

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

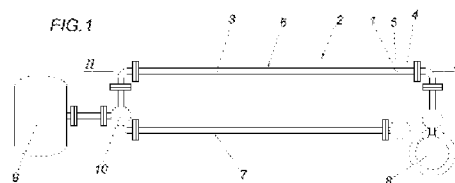
(21) Anmeldenummer: A 50502/2017 (51) Int. Cl.: **G01P 21/02** (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 16.06.2017 **G01P 5/12** (2006.01)
 (43) Veröffentlicht am: 15.07.2018 **G01F 25/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 M.R. LECIC: "A new experimental approach to the calibration of hot-wire probes"; Flow Measurement and Instrumentation, 2009, Vol. 20, pp 136 - 140; doi:10.1016/j.flowmeasinst.2009.04.001
 S. PEZZOTTI et al.: "A wind tunnel for anemometer calibration in the range of 0.2 - 1.25 m/s", 2011, Flow Measurement and Instrumentation, 2011, Vol. 22, pp. 338 - 342; doi:10.1016/j.flowmeasinst.2011.04.006
 M.A. ARDEKANI: "Hot-wire calibration using vortex shedding", Measurement, 2009, Vol. 42, pp.722 - 729; doi:10.1016/j.measurement.2008.12.001

(71) Patentanmelder:
 LEC GmbH
 8010 Graz (AT)
 (72) Erfinder:
 Wimmer Andreas Dipl.Ing. Dr.
 8010 Graz (AT)
 Salbrechter Sebastian Dipl.Ing. Dr.
 8010 Graz (AT)
 Meyer Georg Dipl.Ing. Dr.
 1180 Wien (AT)
 Pirker Gerhard Dipl.Ing. Dr.
 8010 Graz (AT)
 Tilz Anton Dipl.Ing.
 8042 Graz (AT)
 (74) Vertreter:
 Hübscher Helmut Dipl.Ing.
 4020 Linz (AT)

(54) **Vorrichtung zur Hochdruckkalibrierung von thermischen Anemometern**

(57) Es wird eine Vorrichtung sowie ein Verfahren zur Hochdruckkalibrierung von thermischen Anemometern (1) in einem Fluid, umfassend einen Referenzströmungskanal (2) mit einer stromaufwärts liegenden Einlaufstrecke (3) und einer stromabwärts liegenden Auslaufstrecke (4), eine Steuereinheit für die zu kalibrierenden thermischen Anemometer (1) sowie Messaufnehmer für Temperatur, Absolutdruck sowie Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides beschrieben. Um mit geringem konstruktivem Aufwand eine einfache und zuverlässige Kalibrierung, vorzugsweise unter Verwendung eines bestehenden Mess- oder Prüfstandes, bei dem das thermische Anemometer später eingesetzt werden soll, zu ermöglichen, wird vorgeschlagen, dass die Einlaufstrecke (3) des Referenzströmungskanals (2) ein im Querschnitt kreisförmiges Kalibrierrohr (6) zur Ausbildung einer turbulenten Strömung mit einer dem mehr als 60-fachen des Rohrdurchmessers entsprechenden Länge bildet, an dessen Ende eine Aufnahme (5) für die zu kalibrierenden thermischen Anemometer (1) angeordnet ist.



Zusammenfassung

Es wird eine Vorrichtung sowie ein Verfahren zur Hochdruckkalibrierung von thermischen Anemometern (1) in einem Fluid, umfassend einen Referenzströmungskanal (2) mit einer stromaufwärts liegenden Einlaufstrecke (3) und einer stromabwärts liegenden Auslaufstrecke (4), eine Steuereinheit für die zu kalibrierenden thermischen Anemometer (1) sowie Messaufnehmer für Temperatur, Absolutdruck sowie Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides beschrieben. Um mit geringem konstruktivem Aufwand eine einfache und zuverlässige Kalibrierung, vorzugsweise unter Verwendung eines bestehenden Mess- oder Prüfstandes, bei dem das thermische Anemometer später eingesetzt werden soll, zu ermöglichen, wird vorgeschlagen, dass die Einlaufstrecke (3) des Referenzströmungskanals (2) ein im Querschnitt kreisförmiges Kalibrierrohr (6) zur Ausbildung einer turbulenten Strömung mit einer dem mehr als 60-fachen des Rohrdurchmessers entsprechenden Länge bildet, an dessen Ende eine Aufnahme (5) für die zu kalibrierenden thermischen Anemometer (1) angeordnet ist.

(Fig. 1)

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung sowie ein Verfahren zur Hochdruckkalibrierung von thermischen Anemometern in einem Fluid, umfassend einen Referenzströmungskanal mit einer stromaufwärts liegenden Einlaufstrecke und einer stromabwärts liegenden Auslaufstrecke, eine Steuereinheit für die zu kalibrierenden thermischen Anemometer sowie Messaufnehmer für Temperatur, Absolutdruck sowie Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides.

Thermische Anemometer werden üblicherweise in einem externen Kalibrator kalibriert, wobei Druckluft über einen Druckspeicher zur Strömungsberuhigung und danach über eine Düse am zu kalibrierenden Anemometer vorbeigeführt wird. Die Düse ist aber so ausgebildet, dass ein möglichst turbulenzfreier Strahl erzeugt wird, innerhalb dem das Strömungsgeschwindigkeitsprofil einem Rechteckprofil gleicht. Aus der gemessenen Druckdifferenz zwischen Druckspeicher und Umgebungsdruck kann auf die Geschwindigkeit bei bekanntem Druckverlustbeiwert der Düse und bei bekannter Druckluftdichte zurückgerechnet werden. Letztere kann zu Beginn der Kalibrierung aus Umgebungsdruck und Temperatur ermittelt werden. Die eigentliche Kalibrierung erfolgt durch eine Variation des Vordrucks der Druckluft, sodass die Strömungsgeschwindigkeiten im turbulenzfreien Freistrahle am Düsenaustritt über einen weiten Bereich eingestellt und den jeweiligen Sensorsignalen zugeordnet werden können. Nachteilig ist an diesem Verfahren allerdings, dass eine Kalibrierung nur bei Umgebungsdruck möglich ist, nicht aber bei höheren Drücken, wie beispielsweise 50 bar und mehr.

Eine Kalibrierung bei Hochdruck würde einen Druckkessel um den Kalibrator erfordern, was allerdings in Hinblick auf die erforderlichen Abmessungen, die hohen

Druckwerte und die im Verhältnis dazu erforderliche genaue Regelbarkeit des Innendruckes über Zu- und Ablassventile mit einem unvertretbaren konstruktiven und finanziellen Aufwand verbunden ist.

Auf der anderen Seite erfordert eine Hochdruckkalibrierung in einem bestehenden Mess- oder Prüfstand, in den das thermische Anemometer später eingesetzt werden soll, ein genau bekanntes Strömungsgeschwindigkeitsprofil im Referenzströmungskanal. Aufgrund der für eine Hochdruckkalibrierung erforderlichen druckfesten Kapselung und aufgrund der hohen Druckwerte von 1-60 bar und Temperaturen von 25-80 °C ergeben sich allerdings erhebliche Einschränkungen für die verwendbaren Messsysteme für das Strömungsgeschwindigkeitsprofil im Referenzströmungskanal bzw. die Strömungsgeschwindigkeit am Ort des thermischen Anemometers. Darüber hinaus können Messverfahren nicht zum Einsatz kommen, die den bestehenden Mess- oder Prüfstand mit zusätzlich angeführten Partikeln verschmutzen würden. Als einziges mögliches Messverfahren würde daher nach dem Stand der Technik eine Staudrucksonde infrage kommen, die allerdings aufgrund ihrer notwendigen Abmessungen die Strömung im Referenzströmungskanal durch die eigene Verdrängungswirkung so beeinflussen würde, dass eine Messung der Strömungsgeschwindigkeit am Ort des thermischen Anemometers nicht möglich ist.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Hochdruckkalibrierung von thermischen Anemometern mit geringem konstruktivem Aufwand so auszugestalten, dass eine einfache und zuverlässige Kalibrierung, vorzugsweise unter Verwendung eines bestehenden Mess- oder Prüfstandes, bei dem das thermische Anemometer später eingesetzt werden soll, ermöglicht wird.

Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, dass die Einlaufstrecke des Referenzströmungskanals ein im Querschnitt kreisförmiges Kalibrierrohr zur Ausbildung einer turbulenten Strömung mit einer dem mehr als 60-fachen des Rohrdurchmessers entsprechenden Länge bildet, an dessen Ende eine Aufnahme für die zu kalibrierenden thermischen Anemometer angeordnet ist.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass überraschenderweise bei der Ausbildung einer turbulenten Strömung des Fluides im Kalibrierrohr, die ja üblicherweise bei einem Kalibrierverfahren vermieden werden soll, eine erfolgreiche Hochdruckkalibrierung des thermischen Anemometers möglich wird. Zu diesem Zweck ist es lediglich erforderlich, dass das Kalibrierrohr als Einlaufstrecke eine ausreichende Länge aufweist, sodass sich am Ort des thermischen Anemometers eine definierte und ausgebildete turbulente Strömung einstellt. Versuche haben gezeigt, dass hierfür eine Länge erforderlich ist, die dem mehr als 60 -fachen des Rohrdurchmessers, vorzugsweise dem 70 -fachen und noch vorteilhafter dem 80 - fachen des hydraulischen Durchmessers des Kalibrierrohres entspricht. Die an das thermische Anemometer anschließende stromabwärts liegende Auslaufstrecke muss dabei so ausgeführt werden, dass sich hinsichtlich der turbulenten Strömung keine Rückwirkung auf den Ort des thermischen Anemometers ergibt. Um den Wandeinfluss des Kalibrierrohres möglichst gering zu halten, wird vorgeschlagen, dass dessen Innenseite eine möglichst glatte und störungsfreie Oberfläche aufweist, wie dies beispielsweise bei gezogenem Aluminium der Fall ist. In einem Mess- oder Prüfstand kann das erfindungsgemäße Kalibrierrohr direkt vor der Position des Prüflings eingebaut werden. Ist dies aus technischen Gründen nicht möglich, so kann das erfindungsgemäße Kalibrierrohr auch als Bypass eingesetzt werden, sofern der Massen- oder Volumendurchfluss durch das Kalibrierrohr messtechnisch ermittelt werden kann. Der Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Hochdruckkalibrierung für thermische Anemometer liegt dabei insbesondere darin, dass sehr hohe Druckwerte von 60 bar und mehr bei der Kalibrierung eingestellt werden können und sich eine Beschränkung nur durch die Festigkeitsgrenze des Anemometers selbst ergibt.

Besonders vorteilhafte Bedingungen ergeben sich, wenn der Referenzströmungskanal ein- und auslaufseitig dicht mit einer druckfesten Ausgleichsleitung verbunden ist, über die das Fluid im Kreislauf geführt ist. Auf diese Weise ergibt sich ein geschlossener Fluidkreislauf, dessen Massen- oder Volumendurchfluss, Absolutdruck und Temperatur in besonders einfacher Weise vorgegeben bzw. bestimmt werden kann.

Um den Massen- oder Volumendurchfluss für die Kalibrierung in einfacher Weise regeln zu können, wird vorgeschlagen, dass in der Ausgleichsleitung eine Strömungsmaschine vorgesehen ist.

Es ergeben sich besonders günstige Kalibrierbedingungen, wenn im Strömungskanal des Fluides ein mit einem Druckspeicher für das Fluid verbundenes Ventil vorgesehen ist. Über ein derartiges Ventil kann der Absolutdruck innerhalb des Kalibrierrohres unter der Voraussetzung eines geschlossenen Systems bei entsprechender Regelung genau eingestellt und gehalten werden. Das Ventil kann zu diesem Zweck im Bereich unmittelbar vor dem Kalibrierrohr vorgesehen sein.

Nachdem thermische Anemometer besonders sensibel auf Temperaturschwankungen im Fluid reagieren, wird zur Verbesserung des Kalibrierergebnisses vorgeschlagen, dass im Strömungskanal des Fluides ein Wärmetauscher zur Temperierung des Fluides vorgesehen ist.

Gegenstand der Erfindung ist auch ein Verfahren zur Hochdruckkalibrierung von thermischen Anemometern, wobei zunächst die Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres bestimmt, sodann bei mehreren unterschiedlichen Druckwerten eine turbulente Strömung im Kalibrierrohr ausgebildet, Messwerte von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie über die Steuereinheit des thermischen Anemometers ein der Strömungsgeschwindigkeit des Fluides an der Position des Anemometers entsprechender Kalibriermesswert erfasst werden, wonach aus den erfassten Messwerten von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie der Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres die lokale Strömungsgeschwindigkeit des Fluides an der Position des Anemometers ermittelt und unter Ausbildung eines Kennlinienfeldes mit dem Kalibriermesswert der Steuereinheit in Bezug gesetzt werden. Zu diesem Zweck kann aus den Messwerten von Druck und Temperatur die lokale Dichte und aus der lokalen Dichte, dem Messwert des Massen- oder Volumendurchflusses und dem Durchmesser des Kalibrierrohres die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Fluides ermittelt werden. Aus der mittleren Strömungsgeschwindigkeit des Fluides

des sowie des Durchmessers des Kalibrierrohres kann über das logarithmische Geschwindigkeitsgesetz nach Colebrook bei Kenntnis der Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres sowie der kinematischen Viskosität des Fluides, die Stoffdatenbanken entnommen werden kann, die lokale Strömungsgeschwindigkeit an der Position des Anemometers bestimmt und mit dem vorzugsweise zeitlich gemittelten Kalibriermesswert der Steuereinheit in Bezug gesetzt werden. In diesem Zusammenhang wird die Voraussetzung für die Gültigkeit des logarithmischen Wandgesetzes dadurch erfüllt, dass die Länge des Kalibrierrohres als Einlaufstrecke dem mehr als 60 – fachen des Durchmessers des Kalibrierrohres entspricht, dass also eine ausgebildete turbulente Strömung vorliegt.

Um eine Kalibrierung des thermischen Anemometers unabhängig vom Druckniveau zu erreichen und damit einen messtechnisch einfach in kostengünstige Steuerelektronik von thermischen Anemometern integrierbaren Zusammenhang zu erhalten, wird vorgeschlagen, dass aus dem Kennlinienfeld für jeden Kalibriermesswert der Steuereinheit die zugehörige Reynolds-Zahl unter Ausbildung einer Kalibrierkennlinie ermittelt wird. Für den Fall eines Hitzedrahtanemometers kann die zugehörige Reynolds-Zahl auf den Drahtdurchmesser des Anemometers bezogen sein. Diese Kalibrierkennlinie kann dann beispielsweise tabellarisiert in einen Kalibrierspeicher der Auswerteelektronik des thermischen Anemometers abgelegt werden, sodass am Ausgang der Auswerteelektronik bei Eingabe der übrigen genannten Messparameter der Wert der Strömungsgeschwindigkeit am Ort des thermischen Anemometers ausgegeben wird. Zusage dieser Maßnahmen können in weiterer Folge Geschwindigkeiten mit dem kalibrierten Anemometer bei Druckwerten gemessen werden, unter welchen das System nicht kalibriert wurde.

Die für das erfindungsgemäße Verfahren erforderliche Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres kann auf unterschiedliche Weise ermittelt werden. So kann die Oberflächenrauheit beispielsweise für den Fachmann in einfacher Weise aus der Druckdifferenz zwischen gemessenem und berechnetem Druckabfall vor und nach dem Kalibrierrohr ermittelt werden. Um allerdings zusätzliche Sensoren zu vermeiden, wird vorgeschlagen, dass das zu kalibrierende thermische Anemometer

zunächst in einem an sich bekannten Kalibrator für Umgebungsdruck bei Umgebungsdruck vermessen wird, wonach das thermische Anemometer in die Aufnahme des Kalibrierrohres eingesetzt und darin bei unterschiedlichen Werten für Massen- oder Volumendurchfluss eine turbulente Strömung bei Umgebungsdruck ausgebildet, Messwerte von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie über die Steuereinheit des thermischen Anemometers ein der Strömungsgeschwindigkeit des Fluides an der Position des Anemometers entsprechender Messwert erfasst werden, wonach aus den erfassten Messwerten von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie der von der Steuereinheit ausgegebenen lokalen Strömungsgeschwindigkeit des Fluides an der Position des Anemometers die Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres ermittelt wird.

Theoretisch sind die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren auch für eine laminare Strömung im Kalibrierrohr anwendbar, sofern anstatt des logarithmischen Geschwindigkeitsgesetzes nach Colebrook das Gesetz von Hagen-Poiseuille für die Geschwindigkeitsberechnung herangezogen wird. Eine technische Umsetzung bringt aber, insbesondere dann, wenn als Fluid Gase zum Einsatz kommen, den Nachteil mit sich, dass entweder die Strömungsgeschwindigkeit oder der Durchmesser des Kalibrierrohres sehr klein sein müssen, um nicht die kritische Reynolds-Zahl von 2300 zu überschreiten. Bei derart kleinen Rohrdurchmessern ist aber der Temperatureinfluss der Wand des Kalibrierrohres sehr groß, sodass eine gleichmäßige Temperaturregelung für das Fluid und die Wand des Kalibrierrohres vorgesehen werden müsste. Darüber hinaus würde bei derart kleinen Rohrdurchmessern das Anemometer selbst die Strömung stark beeinflussen, sodass eine zuverlässige Kalibrierung nicht mehr möglich ist.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise dargestellt. Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung und
Fig. 2 einen Schnitt entlang der Linie II-II der Fig. 1.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Hochdruckkalibrierung von thermischen Anemometern 1 umfasst einen Referenzströmungskanal 2 mit einer stromaufwärts liegenden Einlaufstrecke 3 und einer stromabwärts liegenden Auslaufstrecke 4. Zwischen Einlaufstrecke 3 und Auslaufstrecke 4 ist eine Aufnahme 5 für ein thermisches Anemometer 1 angeordnet. Die Einlaufstrecke 3 selbst wird durch ein Kalibrierrohr 6 gebildet, das im Querschnitt kreisförmig ist und eine dem mehr als 60 - fachen, vorzugsweise dem mehr als 70-fachen und besonders vorteilhaft dem mehr als 80 - fachen des Rohrdurchmessers entsprechenden Länge aufweist.

Zur Messung von Temperatur, Absolutdruck sowie Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides können im Strömungskanal des Fluides an ansich beliebiger Stelle Messaufnehmer angeordnet werden. Besonders vorteilhaft ist es aber, wenn die erhaltenen Messwerte die Bedingungen im unmittelbaren Umfeld des thermischen Anemometers widerspiegeln.

Der aus Kalibrierrohr 6 als Einlaufstrecke 3 und Auslaufstrecke 4 gebildete Referenzströmungskanal 2 ist ein- und auslaufseitig dicht mit einer druckfesten Ausgleichsleitung 7 verbunden, über die das Fluid im Kreislauf geführt wird. Um den Massen- bzw. Volumendurchfluss des Fluides zu regeln, ist anschließend an die Auslaufstrecke 4 eine Strömungsmaschine 8 in der Ausgleichsleitung 7 eingebunden.

Um den Druck innerhalb der Kalibriervorrichtung unabhängig vom Massen- bzw. Volumendurchfluss des Fluides regeln zu können, ist zudem ein mit einem Druckspeicher 9 für das Fluid verbundenes Ventil 10 im Strömungskanal des Fluides vorgesehen.

Die Temperatur des Fluides kann über einen in den Figuren nicht näher dargestellten Wärmetauscher im Strömungskanal des Fluides geregelt werden.

Zur Hochdruckkalibrierung eines thermischen Anemometers 1 wird zunächst die Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres 6 bestimmt. Die Oberflächenrauheit kann dabei analytisch ermittelt werden, und zwar wie oben beschrieben an-

hand der Druckdifferenz zwischen gemessenem und berechnetem Druckabfall vor und nach dem Kalibrierrohr 6. Um allerdings den Einsatz zusätzlicher Messaufnehmer zu vermeiden, kann das zu kalibrierende thermische Anemometer 1 zunächst in einem an sich bekannten Kalibrator für Umgebungsdruck bei Umgebungsdruck vermessen werden, wonach das thermische Anemometer 1 in die Aufnahme 5 eingesetzt und im Kalibrierrohr 6 bei unterschiedlichen Werten für Massen- oder Volumendurchfluss eine turbulente Strömung bei Umgebungsdruck ausgebildet wird. Für jeden Wert für Massen- oder Volumendurchfluss werden sodann zeitgleich Messwerte von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie über die Steuereinheit des thermischen Anemometers ein der Strömungsgeschwindigkeit des Fluides an der Position des Anemometers entsprechender Messwert erfasst, wonach aus den erfassten Messwerten von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie der von der Steuereinheit ausgegebenen lokalen Strömungsgeschwindigkeit des Fluides an der Position des Anemometers 1 die Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres 6 ermittelt wird. Zu diesem Zweck kann aus den Messwerten von Druck und Temperatur die lokale Dichte und aus der lokalen Dichte, dem Messwert des Massen- oder Volumendurchflusses und dem Durchmesser des Kalibrierrohres 6 die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Fluides ermittelt werden. Aus der mittleren Strömungsgeschwindigkeit des Fluides sowie des Durchmessers des Kalibrierrohres 6 kann über das logarithmische Geschwindigkeitsgesetz nach Colebrook bei Kenntnis der lokalen Strömungsgeschwindigkeit an der Position des Anemometers 1, die über das bei Umgebungsdruck kalibrierte und damit zuverlässige Werte liefernde Anemometer 1 ermittelt wird, und der kinematischen Viskosität des Fluides, die Stoffdatenbanken entnommen werden kann, die Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres 6 bestimmt werden.

Zur Aufnahme der Kalibrierkennlinie wird dann in einem weiteren Schritt bei mehreren unterschiedlichen Druckwerten eine turbulente Strömung im Kalibrierrohr 6 ausgebildet, Messwerte von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie über die Steuereinheit des thermischen Anemometers 1 ein der Strömungsgeschwindigkeit des Fluides an der Position des Anemometers 1

entsprechender Kalibriermesswert erfasst, wonach aus den erfassten Messwerten von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie der zuvor bestimmten Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres 6 die lokale Strömungsgeschwindigkeit des Fluides an der Position des Anemometers 1 ermittelt und unter Ausbildung eines Kennlinienfeldes mit dem Kalibriermesswert der Steuereinheit in Bezug gesetzt wird.

Um das gewonnene Kennlinienfeld in einfacher Weise in der Steuereinheit des thermischen Anemometers 1 ablegen zu können, kann zudem wie bereits oben beschrieben aus dem Kennlinienfeld für jeden Kalibriermesswert der Steuereinheit die zugehörige, beispielsweise auf den Drahtdurchmesser des Anemometers bezogene Reynolds-Zahl unter Ausbildung einer Kalibrierkennlinie ermittelt werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Hochdruckkalibrierung von thermischen Anemometern (1) in einem Fluid, umfassend einen Referenzströmungskanal (2) mit einer stromaufwärts liegenden Einlaufstrecke (3) und einer stromabwärts liegenden Auslaufstrecke (4), eine Steuereinheit für die zu kalibrierenden thermischen Anemometer (1) sowie Messaufnehmer für Temperatur, Absolutdruck sowie Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides, dadurch gekennzeichnet, dass die Einlaufstrecke (3) des Referenzströmungskanals (2) ein im Querschnitt kreisförmiges Kalibrierrohr (6) zur Ausbildung einer turbulenten Strömung mit einer dem mehr als 60-fachen des Rohrdurchmessers entsprechenden Länge bildet, an dessen Ende eine Aufnahme (5) für die zu kalibrierenden thermischen Anemometer (1) angeordnet ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzströmungskanal (2) ein- und auslaufseitig dicht mit einer druckfesten Ausgleichsleitung (7) verbunden ist, über die das Fluid im Kreislauf geführt ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in der Ausgleichsleitung (7) eine Strömungsmaschine (8) vorgesehen ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass im Strömungskanal des Fluides ein mit einem Druckspeicher (9) für das Fluid verbundenes Ventil (10) vorgesehen ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass im Strömungskanal des Fluides ein Wärmetauscher zur Temperierung des Fluides vorgesehen ist.
6. Verfahren zur Hochdruckkalibrierung von thermischen Anemometern (1) mit einer Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zunächst die Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres (6) bestimmt, sodann bei mehreren unterschiedlichen Druckwerten eine turbulente Strömung im Kalibrierrohr (6) ausgebildet, Messwerte von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie zeitgleich über die Steuereinheit des thermischen Anemometers (1) ein zugeordneter, der Strömungsgeschwindigkeit des Fluides an der Position des Anemometers (1) entsprechender Kalibriermesswert erfasst werden, wonach aus den erfassten Messwerten von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie der Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres (6) die lokale Strömungsgeschwindigkeiten des Fluides an der Position des Anemometers (1) ermittelt und unter Ausbildung eines Kennlinienfeldes mit den zugeordneten Kalibriermesswerten der Steuereinheit in Bezug gesetzt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Kennlinienfeld für jeden Kalibriermesswert der Steuereinheit die zugehörige Reynolds-Zahl unter Ausbildung einer Kalibrierkennlinie ermittelt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass das zu kalibrierende thermische Anemometer (1) zunächst in einem Kalibrator für Umgebungsdruck vermessen wird, wonach das thermische Anemometer (1) in die Aufnahme (5) eingesetzt und im Kalibrierrohr (6) bei unterschiedlichen Werten für Massen- oder Volumendurchfluss eine turbulente Strömung bei Umgebungsdruck ausgebildet, Messwerte von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie über die Steuereinheit des thermischen Anemometers (1) ein der Strömungsgeschwindigkeit des Fluides an der Position des Anemometers (1) entsprechender Messwert erfasst werden, wonach aus den

erfassten Messwerten von Temperatur, Absolutdruck, Massen- oder Volumendurchfluss des Fluides sowie der von der Steuereinheit ausgegebenen lokale Strömungsgeschwindigkeit des Fluides an der Position des Anemometers (1) die Oberflächenrauheit der Innenseite des Kalibrierrohres (6) ermittelt wird.

