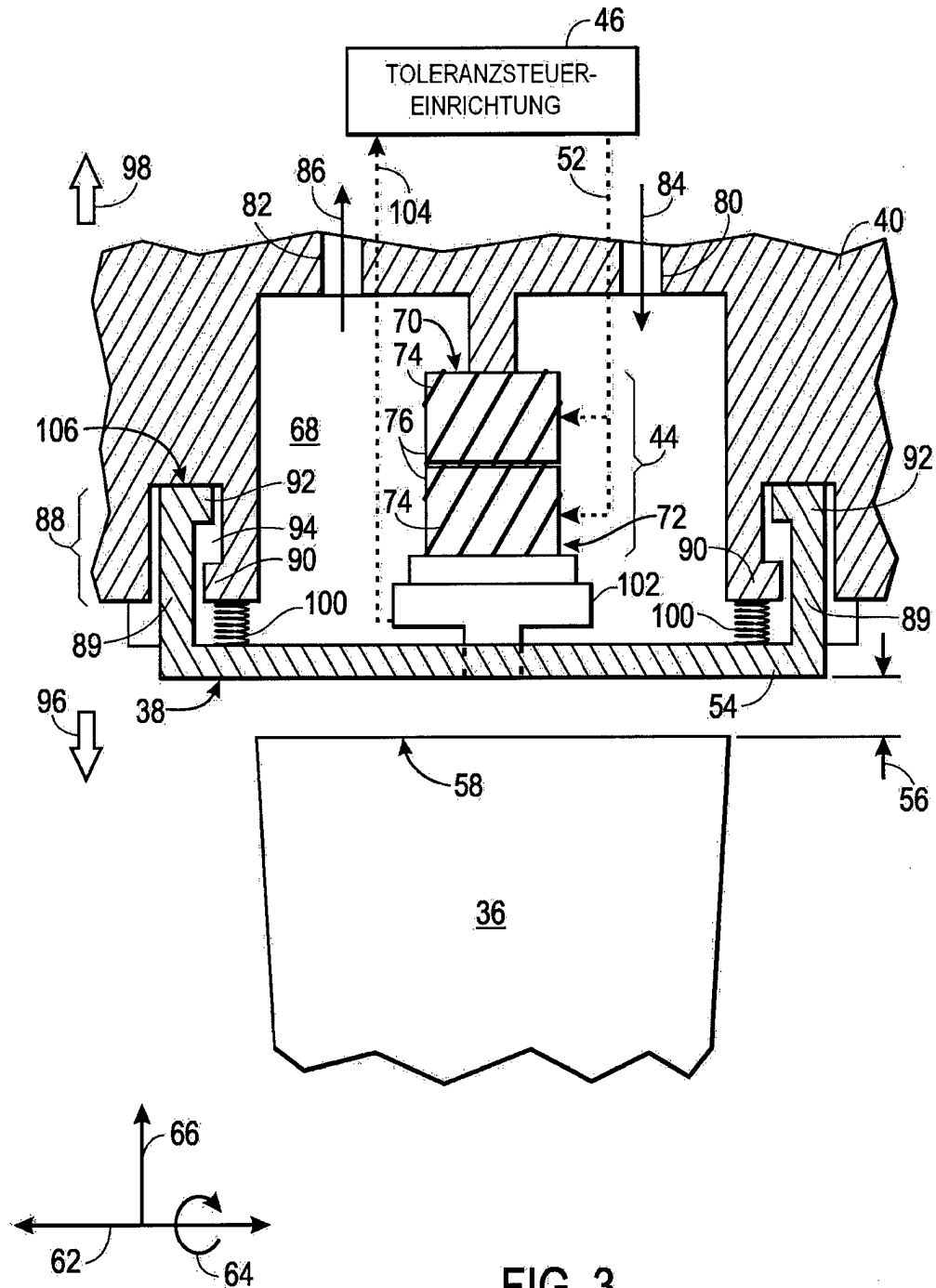
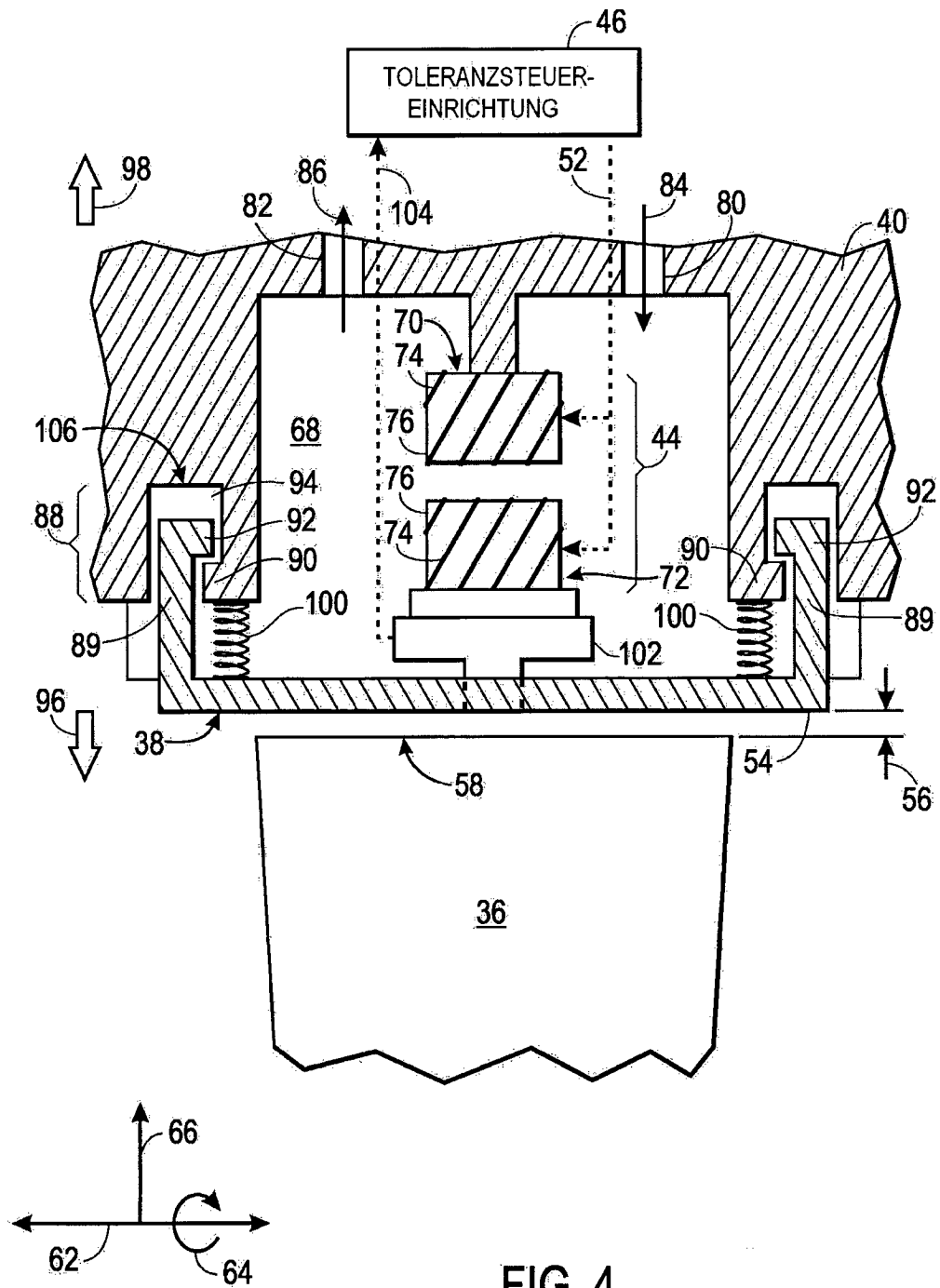
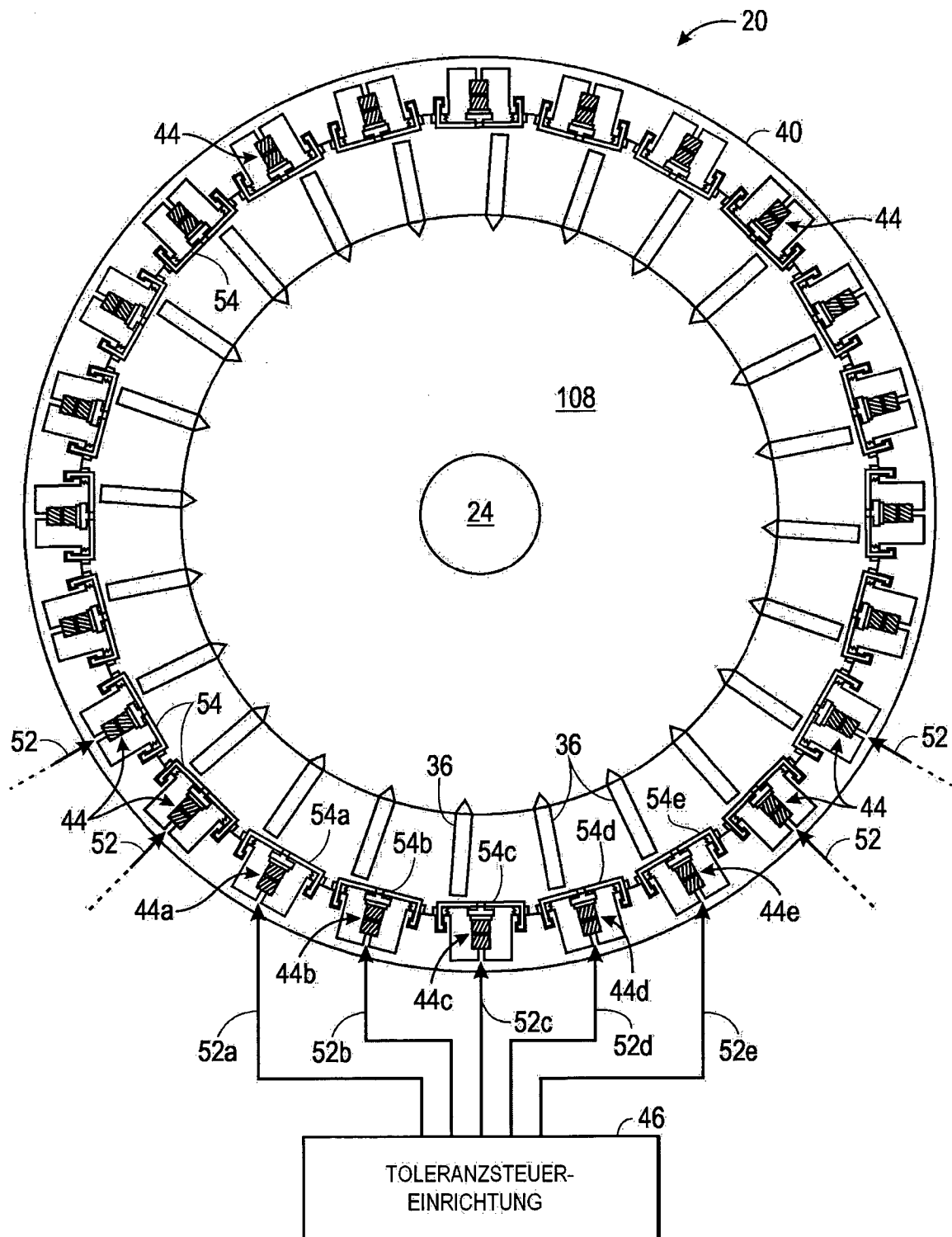


FIG. 3





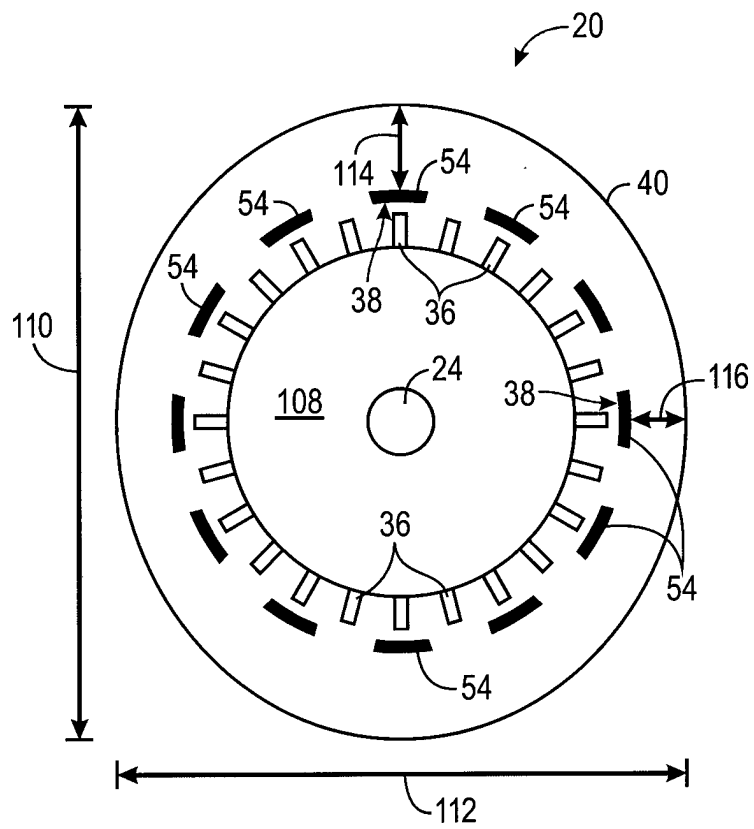


FIG. 6

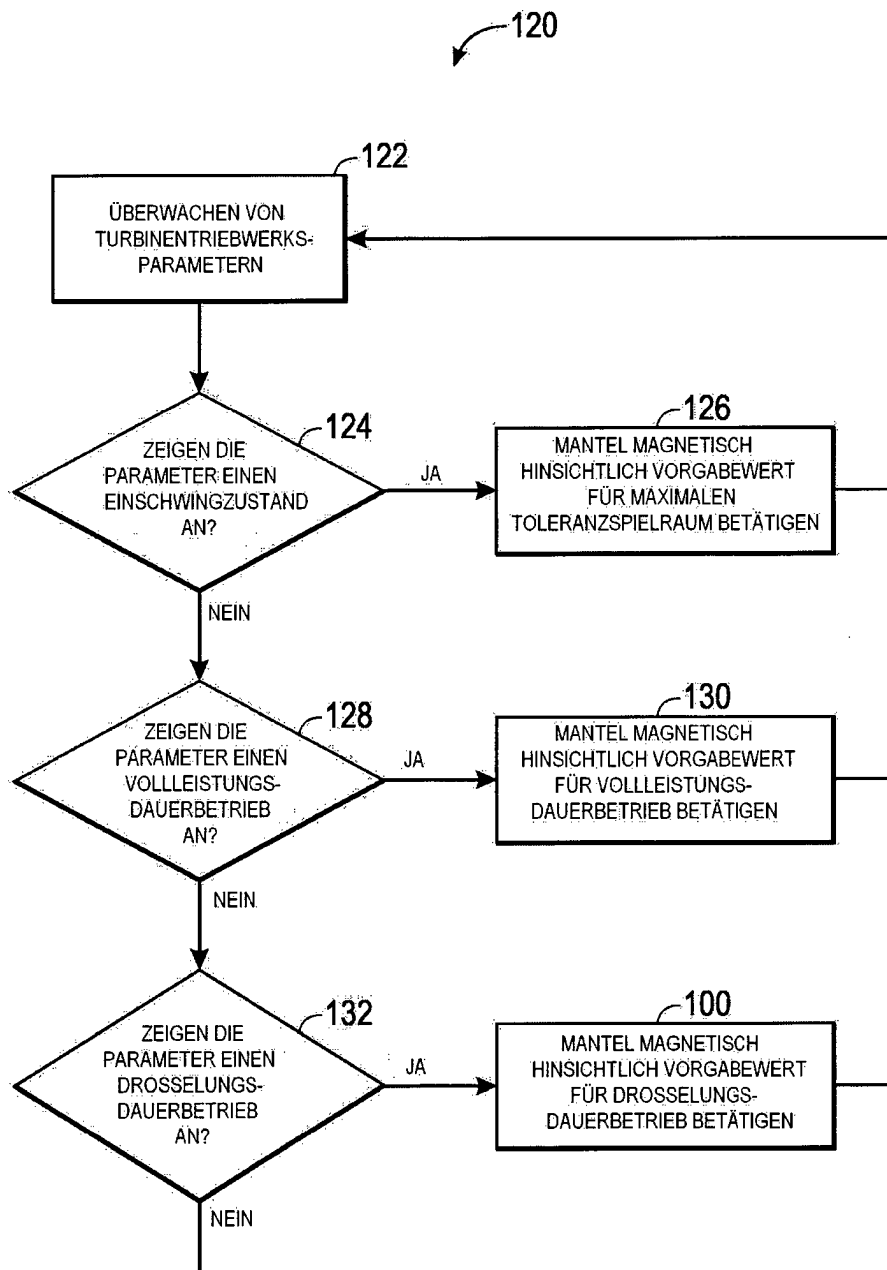


FIG. 7

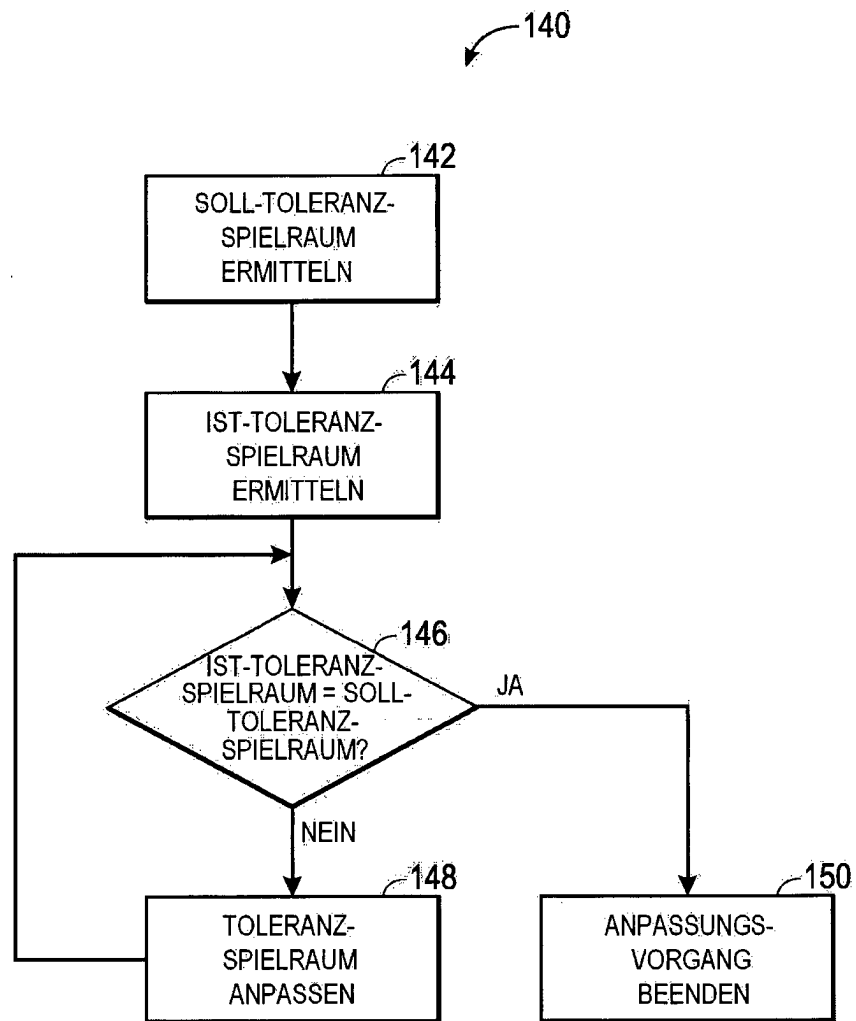


FIG. 8