(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Mai 2004 (21.05.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/042326 A2

(51) Internationale Patentklassifikation[7]: G01F

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/003221

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. September 2003 (26.09.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 51 701.0 6. November 2002 (06.11.2002) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **BIRKLE, Siegfried** [DE/DE]; Veit-Stoss-Str. 46, 91315 Höchstadt (DE). **BOSSELMANN, Thomas** [DE/DE]; Ringstr. 30 A, 91080 Marloffstein (DE). **WILLSCH, Michael** [DE/DE]; Schwabacher Str. 15, 90762 Fürth (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(national)*: BR, JP, US.

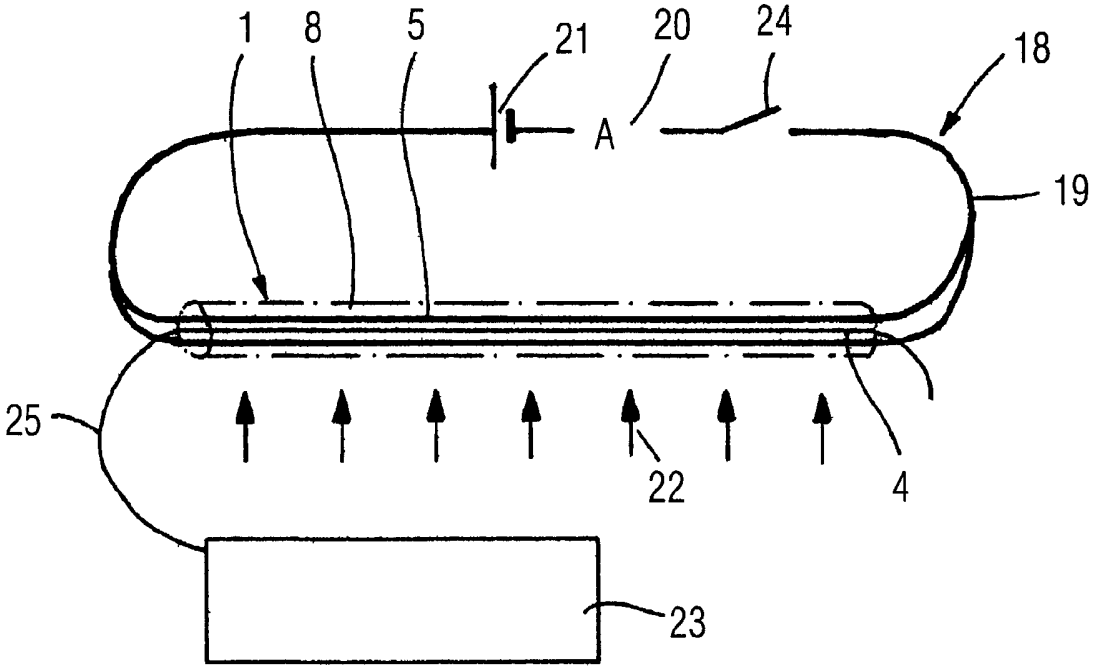
(84) Bestimmungsstaaten *(regional)*: europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

Veröffentlicht:
— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** MEASURING ELEMENT FOR DETERMINING A FLOW RATE

(54) **Bezeichnung:** MESSELEMENT ZUR BESTIMMUNG EINER STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT



(57) **Abstract:** The measuring element (1) for determining a flow rate of a fluid (22) flowing around the measuring element (1) comprises a guide (4) for guiding an electromagnetic wave along the longitudinal extension thereof and comprises at least one electric heating element (5) that is placed adjacent to said guide (4). The guide (4) can be heated by the heating element (5). An electromagnetic wave, which can be launched into the guide (4), can be influenced according to the temperature of the guide (4) that is dependent on the flow rate of the fluid.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/042326 A2

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Das Messelement (1) zur Bestimmung einer Strömungsgeschwin-digkeit eines das Messelement (1) umströmenden Fluids (22) umfasst einen Leiter (4) zum Führen einer elektromagnetischen Welle entlang seiner Längserstreckung und wenigstens ein zum Leiter (4) benachbart angeordnetes, elektrisches Heizelement (5). Mittels des Heizelements (5) ist der Leiter (4) mit Wärme beaufschlagbar. Eine in den Leiter (4) einkoppelbare elektromagnetische Welle ist entsprechend der von der Strö-mungsgeschwindigkeit des Fluids abhängigen Temperatur des Leiters (4) beeinflussbar.

Beschreibung

Messelement zur Bestimmung einer Strömungsgeschwindigkeit

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Messelement zur Bestimmung einer Strömungsgeschwindigkeit eines das Messelement umströmenden Fluids mit einem Leiter zum Führen einer elektromagnetischen Welle entlang seiner Längserstreckung und wenigstens einem zum Leiter benachbart angeordneten, elektrischen Heizelement. Ferner betrifft die Erfindung eine Strömungsmaschine mit einem erfindungsgemäßen Messelement sowie ein Verfahren zum Bestimmen einer Strömungsgeschwindigkeit eines Fluids.

Im Stand der Technik sind eine Vielzahl von Strömungsmessern bekannt. So wird beispielsweise durch Volumenzähler ein Durchfluss bestimmt, in dem die Menge des strömenden Fluids durch einen vorgegebenen Leitungsquerschnitt in einer bestimmten Zeit gemessen wird. Die Volumenzähler weisen dazu zwei in einer Messkammer angeordnete Ovalräder auf, die gegeneinander abrollen, wobei aus der Drehzahl die Strömungsgeschwindigkeit ermittelt wird. Des weiteren sind Wirkdruckverfahren bekannt, wobei in einem Leitungsquerschnitt eine vorgegebene Einschnürung vorgesehen ist und aus einer Druckdifferenz vor der Einschnürung und in der Einschnürung die Strömungsgeschwindigkeit ermittelt wird. Auch induktive oder Ultraschall-Strömungsmesser sind bekannt.

Nachteilig bei den vorbekannten Verfahren ist, dass diese hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeit beschränkt sind, insbesondere wenn ein Strömungskanal schlecht zugänglich ist, bzw. wenn hinsichtlich der physikalischen und/oder chemischen Beanspruchung besondere Anforderungen zu erfüllen sind. Auch bei großen Strömungsquerschnitten sind die Messelemente des Stands der Technik insofern ungenau, als dass sie nur eine punktuelle Messung erlauben und Strömungsverlaufsabweichungen quer zur Strömungsrichtung nicht erfassen können.

Darüber hinaus sind die bekannten Messverfahren zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit weitgehend ungeeignet, um in einem Strömungskanal einer Strömungsmaschine hinreichend genau die Strömungsgeschwindigkeit bzw. die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit quer zur Strömungsrichtung zu ermitteln. Insbesondere wird die Ermittlung dadurch erschwert, dass im Strömungskanal einer Strömungsmaschine an die einsetzbaren Werkstoffe hohe Anforderungen hinsichtlich der chemischen und/oder physikalischen Beanspruchung zu stellen sind. Daher werden bei Gasturbinen aufwendig konstruierte Thermoelementanordnungen verwendet, um wenigstens an einigen vorgegebenen Stellen eine Strömungsgeschwindigkeit zu ermitteln. Dabei wird ausgenutzt, dass durch die Strömung im Strömungskanal ein aufgeheiztes Thermoelement entsprechend gekühlt wird.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Messelement sowie ein Verfahren bereitzustellen, mit dem ein Strömungsverlauf quer zur Strömungsrichtung ermittelbar ist.

Als Lösung der oben genannten Aufgabe wird mit der Erfindung ein Messelement zur Bestimmung einer Strömungsgeschwindigkeit eines das Messelement umströmenden Fluids mit einem Leiter zum Führen einer elektromagnetischen Welle entlang seiner Längserstreckung und wenigstens einem zum Leiter benachbart angeordneten, elektrischen Heizelement, mit welchem der Leiter mit Wärme beaufschlagbar ist, vorgeschlagen, wobei eine in den Leiter einkoppelbare elektromagnetische Welle entsprechend der von der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids abhängigen Temperatur des Leiters beeinflussbar ist.

Erstmals ist es somit möglich, aus einer Beeinflussung der elektromagnetischen Welle durch die Temperatur des Leiters die Strömungsgeschwindigkeit entlang der Längserstreckung des Messelements zu ermitteln. Das Messelement ist über das elek-

trische Heizelement beheizbar, wobei sich am Messelement eine Temperaturverteilung in Längserstreckung entsprechend der lokalen Strömungsgeschwindigkeit ergibt. Das erfindungsgemäße Messelement ist somit geeignet, mit nur einem einzigen Messelement eine Vielzahl von lokalen Strömungsgeschwindigkeiten zu ermitteln. Die Einwirkungen von Messelementen auf den Strömungskanal beispielsweise einer Strömungsmaschine können somit deutlich reduziert werden. Darüber hinaus kann mit der vorliegenden Erfindung eine Reduzierung der Anzahl der Messelemente und der dazu erforderlichen Messelement-Auswertesysteme erreicht werden. Die Vermeidung beweglicher Teile in Verbindung mit der Reduzierung der Anzahl der Teile gegenüber konventionellen Lösungen ermöglicht zudem eine hohe Zuverlässigkeit der Messanordnung. Vorteilhaft ist das erfindungsgemäße Messelement insbesondere bei sicherheitsrelevanten Messeinrichtungen oder bei Messeinrichtungen im Großmaschinenbereich einsetzbar, bei denen Messgenauigkeit und Messzuverlässigkeit besonders wichtig sind. Je nach physikalischen und/oder chemischen Anforderungen kann das Messelement beispielsweise aus einem keramischen Werkstoff oder einem Kunststoff gebildet sein. Das Heizelement kann beispielsweise in Form eines Heizdrahtes mit in das Messelement integriert sein. Das Heizelement kann jedoch auch aus einer Röhre gebildet sein, durch die ein Heizfluid geleitet wird, um das Messelement zu beheizen. Ferner kann mit der vorliegenden Erfindung ein Messelement geschaffen werden, mit welchem schnell Strömungsgeschwindigkeitsänderungen aufgrund seiner geringen thermischen Kapazität ermittelbar sind.

Es wird ferner vorgeschlagen, dass das Messelement stabförmig ausgebildet ist. Vorteilhaft ist das Messelement einfach zu montieren und kann beispielsweise durch eine Öffnung in den Strömungskanal eingeführt werden. Ferner kann erreicht werden, dass mit geringem Montageaufwand eine Wartung des Messelements ermöglicht wird. Dazu werden die entsprechenden Befestigungen gelöst und das Messelement durch die Öffnung herausgezogen. Daneben kann das Messelement natürlich jede be-

liebige andere Form aufweisen. Beispielsweise kann das Messelement kreisförmig ausgebildet sein, um einen Strömungsverlauf auf einem bestimmten vorgegebenen Radius eines Strömungskanals zu ermitteln. Es kann jedoch auch als archimedische Spirale ausgebildet sein, um einen Strömungsverlauf in Abhängigkeit vom Radius und vom Umfangswinkel einer Strömung zu ermitteln.

In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass das Messelement elastisch ist. So kann vorteilhaft das Messelement je nach Einsatz kurzfristig vorgeformt werden, wodurch die Anzahl der verschiedenen Messelementformen reduziert werden kann. Kosten für Lagerhaltung können eingespart werden.

In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass der Leiter ein Lichtwellenleiter ist. Das Messelement kann vorteilhaft sehr kompakt und kostengünstig hergestellt werden. Vorzugsweise ist der Lichtwellenleiter eine Glasfaser. Insbesondere bei hohen physikalischen und/oder chemischen Beanspruchungen kann ein Einsatz einer Glasfaser vorgesehen sein. Die Glasfaser kann eine hohe Temperaturbeständigkeit aufweisen, wodurch sie beispielsweise für den Einsatz in einer Strömungsmaschine besonders geeignet ist. Je nach Anwendungsfall kann der Lichtwellenleiter jedoch auch durch eine Kunststofffaser gebildet sein.

Weiterhin wird vorgeschlagen, dass das Heizelement durch eine elektrisch leitfähige Beschichtung des Leiters gebildet ist. So kann die Bauform des Messelements weiter vereinfacht werden. Das Heizelement kann so auf einfache Weise einstückig mit dem Leiter verbunden sein, so dass neben einer kostengünstigen Herstellung auch eine Schutzfunktion des Leiters durch das Heizelement erreicht werden kann. Die leitfähige Beschichtung kann beispielsweise aus einem Metall wie Wolfram oder auch aus einer Legierung wie beispielsweise Stahl oder dergleichen gebildet sein.

Es wird ferner vorgeschlagen, dass das Heizelement einen konstanten elektrischen Widerstandsbelag aufweist. So kann vorteilhaft erreicht werden, dass das Messelement über seine Längserstreckung gleichmäßig mit Wärme beaufschlagt wird. Unter Widerstandsbelag ist im Rahmen dieser Anmeldung der elektrische Widerstand pro Längeneinheit zu verstehen.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass der Widerstandsbelag im Betriebstemperaturbereich weitgehend unabhängig von der Temperatur ist. So kann erreicht werden, dass die Wärmezufuhr entlang der Längserstreckung des Messelements im wesentlichen unabhängig von der aktuellen lokalen Temperatur ist. Die Messgenauigkeit sowie auch die Zuverlässigkeit der Messung kann erhöht werden. Dazu kann das Heizelement beispielsweise aus einem Werkstoff wie Konstantan oder dergleichen gebildet sein.

In einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass das Heizelement durch einen als Heizschleife geformten Heizleiter gebildet ist. Es kann vorteilhaft erreicht werden, dass das Messelement an nur einem Ende mit einer entsprechenden Einheit zur Heizelementversorgung zu verbinden ist. Die Heizschleife kann beispielsweise als eine das Messelement umschließende, langgestreckte Spule ausgebildet sein, wobei die beiden Anschlüsse des Heizleiters an einem Ende des Messelements angeordnet sind. Das Heizelement kann daneben jedoch auch durch parallel verlaufende Einzelleiter gebildet sein, die in Reihenschaltung so miteinander verbunden sind, dass beide Anschlüsse an einem Ende des Messelements angeordnet sind. Durch entsprechende Anordnung des Heizleiters kann erreicht werden, dass das Messelement im wesentlichen gleichmäßig mit Wärme beaufschlagbar ist.

In einer vorteilhaften Weiterbildung wird vorgeschlagen, dass das Messelement eine Ummantelung aufweist. Das Messelement kann so beispielsweise gegen eine chemische Beanspruchung ge-

schützt werden. Darüber hinaus ermöglicht die Ummantelung einen mechanischen Schutz, beispielsweise während der Montage.

Es wird ferner vorgeschlagen, dass die Ummantelung aus einem keramischen Werkstoff besteht. Mit der keramischen Ummantelung kann vorteilhaft ein Messelement für eine hohe Temperaturbeanspruchung gebildet werden.

Daneben wird vorgeschlagen, dass die Ummantelung durch eine Metallhülse gebildet ist. So kann vorteilhaft das Messelement beispielsweise gegen eine elektrostatische Aufladung geschützt werden, indem die Metallhülse mit einem Erdpotential verbindbar ist.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass die Metallhülse zugleich das Heizelement bildet. Bauteile und Kosten können weiter reduziert werden.

Ferner wird mit der Erfindung ein Verfahren zum Bestimmen einer Strömungsgeschwindigkeit eines Fluids mit einem erfindungsgemäßen, von dem Fluid umströmten Messelement vorgeschlagen, wobei eine elektromagnetische Welle in einen die Welle führenden Leiter des Messelements eingekoppelt wird, die elektromagnetische Welle durch das Messelement in Abhängigkeit von dessen der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids entsprechenden, lokalen Temperatur beeinflusst, die Beeinflussung der elektromagnetischen Welle ermittelt und daraus die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids entlang der Längserstreckung des Messelements bestimmt wird. Mit der Erfindung kann vorteilhaft ein Verlauf der Strömungsgeschwindigkeit entlang des Messelements bestimmt werden. Die elektromagnetische Welle kann beispielsweise eine kohärente Welle aus einem Laser sein.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass die elektromagnetische Welle durch einen elektromagnetischen Impuls gebildet ist. Vorteilhaft kann Energie eingespart sowie die Messgenau-

igkeit erhöht werden. Der elektromagnetische Impuls kann beispielsweise durch einen gepulsten Laser erzeugt werden, der über geeignete bekannte Kopplungsmittel in den Leiter für die elektromagnetische Welle eingekoppelt wird.

Ferner wird vorgeschlagen, dass das Messelement während der Messung in seiner Längserstreckung durch ein Heizelement erwärmt wird. Aus der Temperaturabnahme aufgrund der Fluidströmung kann vorteilhaft die Strömungsgeschwindigkeit ermittelt werden, da die elektromagnetische Welle in Abhängigkeit von der Temperatur beeinflusst wird. Insbesondere ist der Belag der Wärmebeaufschlagung konstant. Unter Belag der Wärmebeaufschlagung ist in dieser Beschreibung die pro Längeneinheit zugeführte Wärme zu verstehen.

Um eine zeitlich konstante Wärmebeaufschlagung erreichen zu können, wird vorgeschlagen, dass das Heizelement mit einem konstanten elektrischen Strom beaufschlagt wird. Insbesondere bei einem über die Längserstreckung des Messelements konstanten Widerstandsverlauf kann somit gemäß dem ohmschen Gesetz eine konstante Wärmebeaufschlagung erreicht werden. Daneben kann natürlich das Heizelement auch mit einem Wechselstrom gespeist werden. Insbesondere kann durch Variation der Frequenz die Heizwirkung des Heizelements beeinflusst werden, wenn sich die Frequenz in einen Bereich bewegt, in dem Stromverdrängungseffekte wirksam werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vorgeschlagen, dass mehrere Messungen mit unterschiedlicher Wärmebeaufschlagung durchgeführt werden. So kann die Messgenauigkeit weiter erhöht werden.

In einer weiteren Ausgestaltung des vorliegenden Verfahrens wird vorgeschlagen, dass aus der Differenz wenigstens zweier Messungen mit unterschiedlicher Wärmebeaufschlagung die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids entlang der Längserstreckung des Messelements bestimmt wird. Vorteilhaft können durch die

Differenzmessung der Messung überlagerte Störeffekte reduziert werden. Die Genauigkeit des Messergebnisses kann weiter erhöht werden.

Weiterhin wird vorgeschlagen, dass als Fluid ein Gasstrom einer Gasturbine verwendet wird. Der Aufwand zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit in einer Gasturbine kann vorteilhaft reduziert werden, indem beispielsweise die Anzahl der Messelemente sowie deren Auswerteeinheiten vermindert werden kann. Darüber hinaus kann ein erfindungsgemäßes Messelement kostengünstig an die physikalischen und/oder chemischen Anforderungen im Strömungskanal einer Gasturbine angepasst werden. Eine genaue Messung einer Strömungsverteilung im Querschnitt eines Strömungskanals kann erreicht werden.

Ferner wird mit der Erfindung eine Strömungsmaschine mit an einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle angeordneten Laufschaufeln und mit drehfest angeordneten Leitschaufeln vorgeschlagen, wobei ein in einem Strömungskanal der Strömungsmaschine angeordnetes erfindungsgemäßes Messelement zur Messung der Fluidströmungsgeschwindigkeit angeordnet ist. Eine im Stand der Technik übliche Messanordnung mit einer Vielzahl von Messelementen kann eingespart werden. Darüber hinaus kann erreicht werden, dass mit dem erfindungsgemäßen Messelement ein kontinuierlicher Strömungsgeschwindigkeitsverlauf entlang der Längserstreckung des Messelements ermittelt werden kann. So können vorteilhaft lokale Strömungsgeschwindigkeitsänderungen ermittelt werden, die im Rahmen einer konventionellen Messung nicht oder nur mit hohem Aufwand erfassbar wären, da hier nur an diskreten Stellen gemessen wird. Gefährliche Zustände beispielsweise im Schaufelbereich können rechtzeitig ermittelt werden, bevor es zu Beschädigungen von Schaufeln kommt. Insgesamt kann eine deutlich Verbesserung der Überwachung der Strömungsmaschine erreicht werden. Die Strömungsmaschine kann beispielsweise eine Dampfturbine sein, sie kann aber insbesondere auch eine Gasturbine sein. Gerade bei Großmaschinen ist auf die Überwachung ein besonde-

res Augenmerk zu legen, da Störungen zu Ausfällen mit hohen Folgekosten sowie zu Störungen mit einem hohen Gefährdungspotential führen können. So kann die Zuverlässigkeit eines Betriebs der Strömungsmaschine erhöht werden.

Es wird vorgeschlagen, dass das Messelement radial zu einer Achse der Rotorwelle im Strömungskanal angeordnet ist. Vorteilhaft kann die Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Radius von der Achse der Rotorwelle ermittelt werden. Selbstverständlich können im Strömungskanal auch mehrere Messelemente vorgesehen sein, um die Strömungsgeschwindigkeit an unterschiedlichen Umfangspositionen des Strömungskanals ermitteln zu können.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass das Messelement koaxial zur Achse der Rotorwelle entlang einer Kreislinie im Strömungskanal angeordnet ist. So kann vorteilhaft der Strömungsverlauf über dem Umfang im Strömungskanal ermittelt werden. Es können jedoch auch mehrere Messelemente entlang Kreislinien mit unterschiedlichen Radien angeordnet sein, um zusätzlich Informationen über den Strömungsverlauf in unterschiedlichem Abstand von der Achse zu der Rotorwelle ermitteln zu können.

Es wird ferner vorgeschlagen, dass im Strömungskanal axial beabstandet mehrere Messelemente angeordnet sind. So können vorteilhaft axiale Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit erfasst und ausgewertet werden. Es können auch mehrere unterschiedlich geformte Messelemente verwendet werden, um die gewünschten Informationen über den Strömungsverlauf zu erhalten. So können beispielsweise radiale, stabförmige Messelemente mit entlang einer Kreislinie im Strömungskanal angeordneten Messelementen kombiniert werden. Insbesondere wird vorgeschlagen, dass die Messelemente gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben werden.

Weitere Vorteile und Merkmale sind der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen zu entnehmen. Im wesentlichen gleichbleibende Bauteile sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Ferner wird bezüglich gleicher Merkmale und Funktionen auf die Beschreibung zum Ausführungsbeispiel in Fig. 1 verwiesen.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Messelements in stabförmiger Ausführung mit einem Anschlussstecker an einem Ende,

Fig. 2 einen Schnitt durch ein Messelement mit einer Glasfaser sowie zwei parallel dazu angeordneten Heizleitern,

Fig. 3 einen Schnitt durch eine weitere Ausgestaltung eines Messelements mit einem die Glasfaser umgebenden koaxialen Heizelement,

Fig. 4 einen Schnitt durch eine weitere Ausgestaltung eines Messelements mit einem direkt auf einer Oberfläche der Glasfaser aufgebrachten Heizelement,

Fig. 5 ein Prinzipschaltbild für eine Messanordnung zur Ausführung des erfindungsgemäßen Messverfahrens,

Fig. 6 ein Weg-Temperaturdiagramm, welches einen Zusammen-Zusammenhang zwischen der Position und der gemessenen zugehörigen Temperatur bei homogener Strömung ohne Beheizung,

Fig. 7 ein Weg-Temperaturdiagramm wie in Fig. 6 jedoch mit Wärmezufuhr,

Fig. 8 ein Weg-Temperaturdiagramm wie in Fig. 7, wobei die Strömung inhomogen ist,

Fig. 9 ein Weg-Strömungsgeschwindigkeitsdiagramm, welches eine Strömungsgeschwindigkeitsverteilung gemäß Fig. 8 darstellt,

Fig. 10 einen Schnitt durch eine Gasturbine mit einem erfindungsgemäßen Messelement,

Fig. 11 einen Schnitt durch eine Turbinenleitschaufel mit erfindungsgemäßen Messelementen,

Fig. 12 einen Schnitt durch die in Fig. 10 dargestellte Turbine entlang einer Linie XII-XII und

Fig. 13 eine weitere Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Messelements.

Fig. 1 zeigt eine Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Messelements 1 mit einem an einem Ende des Messelements 1 angebrachten Steckverbinder 15 zum Anschluss des Messelements an eine nicht näher dargestellte Auswerteeinheit. Das Messelement 1 ist stabförmig elastisch ausgebildet, so dass die geometrische Form den vorgegebenen Anforderungen angepasst werden kann. Fig. 2 zeigt eine erste Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Messelements 1 mit zwei Heizelementen 5 zwischen denen mittig eine Glasfaser angeordnet ist. Die Anordnung ist in einem keramischen Werkstoff 16 eingebettet, der seinerseits von einer passivierenden Ummantelung 8 umgeben ist.

Fig. 13 zeigt eine schematische Ansicht des Messelements 1, wobei die beiden Heizdrähte 5 an einem Ende des Messelements 1 über eine elektrische Verbindung 28 miteinander in Serie geschaltet sind. In dieser Ausgestaltung ist daher vorteilhaft das Messelement 1 an einem Ende vollständig kontaktierbar. Das zweite Ende ist frei verfügbar, wodurch eine besonders einfache Montage und/oder Handhabung des Messelements 1 erreicht werden kann. Im Messelement 1 sind mehrere Messstellen angedeutet, die jeweils als Faser-Bragg-Gitter-Sensor ausgebildet sind. Mittels eines Faser-Bragg-Gitter-Sensors lässt sich eine Messgröße, hier eine Temperatur und damit indirekt die Strömungsgeschwindigkeit, sehr gut auf optische Weise ermitteln.

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Messelements 2 mit einer Glasfaser 4, die von einem keramischen Werkstoff 16 umgeben ist. Ein Heizelement 6 umgibt

das Messelement 2 voll umfänglich und bildet zugleich eine Ummantelung.

In Fig. 4 ist ein Schnitt durch eine dritte Ausgestaltung gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt, wobei die Glasfaser 4 mit einer Metallschicht 17 bedampft ist, die zugleich eine Ummantelung sowie ein Heizelement bildet. Diese erfindungsgemäße Ausgestaltung zeichnet sich durch eine Elastizität aus, so dass das Messelement 3 in seiner räumlichen Ausdehnung bedarfsgerecht angepasst werden kann. Zudem zeichnet sich das erfindungsgemäße Messelement 3 durch ein besonders einfaches Herstellverfahren aus, in dem die Glasfaser 4 in einem Beschichtungsprozess konventioneller, bekannter Art mit dem gewünschten elektrischen Leiter beschichtet wird.

Die in den Ausgestaltungen verwendeten Heizelemente 5 und 6 sind vorzugsweise aus einem Metall gebildet oder aus einer Metalllegierung. In Abhängigkeit von der physikalischen und/oder chemischen Beanspruchung können beispielsweise Stahl, Kupfer, Aluminium, Bronze, Konstantan oder dergleichen verwendet werden. Für Hochtemperaturanwendungen beispielsweise im Strömungskanal einer Gasturbine ist eine Beschichtung mit einem Metall wie Wolfram oder dergleichen vorzuziehen. Für Anwendungen bei niedrigen Temperaturen in einer chemisch aggressiven Umgebung können beispielsweise auch leitfähige Polymere eingesetzt werden. Darüber hinaus zeichnet sich die Ausgestaltung gemäß Fig. 4 dadurch aus, dass sie eine besonders geringe Wärmekapazität gegenüber den beiden anderen Versionen aufweist, so dass zeitliche Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit rasch erfasst werden können. In den hier dargestellten Ausführungsbeispielen weist das Heizelement 5, 6 jeweils einen konstanten elektrischen Widerstandsbelag auf. Insbesondere ist der Widerstandsbelag im Betriebstemperaturbereich weitgehend unabhängig von der Temperatur. Eine Beaufschlagung des Heizelements 5, 6 mit einem konstanten Strom bzw. mit einem Wechselstrom mit konstantem Effektivwert führt somit zu einer über die Länge des Heizelements gleichmäßigen

Wärmeerzeugung, so dass das Messelement über seine Längserstreckung gleichmäßig mit Wärme beaufschlagt wird.

Fig. 5 zeigt ein Prinzipschaltbild für einen erfindungsgemäßen Messaufbau 18. Ein Messelement 2 ist an seinen jeweiligen Enden mit seinem Heizelement 6 über einen Stromkreis 19, ein Schaltelement 24 und einen Strommesser 20 mit einer elektrischen Energiequelle 21 verbunden. Die elektrische Energiequelle 21 ist in dieser Ausgestaltung eine Stromquelle, über die ein konstanter Gleichstrom vorgebbar ist. Des weiteren ist die Glasfaser 4 des Messelements 2 über eine optische Verbindungsfaser 25 mit einer Auswerteeinheit 23 verbunden. Das Messelement 2 wird von einer Fluidströmung 22 umströmt, die entlang der Längserstreckung des Messelements 2 eine unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeit aufweist, angedeutet durch die unterschiedlich langen Pfeile. Erfindungsgemäß wird zum Bestimmen der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids durch die Auswerteeinheit ein Laserimpuls über die optische Verbindungsfaser 25 in die Glasfaser 4 des Messelements 2 eingekoppelt. Für die Messung wird der Effekt ausgenutzt, dass eine elektromagnetische Welle, die in eine Glasfaser eingekoppelt wird, beim Durchlauf durch die Faser gestreut wird. Ein Teil des gestreuten Lichts wird in die Gegenrichtung gestreut, so dass es am Eingang der Glasfaser erfasst werden kann. Vorzugsweise erfolgt die Erfassung der zurückgestreuten elektromagnetischen Welle zu einem Zeitpunkt, in dem keine elektromagnetische Welle in die Glasfaser eingekoppelt wird. Durch die Temperaturabhängigkeit dieses Effekts lässt sich auf die Temperatur der Glasfaser schließen. Das zurückgestreute Signal besteht aus unterschiedlichen Komponenten, die hinsichtlich der Messanforderungen unterschiedlich geeignet sind. Beispielsweise enthält das zurückgestreute Signal einen Raman-gestreuten Anteil, mit dem jedoch nur eine geringe örtliche Auflösung erreichbar ist. Im Vorliegenden wird daher die Faserbragggittertechnologie angewendet, mit der eine hohe Ortsauflösung erreichbar ist, die insbesondere für den Einsatz der Temperaturmessung in Maschinen erforderlich ist.

Der Laserimpuls dazu wird auf bekannte Weise mit Geräten des Stands der Technik erzeugt. In Abhängigkeit von der lokalen Strömungsgeschwindigkeit 22 nimmt das Messelement 2 eine lokale Temperatur ein. In Abhängigkeit von der Temperatur wird ein Teil des Laserimpulses in der Glasfaser 4 zurückgestreut. Dieses zurückgestreute Signal wird über die optische Verbindungsfaser 25 der Auswerteeinheit 23 zugeführt, die daraus eine Temperaturverteilung entlang des Messelements ermittelt und aus der Temperaturverteilung die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids bestimmt.

Bei geöffnetem Schalter 24 ist es möglich, mit dieser Vorrichtung die Temperatur der Fluidströmung 22 entlang des Messelements 2 zu bestimmen. Danach wird das Schaltelement 24 geschlossen und das Messelement 2 mit Wärme beaufschlagt. Mittels der erneuten Messung wird nunmehr die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids entlang des Messelements 2 bestimmt. Zur Verbesserung der Messgenauigkeit ist die elektrische Energiequelle 21 hinsichtlich des gelieferten Stroms einstellbar. So kann die Messung mit unterschiedlichen Wärmebeaufschlagungen wiederholt werden, wobei aus den Differenzen auf die Strömungsgeschwindigkeit geschlossen wird. Der Schalter kann sowohl ein mechanischer Schalter als auch ein elektronischer Schalter sein, wie sie im Stand der Technik in einer Vielzahl von Bauarten und -formen bekannt sind. Der Schalter kann jedoch auch einstückig mit der Energiequelle 21 ausgebildet sein, wobei nicht nur eine Schaltfunktion sondern auch eine Steuerfunktion für den Strom vorgesehen sein kann.

Die Figuren 6 bis 8 zeigen Weg/Temperatur-Diagramme, wobei der in Fig. 6 dargestellte Verlauf der Temperatur entlang der Längserstreckung des Messelements 1, 2, 3 ohne Wärmebeaufschlagung bei homogener Strömung ist. Fig. 7 zeigt dagegen einen Verlauf wie in Fig. 6, wobei das Messelement 1, 2, 3 jedoch zusätzlich mit Wärme beaufschlagt ist. Fig. 8 zeigt eine Temperaturverteilung auf dem Messelement 1, 2, 3, welche

von dem durch die unterschiedlichen Strömungspfeile 22 in Fig. 5 dargestellten Strömungsverlauf abhängig ist. Deutlich erkennbar ist die erhöhte Temperatur in dem Bereich, in dem in Fig. 5 die geringere Strömung gekennzeichnet ist. Fig. 9 zeigt ein Geschwindigkeitswegdiagramm, in welchem die durch die Auswerteeinheit 23 ermittelte Strömungsgeschwindigkeit als Ergebnis der Messung nach Fig. 8 dargestellt ist.

Fig. 10 zeigt einen teilweisen Schnitt durch eine Gasturbine 9 mit an einer in einem Gehäuse 26 drehbar gelagerten Rotorwelle 10 angeordneten Laufschaufeln 11 und mit drehfest angeordneten Leitschaufeln 12. In einen Strömungskanal 13 der Gasturbine 9 ragt ein Messelement 2 durch eine Öffnung 27. Das Messelement ist radial zu einer Achse 14 der Rotorwelle 10 im Strömungskanal 13 angeordnet. Axial versetzt zum ersten Messelement 2 ist ein zweites Messelement 2 im Strömungskanal der Gasturbine 9 in gleicher Weise angeordnet. Fig. 12 zeigt einen Schnitt durch die Turbine 9. Im Strömungskanal 13 der Turbine 9 sind radial zwei Messelemente 2 angeordnet, mit denen sowohl die Temperatur der Gasströmung im Strömungskanal 13 als auch die Geschwindigkeit ermittelt werden können.

Fig. 11 zeigt einen Schnitt durch eine Leitschaufel 11 der Turbine 9, wobei parallel zu einer radialen Achse der Leitschaufel 11 Messelemente 2 angeordnet sind.

Die in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele dienen lediglich der Erläuterung der Erfindung und sind für diese nicht beschränkend. So können insbesondere die Art des Messelements, insbesondere seine geometrische Ausformung, variieren, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen. Darüber hinaus können natürlich auch mehrere Elemente zusammengeschaltet werden, um bestimmte Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit genauer untersuchen zu können.

Patentansprüche

1. Messelement (1, 2, 3) zur Bestimmung einer Strömungsgeschwindigkeit eines das Messelement (1, 2, 3) umströmenden Fluids mit einem Leiter (4) zum Führen einer elektromagnetischen Welle entlang seiner Längserstreckung und wenigstens einem zum Leiter (4) benachbart angeordneten, elektrischen Heizelement (5, 6), mittels welchem der Leiter (4) mit Wärme beaufschlagbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass eine in den Leiter einkoppelbare elektromagnetische Welle entsprechend der von der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids abhängigen Temperatur des Leiters (4) beeinflussbar ist.

2. Messelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Messelement (1, 2, 3) stabförmig ausgebildet ist.

3. Messelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Messelement (1, 2, 3) elastisch ist.

4. Messelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Leiter (4) ein Lichtwellenleiter ist.

5. Messelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Heizelement (5, 6) aus Metall gebildet ist.

6. Messelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Heizelement (5, 6) durch eine elektrisch leitfähige Beschichtung des Leiters gebildet ist.

7. Messelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Heizelement (5, 6) einen konstanten elektrischen Widerstandsbelag aufweist.

8. Messelement nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Widerstandsbelag im Betriebstemperaturbereich weitgehend unabhängig von der Temperatur ist.

9. Messelement nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Heizelement durch einen als Heizschleife geformten Heizleiter gebildet ist.

10. Messelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch eine Ummantelung (8).

11. Messelement nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Ummantelung (8) aus einem keramischen Werkstoff besteht.

12. Messelement nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Ummantelung (8) aus Metall besteht.

13. Messelement nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Ummantelung (6) zugleich das Heizelement bildet.

14. Verfahren zum Bestimmen einer Strömungsgeschwindigkeit eines Fluids mit einem von dem Fluid umströmten Messelement (1, 2, 3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine elektromagnetische Welle in einen die Welle führenden Leiter (4) des Messelements (1, 2, 3) eingekoppelt wird, die elektromagnetische Welle durch das Messelement (1, 2, 3) in Abhängigkeit von dessen der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids entsprechenden lokalen Temperatur beeinflusst, die Beeinflussung der elektromagnetischen Welle ermittelt und daraus die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids entlang der Längserstreckung des Messelements (1, 2, 3) bestimmt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die elektromagnetische Welle durch einen elektromagnetischen Impuls gebildet ist.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Messelement (1, 2, 3) während der Messung in seiner Längserstreckung durch ein Heizelement (5, 6) erwärmt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Heizelement (5, 6) mit einem konstanten elektrischen Strom beaufschlagt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Messungen mit unterschiedlicher Wärmebeaufschlagung durchgeführt werden.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Differenz wenigstens zweier Messungen mit unterschiedlicher Wärmebeaufschlagung die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids entlang der Längserstreckung des Messelements (1, 2, 3) bestimmt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass als Fluid ein Gasstrom einer Gasturbine (9) verwendet wird.

21. Strömungsmaschine (9) mit an einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle (10) angeordneten Laufschaufeln (11) und mit drehfest angeordneten Leitschaufeln (12), gekennzeichnet durch ein in einem Strömungskanal (13) der Strömungsmaschine (9) angeordnetes Messelement (1, 2, 3) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 zur Messung einer Fluidströmungsgeschwindigkeit.

22. Strömungsmaschine nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Messelement (1, 2, 3) radial zu einer Achse (14) der Rotorwelle (10) im Strömungskanal (13) angeordnet ist.

23. Strömungsmaschine nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Messelement (1, 2, 3) koaxial zur Achse (14) der Rotorwelle (10) entlang einer Kreislinie im Strömungskanal (13) angeordnet ist.

24. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass im Strömungskanal (13) axial beabstandet mehrere Messelemente (1, 2, 3) angeordnet sind.

25. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 20 bestimmbar ist.

FIG 1

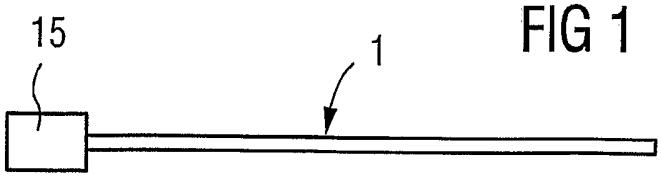


FIG 2

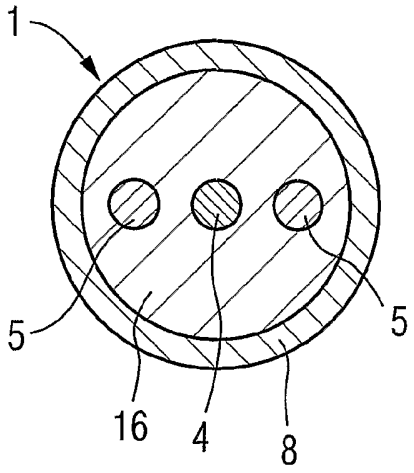


FIG 3

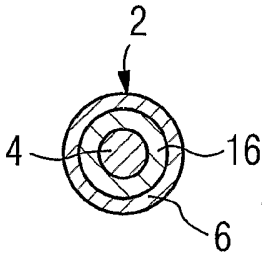


FIG 4

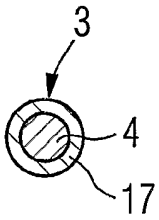


FIG 5

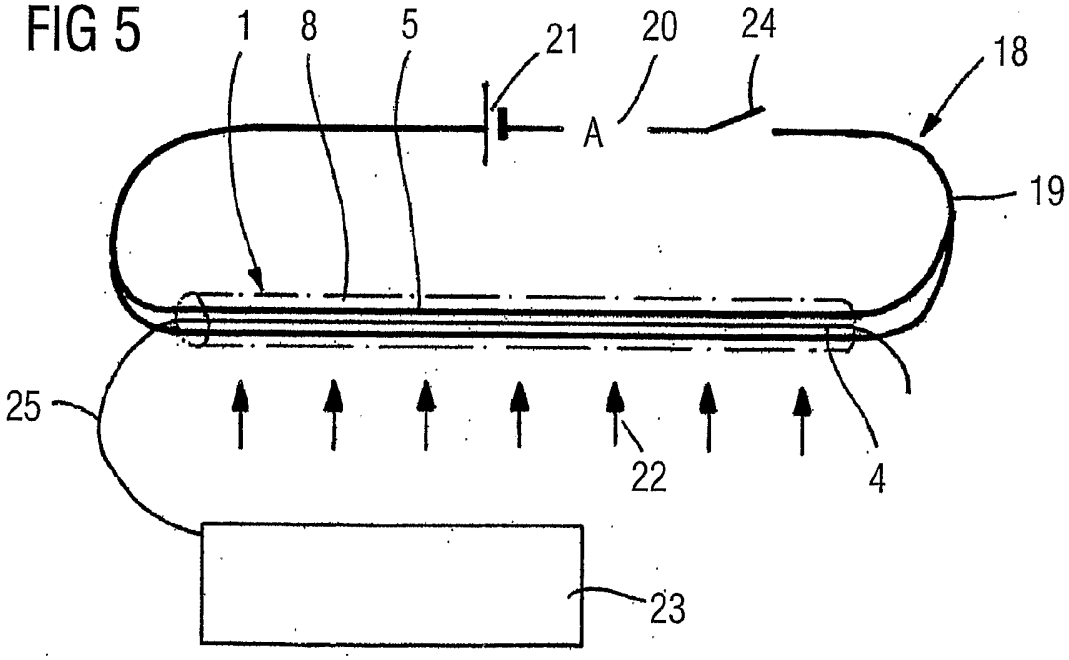


FIG 6



FIG 7

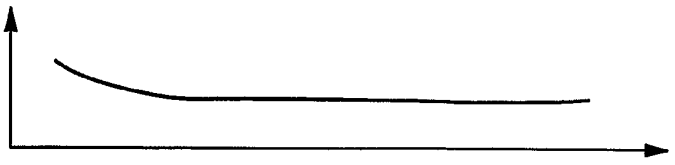


FIG 8

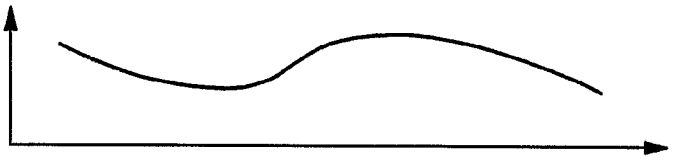


FIG 9

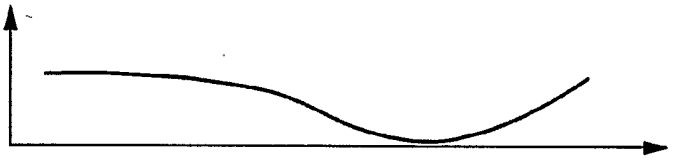


FIG 11

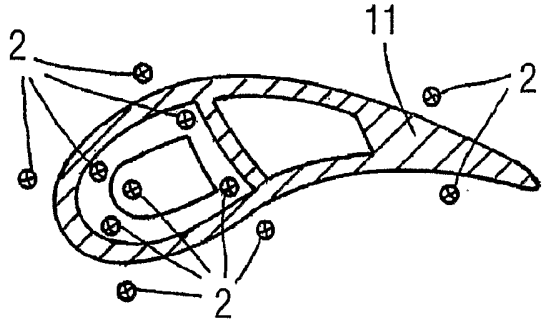


FIG 13

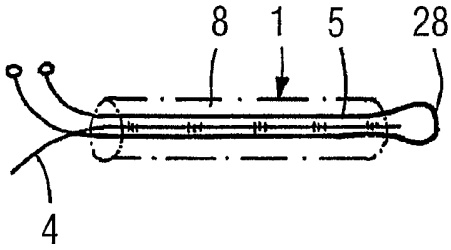
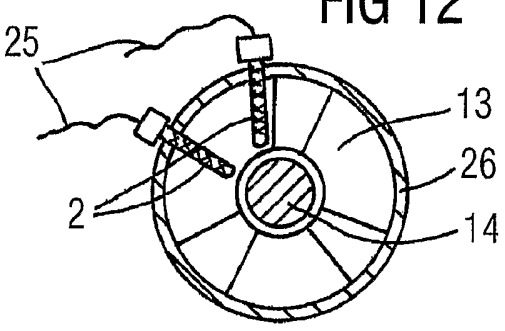


FIG 12



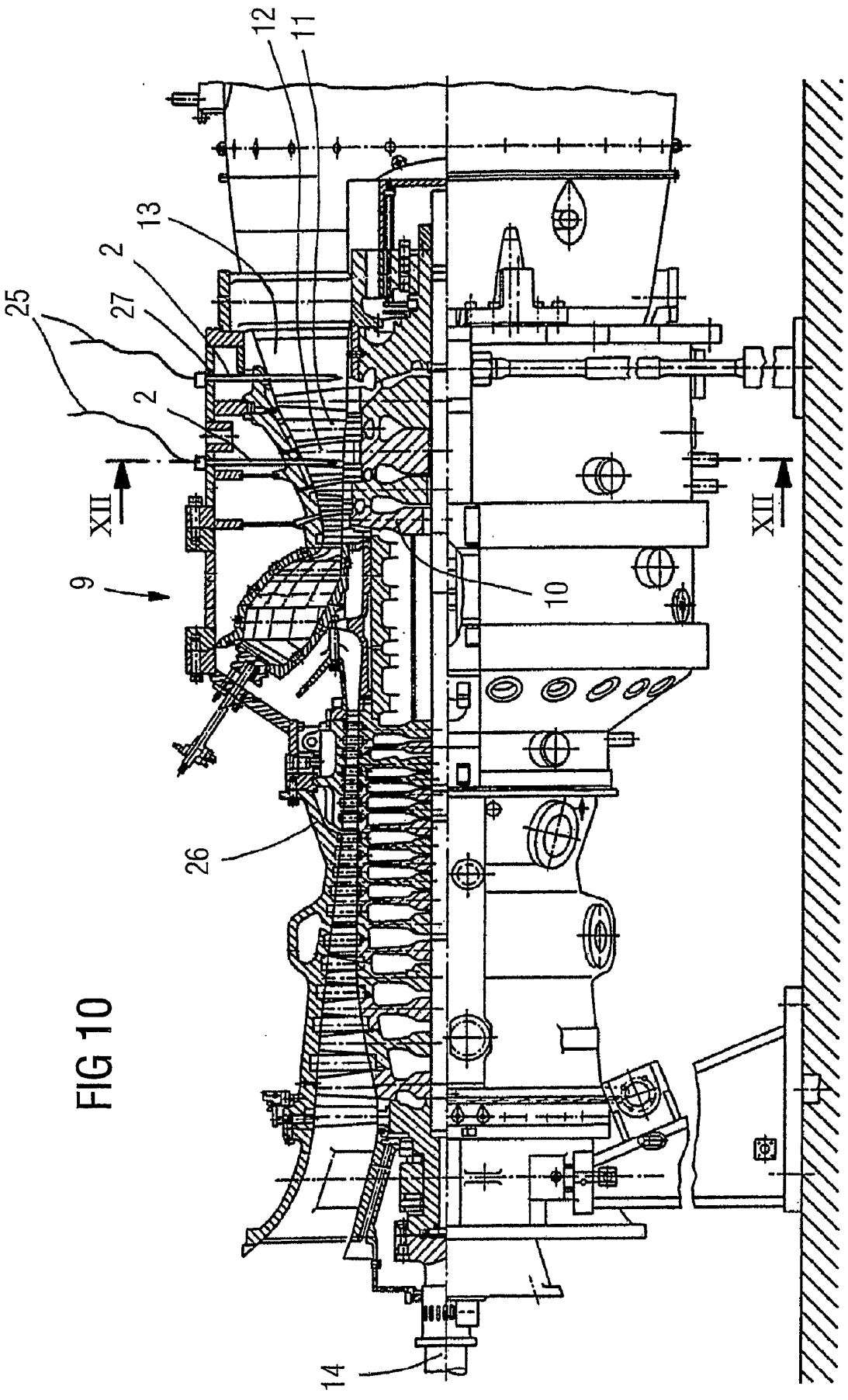


FIG 10