



(10) **DE 10 2014 015 555 B3** 2015.11.19

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 015 555.2**
(22) Anmeldetag: **22.10.2014**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **19.11.2015**

(51) Int Cl.: **G01F 1/40 (2006.01)**
G01N 9/26 (2006.01)
G01N 21/17 (2006.01)
G01N 29/02 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Bundesrepublik Deutschland, vertr. durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
dieses vertreten durch den Präsidenten der
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116
Braunschweig, DE**

(74) Vertreter:

**Gramm, Lins & Partner Patent- und
Rechtsanwälte PartGmbH, 38122 Braunschweig,
DE**

(72) Erfinder:

**Kramer, Rainer, Dr., 38112 Braunschweig, DE;
Mickan, Bodo, Dr., 38104 Braunschweig, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2010 020 699	A1
US	6 446 513	B1
US	2005 / 0 199 840	A1
US	2006 / 0 236 781	A1
US	2011 / 0 153 225	A1
US	2012 / 0 222 495	A1
US	5 564 306	A
US	5 880 378	A
EP	1 114 984	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Detektieren der Kritikalität eines Wirkdruckbauelements und Vorrichtung zur Verkörperung eines Durchflusses**

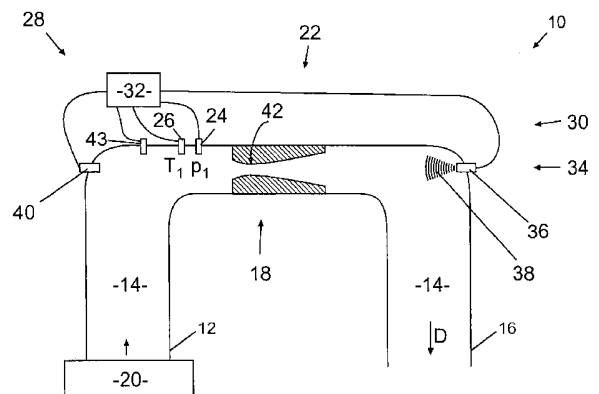
(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Detektieren der Kritikalität eines Wirkdruckbauelements (18), mit den Schritten:

(a) Erfassen von Dichteschwankungen im Wirkdruckbauelement (18) und

(b) Detektieren der Kritikalität anhand der Dichteschwankungen sowie eine Durchflussmaßverkörperung mit einem Wirkdruckbauelement (18), wobei durch eine Kritikalitätsbestimmungsvorrichtung (30) zum Detektieren der Kritikalität des Wirkdruckbauelements (18), und die Kritikalitätsbestimmungsvorrichtung (30)

(a) eine Dichteschwankungs-Erfassungsvorrichtung (34) zum Erfassen von Dichteschwankungen und

(b) eine Auswertevorrichtung (32), die mit der Dichteschwankungs-Erfassungsvorrichtung (34) verbunden ist und eingerichtet ist zum Detektieren der Kritikalität anhand der Dichteschwankungen, aufweist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Detektieren der Kritikalität eines Wirkdruckbauelements. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Verkörperung eines Durchflusses, die einen Wirkdruckbauelement aufweist. Die Vorrichtung zur Verkörperung eines Durchflusses wird im Folgenden als Durchflussmaßverkörperung bezeichnet.

[0002] Zum Stand der Technik gehören Durchflussmessgeräte, die ein Wirkdruckbauelement aufweisen. Über das Wirkdruckbauelement fällt ein Differenzdruck ab, aus der der Durchfluss bestimmt werden kann. Bei Steigerung des Differenzdrucks, der über dem Wirkdruckbauelement abfällt, nimmt zunächst auch der Durchfluss zu. Bei Erreichen eines kritischen Werts des Differenzdrucks tritt beim Wirkdruckbauelement Kritikalität ein. In diesem Zustand führt auch eine Erhöhung des Differenzdrucks nicht zu einer Zunahme des Durchflusses.

[0003] Dieser kritische Zustand eignet sich zum Kalibrieren, da zur Bestimmung des Durchflusses für ein vorgegebenes Wirkdruckbauelement nur noch die thermodynamischen Eingangsgrößen am Eingang der Düse gemessen und ausgewertet werden müssen. Da der Differenzdruck und damit der Druckverlust über das Wirkdruckbauelement mit geeigneten Durchflusserzeugern erzeugt werden muss, werden in der ISO 9300 Düsenformen beschrieben, die bereits bei geringerem Differenzdruck kritisch werden.

[0004] Wann genau Kritikalität beim Wirkdruckbauelement eintritt, muss in Vorversuchen ermittelt werden. Ändert sich zumindest ein Prozessparameter, beispielsweise die Temperatur des Gases oder dessen Dichte, so kann sich der Differenzdruck ändern, ab dem Kritikalität eintritt. Es existiert zudem ein Übergangsbereich, in dem das Wirkdruckbauelement stochastisch vom kritischen in den nicht kritischen Zustand wechselt. Soll sichergestellt sein, dass das Wirkdruckbauelement im kritischen Zustand betrieben wird, muss ein Grenzdruck über das Wirkdruckbauelement abfallen, der hinreichend hoch ist. Das aber führt zu einem beträchtlichen apparativen Aufwand und zu einem unnötig hohen Energiebedarf beim Erzeugen des Differenzdrucks, insbesondere bei großen Wirkdruckbauelementen.

[0005] Aus der US 2006/023678 A1 ist ein Differenzdruck-Durchflussmessgerät bekannt, das eine Düse aufweist. Der Durchfluss aus die Düse wird anhand einer vorgegebenen Gleichung bestimmt. Dieses Gerät beruht nicht auf kritischen Düsen.

[0006] Aus der US 2011/0153225 A1 ist ein Verfahren zum Überwachen einer flexiblen Rohrleitung be-

kannt, das ein Überwachungssystem zur Erfassung von Korrosion aufweist.

[0007] Aus der US 5,564,306 A ist eine Vorrichtung zum dichte-kompensierten Messen des Gasdurchflusses bekannt. Diese Vorrichtung arbeitet nicht mit kritischen Düsen.

[0008] Die US 2012/0222495 A1 betrifft eine Vorrichtung zum Überwachen der Durchflussrate in einer Aerosolpartikelzählvorrichtung, die eine Differenzdruckmessvorrichtung besitzt. Die Kritikalität und damit die Überwachung der Kritikalität einer Düse spielt bei dieser Vorrichtung keine Rolle.

[0009] Die EP 1 114 984 A1 befasst sich mit einem Verfahren zum Messen eines Dampfdurchflusses in einem System von Dampfleitungen, in dem das Produkt aus dem Druck und dem Durchfluss an zumindest einer Stelle bekannt ist. Die Vorrichtung arbeitet nicht mit kritischen Düsen, sodass die Kritikalität nicht detektiert werden muss.

[0010] Aus der US 2005/0199840 A1 ist eine Düsenvorrichtung bekannt, die bei einer Überschall-Strömung betrieben wird. Durch eine geschickte Wahl der Gestalt des Schließkörpers wird es möglich, bereits bei einem vergleichbar kleinen Quotienten aus zuströmseitigen Druck und abströmseitigen Druck Kritikalität zu erzeugen. Ob die Kritikalität eingetreten ist, wird nicht detektiert.

[0011] Aus der US 6,446,513 B1 ist ein Durchflussmessgerät bekannt, das so betrieben wird, dass im Bereich einer Düse Überschallgeschwindigkeit erreicht wird. Wird die Schallgeschwindigkeit überschritten, so hängt der Durchfluss nicht mehr von der Druckdifferenz zwischen Zuström- und Abströmseite ab, sondern nur noch vom Druck auf der Zuströmseite. Ob eine Überschallströmung vorliegt oder nicht, wird nicht ermittelt.

[0012] Die US 5,880,378 A ist eine Venturi-Düse bekannt, die einen bewegbaren Innenkörper aufweist. Dieser kann so angeordnet sein, dass der Durchfluss im kritischen Zustand in linearer Weise von der Position des Körpers entlang einer Längsachse der Düse abhängt. Ob Kritikalität vorliegt oder nicht, wird nicht ermittelt.

[0013] Aus der DE 10 2010 020 699 A1 ist eine Flüssigkeitsmenge einer Referenztemperatur bekannt, bei der eine Mehrzahl von kritischen Düsen verwendet wird, um eine Mehrzahl von Durchflüssen mit hoher Genauigkeit herstellen zu können. Diese Vorrichtung wird so betrieben, dass sicher Kritikalität vorliegt. Eine Erfassung der Kritikalität, beispielsweise um mit möglichst geringem Druck arbeiten zu können, folgt nicht.

[0014] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Nachteile im Stand der Technik zu vermindern.

[0015] Die Erfindung löst das Problem durch ein Verfahren zum Detektieren der Kritikalität eines Wirkdruckbauelements, mit den Schritten: (a) Erfassen von Dichteschwankungen im Wirkdruckbauelement und (b) Detektieren der Kritikalität anhand der Dichteschwankungen.

[0016] Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen von Anspruch 6.

[0017] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass der Zustand der Kritikalität des Wirkdruckbauelements sicher und unabhängig von der Differenzdruckmessung erfasst werden kann. Es muss daher nur der Differenzdruck aufgebaut werden, der gerade notwendig ist, um das Wirkdruckbauelement in den Zustand der Kritikalität zu bringen. Es muss daher nur der unbedingt notwendige apparative Aufwand betrieben werden.

[0018] Vorteilhaft ist zudem, dass der Energiebedarf zum Betreiben des Wirkdruckbauelements im kritischen Zustand nur der notwendige Energieaufwand ist. Das führt, insbesondere bei langen Messzeiten, zu einem signifikanten Minderbedarf an Energie. Der Vorteil ist besonders bei großen Düsen ausgeprägt, da hier der Energieeinsatz zur Erreichung des kritischen Zustands besonders hoch ist.

[0019] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter dem Wirkdruckbauelement ein Bauelement verstanden, das zum Ausbilden einer Druckdifferenz einer stromaufwärtigen Position und einer stromabwärtigen Position ausgebildet ist. Beispielsweise ist das Wirkdruckbauelement eine Düse oder eine Blende. Insbesondere ist das Wirkdruckbauelement ein Bauteil gemäß ISO 9300.

[0020] Unter dem Merkmal, dass Dichteschwankungen im Wirkdruckbauelement erfasst werden, wird insbesondere verstanden, dass die Ausbreitung von akustischen oder optischen Wellen von einer Position stromabwärts des Wirkdruckbauelements zu einer Position stromaufwärts des Wirkdruckbauelements oder umgekehrt erfasst wird, wobei insbesondere Änderungen der Ausbreitung gegenüber dem unkritischen Zustand analysiert werden.

[0021] Unter dem Merkmal, dass die Kritikalität anhand der Dichteschwankungen detektiert wird, wird insbesondere verstanden, dass aus den Dichteschwankungen darauf geschlossen wird, ob sich das Wirkdruckbauelement im kritischen Zustand befindet oder nicht. Im kritischen Zustand hängt der Durchfluss durch das Wirkdruckbauelement nicht von der Druckdifferenz ab, die über das Wirkdruckbauele-

ment abhängt. In nicht kritischem Zustand steigt der Durchfluss durch das Wirkdruckbauelement mit der Druckdifferenz.

[0022] Unter dem Merkmal, dass Dichteschwankungen im Wirkdruckbauelement erfasst werden, wird insbesondere verstanden, dass die Dichteschwankungen eines Fluids erfasst werden, das durch das Wirkdruckbauelement strömt. Bei dem Fluid handelt es sich insbesondere um ein Gas, eine Gas Mischung, ein Aerosol oder einen Rauch oder eine Mischung von zwei oder mehr der genannten Fluide.

[0023] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass es beim Übergang in den kritischen Zustand zu Überschallströmungen im Wirkdruckbauelement kommt, sodass Schwankungen in Form von Schallwellen deshalb nicht oder nur noch in sehr begrenztem Maße von der stromabwärtigen Seite des Wirkdruckbauelements auf die stromaufwärtige Seite gelangen können. Es ist daher möglich, die periodischen Dichteschwankungen, die Schall darstellen, als Anzeichen für den Übergang in den kritischen Zustand zu verwenden.

[0024] In Wirkdruckbauelementen kommt es beim Übergang in die Überschallströmung zudem zu Dichtestößen, die nur im kritischen Zustand zu beobachten sind. Diese Dichtestöße wandern mit einer Frequenz bis zu einigen Kilohertz stromaufwärts bis zum engsten Querschnitt des Wirkdruckbauelements und sind so stark ausgebildet, dass die Dichteunterschiede im strömenden Gas optisch detektiert werden können.

[0025] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Erfassen der Dichteschwankungen die folgenden Schritte: Abgeben eines Schallsignals stromabwärts eines Strömungshalses und/oder Detektieren eines oder des Schallsignals stromaufwärts des Strömungshalses. Vorzugsweise umfasst das Detektieren der Kritikalität ein Erfassen des Schallsignals und/oder einer Veränderung des Schallsignals, insbesondere einer Intensität des Schallsignals und/oder einer Intensitätsänderung des Schallsignals.

[0026] Bei Kritikalität ist die Ausbreitung des Schalls stromaufwärts an eine Stelle stromaufwärts des Wirkdruckbauelements nur über die unmittelbare Randschicht des Fluids möglich, die das Fluid mit dem Rand des Wirkdruckbauelements bildet. In einem infinitesimal kleinen Abstand vom Rand des Wirkdruckbauelements ist die Strömungsgeschwindigkeit Null und nimmt dann mit zunehmendem Abstand zu. Es existiert daher stets eine wenngleich dünne Schicht, in der das durch das Wirkdruckbauelement strömende Medium Unterschallgeschwindigkeit hat, auch wenn der weit überwiegende Teil des Mediums mit Überschallgeschwindigkeit durch das Wirkdruckbauelement strömt. Durch das Abgeben des Schall-

signals stromabwärts des Strömungshalses und das fehlende Schallsignal stromaufwärts des Strömungshalses lässt sich daher ermitteln, ob dem Schallsignal der volle Querschnitt des Wirkdruckbauelements zur Ausbreitung zur Verfügung gestanden hat, oder lediglich die dünne Randschicht.

[0027] Unter dem Strömungshals wird insbesondere die Stelle des Wirkdruckbauelements verstanden, an der die Strömungsgeschwindigkeit bezüglich des Strömungspfads zuerst Schallgeschwindigkeit erreicht. In anderen Worten wird die Strömung entlang des Strömungspfads immer schneller und erreicht im Strömungshals zuerst Schallgeschwindigkeit.

[0028] Unter dem Ultraschallsignal wird insbesondere ein Schallsignal verstanden, das Schallanteile oberhalb von 200 Kilohertz besitzt. Das durch das Wirkdruckbauelement strömende Fluid führt zu beträchtlichem Lärm, der jedoch relativ geringe Schallanteile im Ultraschallbereich oberhalb von 200 Kilohertz hat. Daher ist bei einem Ultraschallsignal das Signal-zu-Rausch-Verhältnis besonders günstig.

[0029] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren die folgenden Schritte: Erfassen des Eigenschalls des Wirkdruckbauelements stromaufwärts des Strömungshalses und Detektieren der Kritikalität anhand der Intensität dieses Schallsignals. Insbesondere wird die Intensität des Schallsignals mit einem Intensitäts-Schwellenwert der Intensität des Schallsignals verglichen. Ist der Intensitäts-Schwellenwert unterschritten, so liegt Kritikalität vor. Der Intensitäts-Schwellenwert kann durch einen Vorversuch ermittelt werden. Alternativ ist es möglich, den Intensitäts-Schwellenwert festzulegen als denjenigen Wert, der 10 dB bis 20 dB kleiner ist als der Intensitätswert bei einem Durchfluss durch das Wirkdruckbauelement, der so klein ist, dass das Wirkdruckbauelement sicher nicht kritisch ist.

[0030] Beispielsweise wird das Wirkdruckbauelement mit einem immer stärker werdenden Durchfluss beaufschlagt und die Intensität dieses Schallsignals gemessen. Fällt die Intensität schlagartig ab, so liegt Kritikalität vor.

[0031] Die Beobachtung des Eigenschalls ist immer dann vorteilhaft, wenn stromaufwärts zur Durchflussmaßverkörperung keine größeren Schallquellen vorhanden sind.

[0032] Vorteilhaft ist es, wenn das Schallsignal kontinuierlich abgegeben und detektiert wird. Auf diese Weise kann das vorzeitige unkritisch werden erkannt werden.

[0033] Es ist aber auch möglich, dass das Schallsignal gepulst abgegeben wird. Möglich ist auch, dass

ein erstes kontinuierliches und zumindest ein zweites, diskontinuierliches Schallsignal abgegeben und detektiert.

[0034] Vorzugsweise weist das Erfassen des Schallsignals den folgenden Schritt auf: Ermitteln der nicht Kritikalitäts-Zeitintervalle, in denen die Intensität des Schallsignals auf Nicht-Kritikalität auf einem auf Nicht-Kritikalität hindeutenden, niedrigen Schallniveau ist, wobei das Detektieren der Kritikalität zumindest auch anhand des Anteils an Nichtkritikalitäts-Zeitintervallen zur Gesamtdauer des Erfassens erfolgt. Wirkdruckbauelemente, insbesondere Düsen, können aus bisher ungeklärter Ursache ein sogenanntes vorzeitiges Unkritisch-Werden zeigen. In diesem Falle wechselt das Wirkdruckbauelement stochastisch vom kritischen in den nicht kritischen Zustand. Dem entsprechen stochastische Sprünge der Schallintensität, das heißt des Schallpegelwerts. Ab einem bestimmten Verhältnis der Zeiten mit geringem Schallpegel zu den Zeiten mit hohem Schallpegel kann die Düse bereits für Kalibrierzwecke benutzt werden, da der Einfluss der unkritischen Betriebsweise als vernachlässigbar angesehen werden kann.

[0035] In anderen Worten ist es tolerierbar, wenn das Wirkdruckbauelement zeitweise im nicht-kritischen Zustand ist, solange die Zeitanteile dieses Zustandes klein sind gegenüber den Zeitanteilen, in denen das Wirkdruckbauelement im kritischen Zustand ist. Die Kritikalität wird dann als detektiert betrachtet, wenn die Kritikalitäts-Zeitintervalle höchstens ein Zehntel der Gesamtdauer des Erfassens betragen. In anderen Worten beträgt die Wahrscheinlichkeit in diesem Fall höchstens ein Zehntel, dass das Wirkdruckbauelement zu einem beliebig gewählten Zeitpunkt nicht kritisch ist.

[0036] Das Merkmal, dass die Nichtkritikalitäts-Zeitintervalle erfasst werden und der Anteil dieser Nichtkritikalitäts-Zeitintervalle an der Gesamtdauer des Erfassens detektiert wird, umfasst auch den Fall, dass die Kritikalitäts-Zeitintervalle erfasst werden und deren Anteil an der Gesamtdauer des Erfassens bestimmt wird. Da die Düse entweder im kritischen oder aber im nicht-kritischen Zustand ist, bedeutet das Ermitteln der Kritikalitäts-Zeitintervalle ein implizites Ermitteln der Nichtkritikalitäts-Zeitintervalle.

[0037] Vorzugsweise umfasst das Erfassen der Dichteschwankungen die folgenden Schritte: (i) Einbringen eines Lichtstrahls in das Wirkdruckbauelement und (ii) Erfassen der Dichteschwankungen durch Messen einer optischen Eigenschaft und/oder einer Änderung der optischen Eigenschaft des Mediums im Wirkdruckbauelement mittels des Lichtstrahls. Unter der optischen Eigenschaft wird dabei insbesondere der Brechungsindex des Mediums im Wirkdruckbauelement verstanden. Im kritischen Zustand kommt es aus strömungsphysikalischen Gründen

den zu Dichtestößen, die zu signifikanten Änderungen des Brechungsindex führen. Aus dem Brechungsindex und/oder einer Brechungsindexänderung kann daher auf das Vorhandensein von Dichtestößen geschlossen werden, die ein Charakteristikum für den kritischen Zustand sind.

[0038] Vorzugsweise wird der Lichtstrahl so in das Wirkdruckbauelement eingebracht, dass er den Strömungshals und/oder einen sich an den Strömungshals stromabwärts anschließenden Abschnitt durchquert.

[0039] Unter der Änderung der optischen Eigenschaft wird die zeitliche und/oder räumliche Änderung verstanden.

[0040] Es ist möglich, dass der Lichtstrahl durch einen Laserstrahl gebildet ist. Der Lichtstrahl kann in Stromrichtung, entgegen der Stromrichtung der Strömung des Mediums oder quer dazu im Wirkdruckbauelement verlaufen. Es ist zudem möglich, dass der Lichtstrahl monochromatisch ist oder zwei oder mehr Wellenlängen aufweist. Insbesondere ist es auch möglich, dass die optische Eigenschaft eine Dispersion des Mediums ist, die sich beim Vorhandensein der Dichteschwankungen ebenfalls ändert.

[0041] Besonders bevorzugt ist es, wenn das Erfassen der Dichteschwankungen mittels des Lichtstrahls ein Aufnehmen eines Bildes und ein Bestimmen der räumlichen Dichteschwankungen durch Messen einer räumlichen Intensitäts- und/oder Phasenverteilung umfasst. Hierzu kann beispielsweise das Schlierenverfahren eingesetzt werden, das seit langer Zeit zum Stand der Technik gehört und daher hier nicht weiter erläutert wird.

[0042] Bei einer erfindungsgemäßen Durchflussmaßverkörperung ist das Wirkdruckbauelement vorzugsweise eine Düse oder eine Blende.

[0043] Günstig ist es, wenn die Dichteschwankungserfassungsvorrichtung einen Schallgeber zum Abgeben eines Schallsignals an einer Stelle stromabwärts des Strömungshalses und einen Schalldetektor zum Detektieren des Schallsignals an einer Stelle stromaufwärts des Strömungshalses aufweist, wobei die Auswertevorrichtung eingerichtet ist zum Detektieren der Kritikalität anhand einer Veränderung des Schallsignals, insbesondere anhand einer Intensität des Schallsignals und/oder einer Intensitätsänderung des Schallsignals.

[0044] Vorzugsweise ist die Auswertevorrichtung eingerichtet zum Durchführen eines Verfahrens gemäß Anspruch 3.

[0045] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Dichteschwankungserfassungsvorrich-

tung eine Lichtquelle zum Einbringen eines Lichtstrahls in das Wirkdruckbauelement und einen zweidimensionalen Lichtsensor zum Erfassen einer Intensitäts- und oder Phasenverteilung des Lichtsignals nach Durchlaufen des Mediums im Strömungshals und/oder stromabwärts des Strömungshalses. In anderen Worten wird mit dem Lichtsensor erfasst, wie etwaige Dichtestöße im Bereich des Strömungshalses den Lichtstrahl verändern, so dass auf das Vorhandensein von Dichtestößen geschlossen werden kann.

[0046] Der zweidimensionale Lichtsensor umfasst vorzugsweise einen CCD-Chip oder eine Kamera mit einem derartigen CCD-Chip. Günstig sind CCD-Chips mit zumindest 5 Megapixeln.

[0047] Erfindungsgemäß ist zudem ein Durchflussmessgerät mit einer erfindungsgemäßen Durchflussmaßverkörperung und einer Temperaturmessvorrichtung und einem Absolutdrucksensor sowie einer Auswertevorrichtung zum Bestimmen des Durchflusses durch das Wirkdruckbauelement anhand der Temperatur und des Absolutdrucks.

[0048] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Durchflussmessgerät zudem eine Gaszusammensetzungs-Messvorrichtung zum Bestimmen der Gaszusammensetzung, wobei dann die Auswertevorrichtung zum Bestimmen des Durchflusses durch das Wirkdruckbauelement anhand der Temperatur, des Absolutdrucks und der Gaszusammensetzung ausgebildet ist.

[0049] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

[0050] Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Durchflussmaßverkörperung zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß einer ersten Ausführungsform und

[0051] Fig. 2 eine erfindungsgemäße Durchflussmaßverkörperung zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß einer zweiten Ausführungsform.

[0052] Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Durchflussmaßverkörperung **10** mit einer Zuleitung **12** zum Zuleiten eines Fluids **14**, im vorliegenden Fall in Form von Luft, und einer Ableitung **16**. Zwischen der Zuleitung **12** und der Ableitung **16** ist ein Wirkdruckbauelement **18** angeordnet, im vorliegenden Fall eine Düse.

[0053] Mittels einem Fluiddruckerzeuger **20**, beispielsweise einem Kompressor, wird das Fluid **14** komprimiert, so dass über dem Wirkdruckbauelement **18** ein Differenzdruck $\Delta p = p_1 - p_2$ abfällt. Es ist möglich, dass das Fluid **14** im Kreis geführt wird.

Der Differenzdruck Δp berechnet sich als Differenz zwischen dem stromaufwärtigen Druck p_1 und dem stromabwärtigen Druck p_2 hinter dem Wirkdruckbauelement **18**.

[0054] Fig. 1 zeigt zudem eine Differenzdruckmessvorrichtung **22**, die im vorliegenden Fall einen Absolutdrucksensor **24** zum Erfassen des stromaufwärtigen Drucks p_1 umfasst. Das Durchflussmessgerät **28** besitzt zudem einen Temperatursensor **26** zum Erfassen der Temperatur T_1 stromaufwärts des Strömungshalses **42**. Die Durchflussmaßverkörperung **10**, der Absolutdrucksensor **24** und der Temperatursensor **26** sind Teil eines Durchflussmessgeräts **28**. Die Durchflussmaßverkörperung **10** besitzt eine Kritikalitäts-Bestimmungsvorrichtung **30**, die eine Auswertevorrichtung **32** und eine Dichteschwankungs-Erfassungsvorrichtung **34** umfasst.

[0055] Die Dichteschwankungs-Erfassungsvorrichtung **34** weist einen Schallgeber **36** zum Abgeben von Schallsignalen **38** in das Fluid **14** sowie einen Schalldetektor **40** auf. Der Schallgeber **38** ist stromabwärts des Wirkdruckbauelements **18** angeordnet, das heißt, dass das Fluid **14** vom Wirkdruckbauelement **18** zum Schallgeber **36** hin strömt. Der Schalldetektor **40** ist stromaufwärts zum Wirkdruckbauelement **18** angeordnet. Zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens gibt der Schallgeber **36** ein kontinuierliches und/oder diskontinuierliches Schallsignal ab und der Schalldetektor **40** erfasst die Intensität des Schallsignals, das das Wirkdruckbauelement **18** pasierte.

[0056] Im kritischen Zustand des Wirkdruckbauelements **18** kommt es zumindest an einem Strömungshals **42** zu Überschallgeschwindigkeiten des Fluids, so dass die Schallausbreitung vom Schallgeber **36** zum Schalldetektor **40** behindert ist. Im nicht-kritischen Zustand hingegen ist die Schallausbreitung deutlich weniger behindert.

[0057] Zur Beurteilung, ob das Wirkdruckbauelement **18** im kritischen Zustand ist, wird eine Intensität I des vom Schalldetektor **40** empfangenen Schallsignals zunächst bei einem geringen Differenzdruck Δp bestimmt, wobei dieser Differenzdruck Δp so gewählt ist, dass keine Kritikalität vorliegen kann. Es wird nachfolgend der Differenzdruck Δp durch Erhöhen einer Leistung des Fluiddruckerzeugers **20** vergrößert und die Intensität I (Δp) ermittelt. Sobald sich die Intensität auf höchstens $1/10$ des Schalldrucks bei Nicht-Kritikalität reduziert, kann davon ausgegangen werden, dass das Wirkdruckbauelement **18** in kritischem Zustand ist.

[0058] In der gezeigten Ausführungsform umfasst das Durchflussmessgerät **28** zudem eine Gaszusammensetzungsmessvorrichtung **43** zum Bestimmen der Gaszusammensetzung des Fluids **14**. Die Aus-

wertevorrichtung **32** ist zum Bestimmen des Durchflusses D anhand der Temperatur, des Absolutdrucks und der Gaszusammensetzung ausgebildet. Diese Bestimmung ist aus dem Stand der Technik bekannt und wird daher nicht näher erläutert.

[0059] Fig. 2 zeigt eine zweite Durchflussmaßverkörperung **10** zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens, bei der die Kritikalitätsbestimmungsvorrichtung **30** eine Lichtquelle **44**, im vorliegenden Fall einen Festkörperlaser mit der Wellenlänge **532** Nanometer sowie einen Lichtsensor **46** aufweist. Im vorliegenden Fall ist der Lichtsensor **46** durch einen CCD-Chip gebildet. Die Lichtquelle **44** sendet einen Lichtstrahl **48** aus. In der vorliegenden Ausführungsform besitzt der Lichtstrahl **48** im Bereich des Strömungshalses **42** eine Taille. Die Durchführung des Schlierenverfahrens ist beispielsweise in der Dissertation von A.

[0060] Brandstetter (Betriebsverhalten einer Dualmodus-Scramjet-Modellbrennkammer mit Wasserstoffverbrennung, Dissertation, Lehrstuhl für Flugantriebe, TU München, 2004) beschrieben.

[0061] Ist das Wirkdruckbauelement **18** im kritischen Zustand, schwankt die Dichte des Fluids **14** lokal stochastisch, was zu Intensitätsschwankungen im Bild, das vom Lichtsensor **46** aufgenommen wird, führt. Das Ausmaß der Intensitätsschwankungen kann beispielsweise durch die über alle Pixel gemittelte Abweichung der Lichtintensität des jeweiligen Pixels vom Mittelwert aller Pixel ermittelt werden.

[0062] Überschreitet dieser Wert einen vorgegebenen Schwellenwert, so liegt Kritikalität vor.

Bezugszeichenliste

10	Durchflussmaßverkörperung
12	Zuleitung
14	Fluid
16	Ableitung
18	Wirkdruckbauelement
20	Fluiddruckerzeuger
22	Differenzdruckmessvorrichtung
24	Absolutdrucksensor
26	Temperatursensor
28	Durchflussmessgerät
30	Kritikalitätsbestimmungsvorrichtung
32	Auswertevorrichtung
34	Dichteschwankungs-Erfassungsvorrichtung
36	Schallgeber
38	Schallsignal
40	Schalldetektor
42	Strömungshals
43	Gaszusammensetzungsmessvorrichtung
44	Lichtquelle
46	Lichtsensor
48	Lichtstrahl

D	Durchfluss
Δp	Differenzdruck
p_1	stromaufwärtiger Druck
p_2	stromabwärtiger Druck
T	Temperatur
I	Intensität

Patentansprüche

1. Verfahren zum Detektieren der Kritikalität eines Wirkdruckbauelements (18), mit den Schritten:

- (a) Erfassen von Dichteschwankungen im Wirkdruckbauelement (18) und
- (b) Detektieren der Kritikalität anhand der Dichteschwankungen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (i) das Erfassen der Dichteschwankungen die folgenden Schritte umfasst:
 - Abgeben eines Schallsignals (38) stromabwärts eines Strömungshalses (42) des Wirkdruckbauelements (18) und
 - Detektieren des Schallsignals (38) stromaufwärts des Strömungshalses (42) und dass
- (ii) das Detektieren der Kritikalität ein Erfassen des Schallsignals (38), insbesondere einer Intensität (I) des Schallsignals (38) und/oder einer Intensitätsänderung des Schallsignals (38), umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (i) das Erfassen des Schallsignals (38) den folgenden Schritt umfasst: Ermitteln der Nichtkritikalitäts-Zeitintervalle, in denen die Intensität (I) des Schallsignals (38) auf einem auf Nicht-Kritikalität hindeutenden, niedrigen Intensitätsniveau ist, und dass
- (ii) das Detektieren der Kritikalität zumindest auch anhand des Anteils an Nichtkritikalitäts-Zeitintervallen zur Gesamtdauer des Erfassens erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- das Erfassen der Dichteschwankungen die folgenden Schritte umfasst:
 - (i) Einbringen eines Lichtstrahls in das Wirkdruckbauelement (18) und
 - (ii) Erfassen der Dichteschwankung durch Messen einer optischen Eigenschaft und/oder einer Änderung der optischen Eigenschaft des Mediums im Wirkdruckbauelement (18) mittels des Lichtstrahls.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- das Erfassen der Dichteschwankungen mittels des Lichtstrahls die folgenden Schritte umfasst:
 - Aufnehmen eines Bildes und
 - Bestimmen der räumlichen Dichteschwankung durch Messen einer räumlichen Intensitäts- und/oder Phasenverteilung.

6. Vorrichtung zur Verkörperung eines Durchflusses mit einem Wirkdruckbauelement (18), gekennzeichnet durch eine Kritikalitätsbestimmungsvorrichtung (30) zum Detektieren der Kritikalität des Wirkdruckbauelements (18), wobei die Kritikalitätsbestimmungsvorrichtung (30) (a) eine Dichteschwankungs-Erfassungsvorrichtung (34) zum Erfassen von Dichteschwankungen und (b) eine Auswertevorrichtung (32), die mit der Dichteschwankungs-Erfassungsvorrichtung (34) verbunden ist und eingerichtet ist zum Detektieren der Kritikalität anhand der Dichteschwankungen, aufweist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (i) das Wirkdruckbauelement (18) eine Düse ist und
- (ii) die Dichteschwankungs-Erfassungsvorrichtung (34)
 - einen Schallgeber (36) zum Abgeben eines Schallsignals (38) an einer Stelle stromabwärts eines Strömungshalses der Düse (42) und
 - einen Schalldetektor zum Detektieren des Schallsignals (38) an einer Stelle stromaufwärts des Strömungshalses (42) aufweist,
 - (iii) wobei die Auswertevorrichtung (32) eingerichtet ist zum Detektieren der Kritikalität anhand einer Veränderung des Schallsignals (38), insbesondere einer Intensität (I) des Schallsignals (38) und/oder einer Intensitätsänderung des Schallsignals (38).

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswertevorrichtung (32) eingerichtet ist zum automatischen

- (i) Erfassen der Veränderung des Schallsignals (38), die den folgenden Schritt umfasst: Ermitteln der Nichtkritikalitäts-Zeitintervalle, in denen die Intensität (I) des Schallsignals (38) auf einem auf Nicht-Kritikalität hindeutenden, niedrigen Intensitätsniveau ist, und
- (ii) Detektieren der Kritikalität zumindest auch anhand des Anteils an Nichtkritikalitäts-Zeitintervallen zur Gesamtdauer.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dichteschwankungs-Erfassungsvorrichtung (34)

- eine Lichtquelle (44) zum Einbringen eines Lichtstrahls in das Wirkdruckbauelement (18) und
- einen zweidimensionalen Lichtsensor (46) zum Erfassen einer Intensitäts- und/oder Phasenverteilung des Lichtsignals (38) nach Durchlaufen des Mediums in einem Strömungshals (42) des Wirkdruckbauelements (18) aufweist.

10. Durchflussmessgerät (28) mit

- einer Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 9,

- einem Temperatursensor (**26**), der an einer Position stromaufwärts des Strömungshalses (**42**) angeordnet ist zum Messen der Temperatur (T_1) eines Fluids (**14**), dessen Durchfluss (D) durch das Durchflussmessgerät (**28**) zu messen ist,
- einem Absolutdrucksensor (**24**) zum Messen des absoluten stromaufwärtigen Drucks (p_1) und
- einer Auswertevorrichtung (**32**) zum Bestimmen des Durchflusses (D) durch das Wirkdruckbauelement (**18**) anhand der Temperatur (T_1) und des absoluten Drucks (p_1).

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

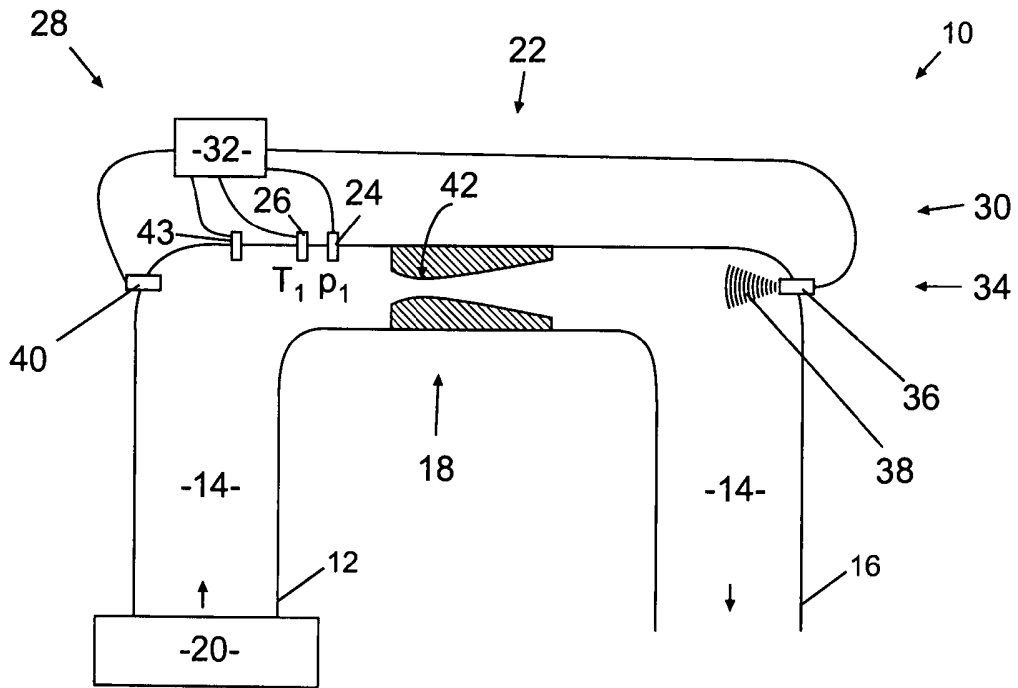


Fig. 1

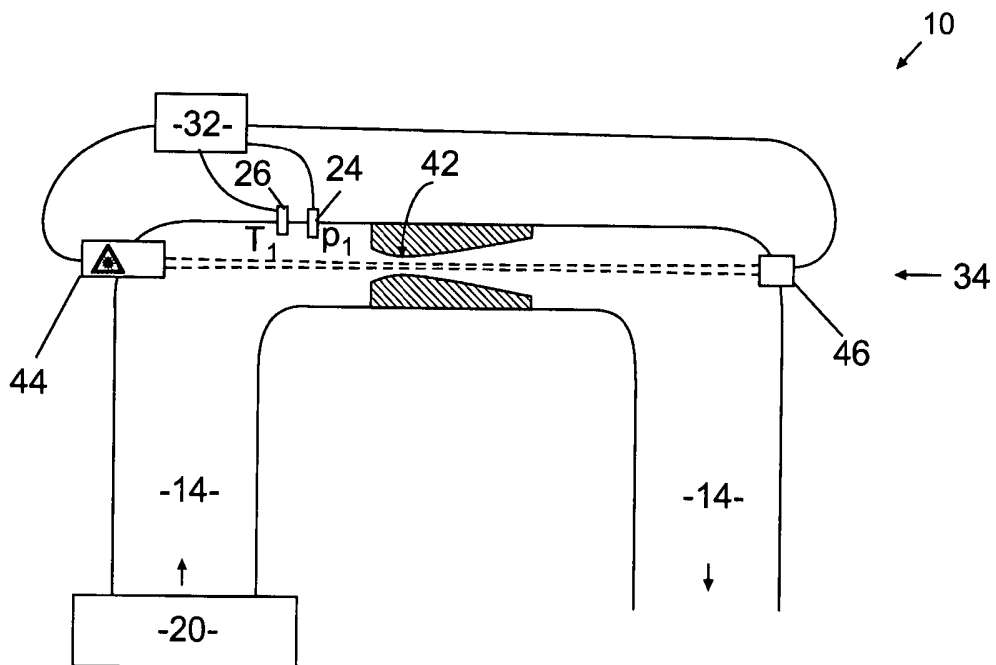


Fig. 2