(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
15. April 2010 (15.04.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/040344 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01B 5/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/001399

(22) Internationales Anmeldedatum:
9. Oktober 2009 (09.10.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 051 424.1
11. Oktober 2008 (11.10.2008) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **MTU AERO ENGINES GMBH** [DE/DE]; Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **KRIEGMAIR, Josef** [DE/DE]; Prisostrasse 9, 85465 Langenpreising (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **MTU AERO ENGINES GMBH**; Intellectual Property Management, Postfach 50 06 40, 80976 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING A BORE HOLE IN A SURFACE OF A COMPONENT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM VERMESSEN EINER BOHRUNG IN EINER OBERFLÄCHE EINES BAUTEILS

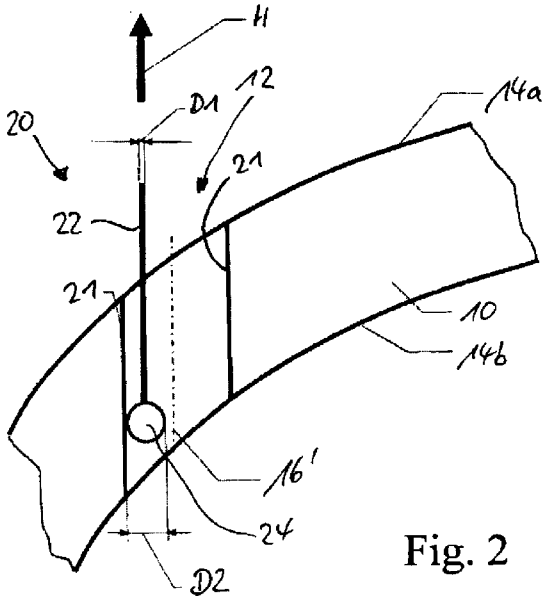


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a method for measuring of at least one bore hole (12) in at least one surface (14a, 14b) of a component (10), in particular for thermal flow machines, in which an actual-geometry of the at least one bore hole (12) is determined at least in regions thereof by means of a tactile sensor device, wherein a sensor element (20) of the tactile sensor device comprising a sensor body (24) is moved at least predominately along the primary rigidity axis (H) of said bore hole for the at least regional determination of the actual geometry of the bore hole (12). The invention further relates to an apparatus for measuring of at least one bore hole (12) in at least one surface (14a, 14b) of a component (10).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermessen wenigstens einer Bohrung (12) in zumindest einer Oberfläche (14a, 14b) eines Bauteils (10), insbesondere für thermische Strömungsmaschinen, bei welchem eine Ist-Geometrie der wenigstens einen Bohrung (12) mittels einer taktilen Sensoreinrichtung zumindest bereichsweise ermittelt wird, wobei ein einen Tastkörper (24) umfassendes Tastelement (20) der taktilen Sensoreinrichtung beim zumindest bereichsweisen Ermitteln der Ist-Geometrie der Bohrung (12) zumindest überwiegend entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse (H) bewegt wird. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zum Vermessen wenigstens einer Bohrung (12) in zumindest einer Oberfläche (14a, 14b) eines Bauteils (10).

WO 2010/040344 A1

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM VERMESSEN EINER BOHRUNG IN EINER OBERFLÄCHE EINES BAUTEILS

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermessen wenigstens einer Bohrung in zumindest einer Oberfläche eines Bauteils der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Art sowie eine entsprechende Vorrichtung der im Oberbegriff des Patentanspruchs 24 angegebenen Art.

Ein derartiges Verfahren sowie eine derartige Vorrichtung zum Ermitteln einer Ist-Geometrie wenigstens einer Bohrung mittels einer taktilen Sensoreinrichtung sind bereits aus dem Stand der Technik bekannt. Taktiles Scannen wird dabei üblicherweise beim Vermessen von großen Geometrieelementen verwendet. Ein dabei verwendeter Sensor wird unabhängig von der Art des Schaltimpulses – mechanisch, optisch, etc. – als „Berührend" angesehen, wenn Kontakt zwischen einem Tastelement und der zu messenden Oberfläche notwendig ist. Bei einem bekannten Normalenvektor, welcher eine glatte Oberfläche im Verhältnis zur Dimension eines Tastkörpers der taktilen Sensoreinrichtung voraussetzt, kann die Biegung des den Tastkörper umfassenden Tastelements der Sensoreinrichtung durch die jeweilige Antastkraft bei der Auswertung der Messergebnisse berücksichtigt werden. Komplexe Soll-Geometrien des Bauteils, beispielsweise bei sogenannten Airfoils für thermische Strömungsmaschinen, und unvermeidbare Fertigungstoleranzen sowohl bei der Ist-Geometrie des Bauteils als auch bei der jeweiligen Bohrung verkomplizieren jedoch bislang eine prozessstabile Vermessung. Dabei werden insbesondere an Kühlluftbohrungen - beispielsweise Shaped Holes oder Turbulent Holes - hohe Anforderungen hinsichtlich Lage- und Ausprägungspräzision gestellt, um eine geforderte Kühlleistung für das Bauteil sicherzustellen. Ansonsten kann es aufgrund einer unzureichend ausgebildeten Trichterform oder Messtiefe T der Bohrung zu einer Überhitzung des Bauteils und gegebenenfalls zu Funktionseinschränkungen der zugeordneten Strömungsmaschine kommen. Eine präzise Vermessung der Bohrungen ist daher sowohl während der Fertigung als auch während einer Reparatur oder Wartung des Bauteils von großem Interesse. Das Vermessen der Boh-

BESTÄTIGUNGSKOPIE

rungen erfolgt bislang abgesehen von taktilen Scann-Verfahren über aufwändige, langwierige und kostspielige manuelle Verfahren (Pinnen) oder über eine optische Lagebestimmung der Durchstoßöffnung der Bohrung in der Oberfläche des Bauteils. Dies erlaubt jedoch keine Aussage über die Orientierung und die konkrete Makro- bzw. Mikrogeometrie der Bohrung, so dass eine zuverlässige Bewertung der Güte der Bohrung und damit des Bauteils nicht möglich ist. Üblicherweise umfassen derartige Bauteile zudem eine Vielzahl von Bohrungen, die darüber hinaus in geringem Abstand zueinander mit unterschiedlichen geometrischen Ausprägungen und jeweils unterschiedlichen Winkeln in das Bauteil eingebracht sind. Wenigstens ein Teil der Bohrungen ist zudem häufig im Nahbereich von Wandgeometrien des Bauteils angeordnet. Im Unterschied zu Geometrieelementen mit glatter und sehr präziser Oberfläche - beispielsweise Einspritzdüsen - besitzen insbesondere durch Laser-Bohrverfahren in das Bauteil eingebrachte Bohrungen häufig eine raue Oberfläche mit einer im Verhältnis zur Dimension des Tastkörpers großen Rautiefe. Dies erschwert bislang eine taktile Vermessung erheblich.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Vermessen wenigstens einer Bohrung in zumindest einer Oberfläche eines Bauteils mittels einer taktilen Sensoreinrichtung zu schaffen, welche eine erhöhte Messgenauigkeit gewährleisten und verbesserte Aussagen über die Güte der Bohrung ermöglichen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zum Vermessen wenigstens einer Bohrung in zumindest einer Oberfläche eines Bauteils mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 24 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen mit zweckmäßigen und nicht-trivialen Weiterbildungen der Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens - soweit anwendbar - als vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung und umgekehrt anzusehen sind.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Vermessen wenigstens einer Bohrung in zumindest einer Oberfläche eines Bauteils mittels einer taktilen Sensoreinrichtung, welches eine erhöhte Messgenauigkeit gewährleistet und verbesserte Aussagen über die Güte der Bohrung

ermöglicht, ist dadurch geschaffen, dass ein einen Tastkörper umfassendes Tastelement der taktilen Sensoreinrichtung beim zumindest bereichsweisen Ermitteln der Ist-Geometrie der Bohrung zumindest überwiegend entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse bewegt wird. Der Erfindung liegt dabei die Erkenntnis zugrunde, dass das Tastelement der taktilen Sensoreinrichtung und sein Tastkörper aufgrund der geringen Querschnittsdurchmesser bzw. der geringen Abmessungen der wenigstens einen zu vermessenden Bohrung (z.B. bei Langlöchern) entsprechend klein dimensioniert sein müssen, damit der Tastkörper bis in die gewünschten Messtiefen vordringen kann. Die Dimensionen des Tastelements sowie des Tastkörpers sind hierdurch im Verhältnis zur Rautiefe bei rauen Bohrungsoberflächen klein, wodurch das Tastelement eine entsprechend geringe Biegesteifigkeit aufweist. Eine rechnerische Kompensation einer durch die mechanische Antastkraft des Tastkörpers an einem Wandbereich der Bohrung verursachten Verbiegung des Tastelements ist aufgrund des durch die Rauigkeit stetig wechselnden Normalenvektors derzeit stark eingeschränkt bis unmöglich. Aufgrund der geringen Abmessungen von Tastelement und Tastkörper können zudem Adhäsionseffekte die Vermessung sowohl bei glatten als auch bei rauen Oberflächenstrukturen signifikant beeinflussen. Indem das Tastelement erfindungsgemäß zumindest überwiegend entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse bewegt wird, kann der Einfluss von Biegemomenten, Rauheiten und Adhäsionseffekten jedoch überraschenderweise minimiert werden. Dies führt zu Messergebnisse mit erheblich verbesserter Genauigkeit sowohl bei glatten als auch bei rauen Wandstrukturen der Bohrung, wodurch entsprechend verbesserte Aussagen über die Güte der Bohrung ermöglicht sind.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Hauptsteifigkeitsachse des Tastelements zumindest im wesentlichen parallel und/oder um einen Winkel gekippt gegenüber einer Bohrungsachse der Bohrung und/oder entlang einer Falllinie eines Wandbereichs der Bohrung angeordnet wird. Hierdurch wird sichergestellt, dass sich der zu vermessende Wandbereich zumindest im wesentlichen parallel zur Hauptsteifigkeitsachse des Tastelements erstreckt, so dass der Tastkörper gleichmäßig entlang des Wandbereichs bewegt werden kann. Indem das taktile Tastelement um einen Winkel gekippt ist, behält der Tastkörper auch bei gewissen Abweichungen von der Soll-Geometrie der Bohrung - z. B. durch Rauheiten - den mechanischen Kontakt mit dem zu vermessenden Wand-

bereich bei. Bei Bohrungen mit komplexen Geometrien hat es sich als vorteilhaft gezeigt, die Hauptsteifigkeitsachse entlang einer Falllinie anzuordnen. Die Falllinie kann beispielsweise bei trichterförmigen Wandbereichen der Bohrung zwischen einer oberen und einer unteren Führungskontur ermittelt werden.

Weitere Vorteile ergeben sich, indem der Winkel höchstens so groß gewählt wird, dass beim Anordnen des Tastkörpers des Tastelements in einer maximalen Messtiefe innerhalb der Bohrung der Wandbereich der Bohrung von einem Schaft des Tastelements in einem Abstand vom Tastkörper berührt wird, wobei mittels des Tastkörpers ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastelement und dem Wandbereich zum Ermitteln der Ist-Geometrie hergestellt wird. Hierdurch wird sichergestellt, dass das Tastelement über die gesamte Messtiefe der Bohrung zumindest überwiegend entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse bewegt werden kann, ohne dass der Schaft mit störenden Oberflächenstrukturen kollidiert, wodurch das Messergebnis verschlechtert werden könnte.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Winkel und/oder ein Abstand des Schafts des Tastelements vom Wandbereich der Bohrung derart eingestellt wird, dass der Schaft beim zumindest überwiegenden Bewegen des Tastelements entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse den Wandbereich nicht berührt. Ein derartiger Sicherheitswinkel bzw. ein derartiger Sicherheitsabstand stellen eine weitere Möglichkeit dar, eine unerwünschte Berührung zwischen dem Schaft des Tastelements und dem zu vermessenden Wandbereich zuverlässig zu vermeiden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass zunächst ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastelement und dem Wandbereich im Bereich einer Außenoberfläche und/oder einer Innenoberfläche des Bauteils hergestellt wird. Hierdurch wird ebenfalls ein unerwünschtes Antasten des Schafts des Tastelements mit den Wandbereichen der Bohrung zuverlässig verhindert.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Bauteil und das Tastelement vor und/oder während des zumindest bereichsweisen Ermittelns

der Ist-Geometrie der Bohrung relativ zueinander ausgerichtet werden. Auf diese Weise kann insbesondere in Fällen, in denen eine Berührung zwischen dem Schaft des Tastelements und dem Wandbereich nicht sicher ausgeschlossen werden kann, die Einhaltung des gewünschten Sicherheitswinkels bzw. Sicherheitsabstands dennoch durch entsprechendes Ausrichten erzielt werden.

Dabei hat es sich als vorteilhaft gezeigt, wenn das Ausrichten in Abhängigkeit einer Abweichung der Ist-Geometrie von einer Soll-Geometrie der Bohrung durchgeführt wird. Mit anderen Worten werden das Bauteil und das Tastelement vorteilhaft relativ zueinander ausgerichtet, wenn die Ist-Geometrie des Bauteils bzw. der Bohrung signifikant von einer vorgegebenen Soll-Geometrie abweicht. Dies ermöglicht eine verbesserte Messgenauigkeit und verhindert unerwünschte Kollisionen zwischen dem Schaft des Tastelements und den Wandbereichen der Bohrung. Durch das Ausrichten ist zudem eine einfache und schnelle Möglichkeit geschaffen, um auch Bohrungen mit trichterförmigen Ein- und Auslaufbereichen, Hinterschnitten und dergleichen problemlos vermessen zu können.

Weitere Vorteile ergeben sich, indem vor und/oder während des zumindest bereichsweisen Ermittelns der Ist-Geometrie der Bohrung eine Ist-Bohrungsachse ermittelt wird. Die Ermittlung der Ist-Bohrungsachse ermöglicht insbesondere bei großen Toleranzabweichungen eine zuverlässige Ausrichtung zwischen dem Bauteil und dem Tastelement der Sensoreinrichtung.

In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Ist-Bohrungsachse unter Berücksichtigung einer Ist-Höhenlage der Oberfläche des Bauteils ermittelt wird. Hierdurch wird sichergestellt, dass der Tastkörper beim Vermessen der Bohrung zuverlässig in der jeweils gewünschten Messtiefe angeordnet werden kann.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Ist-Bohrungsachse unter Berücksichtigung einer Differenz zwischen einem Ist- und einem Soll-Schnittprofil der Bohrung ermittelt wird. Dies stellt eine einfache und schnelle Möglichkeit dar, die Ist-Bohrungsachse bzw. ihre Abweichung von der Soll-Bohrungsachse zu

ermitteln, so dass das Tastelement und die Bohrung gezielt relativ zueinander angeordnet werden können. Insbesondere Bohrungen mit geringer Formtoleranz und vergleichsweise glatter Oberfläche können auf diese Weise besonders schnell hinsichtlich der Differenz zwischen ihrer Ist- und Soll-Bohrungsachse bewertet werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass zum Ermitteln der Ist-Bohrungsachse in einer vorbestimmten Messtiefe innerhalb der Bohrung ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper und dem Wandbereich der Bohrung hergestellt und anhand des Kontaktpunktes zumindest ein die Ist-Geometrie des Wandbereichs am Kontaktpunkt charakterisierender Messwert gespeichert wird. Auf diese Weise kann die Ist-Bohrungsachse insbesondere bei Bohrungen mit einer rauen Oberflächenstruktur zumindest mittelbar mit Hilfe der taktilen Sensoreinrichtung ermittelt werden.

Eine weitere Verbesserung der Ermittlung der Ist-Bohrungsachse ist in weiterer Ausgestaltung dadurch ermöglicht, dass der mechanische Kontakt zwischen dem Tastkörper und dem Wandbereich der Bohrung in mehreren Messtiefen und/oder an unterschiedlichen Kontaktpunkten derselben Messtiefe und/oder entlang wenigstens einer Mantellinie der Bohrung und/oder entlang wenigstens einer Höhenlinie der Bohrung hergestellt und anhand der Kontaktpunkte mehrere die Ist-Geometrie des Wandbereichs am jeweiligen Kontaktpunkt charakterisierende Messwerte gespeichert werden.

Weitere Vorteile ergeben sich, indem der mechanische Kontakt zwischen dem Tastkörper und dem Wandbereich der Bohrung entlang mehrerer Mantellinien und/oder Höhenlinien der Bohrung hergestellt und anhand der Kontaktpunkte mehrere die Ist-Geometrie des Wandbereichs am jeweiligen Kontaktpunkt charakterisierende Messwerte gespeichert werden, wobei die Mantellinien und/oder die Höhenlinien an unterschiedlichen Umfangspositionen der Bohrung angeordnet sind. Hierdurch ist auch bei rauen Bohrungen eine schnelle und zuverlässige Ermittlung der Ist-Bohrungsachse ermöglicht.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Tastkörper, vorzugsweise nach dem Speichern eines zuvor bestimmten Messwerts, um eine

Strecke vom Wandbereich der Bohrung wegbewegt und vorzugsweise parallel zur Bohrungsachse zum nächsten Kontaktpunkt bewegt wird. Auf diese Weise wird zuverlässig verhindert, dass keine unerwünschten Kollisionen des Tastelements bzw. Tastkörpers mit Störstrukturen der Bohrung auftreten, wodurch eine präzise Ermittlung des betreffenden Messwerts sichergestellt ist. Unter "Bohrungsachse" ist hierbei die zum betreffenden Zeitpunkt bekannte Bohrungsachse zu verstehen, die gegebenenfalls sowohl von der Ist- als auch von der Soll-Bohrungsachse abweichen kann.

In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung ist vorgesehen, dass der Tastkörper zu einem vorhergehenden Kontaktpunkt zurückbewegt wird, wenn während des Bewegens zum nächsten Kontaktpunkt ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastelement und dem Wandbereich der Bohrung auftritt, wonach der Tastkörper um eine veränderte Strecke vom Wandbereich der Bohrung wegbewegt und vorzugsweise parallel zur Bohrungsachse zum nächsten Kontaktpunkt bewegt wird. Hierdurch wird sichergestellt, dass der Messvorgang im Fall eines fehlerhaften Kontakts zwischen dem Tastkörper und einem Wandbereich der Bohrung mit verändertem Abstand wiederholt wird, da ansonsten fehlerhafte Messwerte ermittelt werden könnten. Es versteht sich, dass grundsätzlich jede Veränderung der relativen Anordnung zwischen dem Wandbereich der Bohrung und dem Tastelement bzw. Tastkörper der Sensoreinrichtung bei der Ermittlung des die Ist-Geometrie charakterisierenden Messwerts entsprechend berücksichtigt wird.

Dabei kann in weiterer Ausgestaltung vorgesehen sein, dass die Strecke vergrößert wird, wenn der Schaft des Tastelements zwischen der Bohrungsachse und dem Wandbereich angeordnet ist, und/oder dass die Strecke verkleinert wird, wenn der Schaft des Tastelements zwischen der Bohrungsachse und einer dem Wandbereich gegenüberliegenden Wand der Bohrung angeordnet ist und/oder dass das Tastelement und das Bauteil relativ zueinander ausgerichtet werden. Auf diese Weise können unter Berücksichtigung der jeweiligen Messsituation etwaige Fehlmessungen zuverlässig verhindert werden.

Eine weitere Verbesserung des Messergebnisses bei der Ermittlung der Ist-Bohrungsachse ist in weiterer Ausgestaltung dadurch gegeben, dass der zumindest eine Messwert verwor-

fen wird, wenn das Tastelement beim mechanischen Kontakt zwischen dem Tastkörper und dem Wandbereich einen weiteren Wandbereich der Bohrung in einem Abstand vom Tastkörper berührt und/oder zumindest zweimal kein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper und dem Wandbereich hergestellt werden kann.

Weitere Vorteile ergeben sich, indem ein dem Wandbereich gegenüberliegender Wandbereich der Bohrung zum Herstellen des mechanischen Kontakts mit dem Tastkörper verwendet wird, wenn zumindest zweimal kein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper und dem Wandbereich hergestellt werden kann. Mit anderen Worten wird das Tastelement bzw. der Tastkörper beim wiederholten Auftreten eines Fehlers um etwa 180°±40° gedreht und mit dem dem ursprünglichen Wandbereich gegenüberliegenden Wandbereich in mechanischen Kontakt gebracht, wonach die Ermittlung des bzw. der Messwerte an diesem fortgesetzt wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Ist-Bohrungsachse anhand des wenigstens einen gespeicherten Messwerts und/oder anhand einer Soll-Geometrie der Bohrung ermittelt wird. Dies hat sich insbesondere dann als vorteilhaft gezeigt, wenn keine ausreichende Anzahl an die Ist-Geometrie charakterisierenden Messwerten verfügbar ist oder wenn diese nicht mit der erforderlichen Genauigkeit bestimmt werden konnten.

Eine zusätzliche Verbesserung der Vermessungsgenauigkeit ist in weiterer Ausgestaltung dadurch gewährleistet, dass beim zumindest bereichsweisen Ermitteln der Ist-Geometrie der Bohrung eine geometrische Ausgestaltung des Tastelements bzw. des Tastkörpers berücksichtigt wird.

Weitere Vorteile ergeben sich, indem das zumindest bereichsweisen Ermitteln der Ist-Geometrie der Bohrung unterbrochen und/oder abgebrochen wird, wenn sich der Tastkörper des Tastelements in einem Übergangsbereich zwischen der Bohrung und der Oberfläche befindet. Da sich im Übergangsbereich die Normalenvektoren ortsabhängig sehr stark verändern können, kann das Tastelement hier nur schwer zumindest überwiegend entlang

seiner Hauptsteifigkeitsachse bewegt werden. Dies kann zu verschlechterten Messergebnissen führen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Ist-Geometrie eines insbesondere trichterförmigen Einlauf- und/oder eines Auslaufbereichs der Bohrung ermittelt wird. Hierdurch können auch komplexe Übergangsgeometrien der Bohrung in die Oberfläche des Bauteils einfach ermittelt werden.

Dabei hat es sich weiterhin als vorteilhaft gezeigt, wenn die Ist-Geometrie des Einlauf- und/oder des Auslaufbereichs der Bohrung anhand von unteren und/oder oberen Führungskurven ermittelt wird. Viele trichterförmige Ein- bzw. Auslaufbereiche öffnen von einem im wesentlichen kreiszylindrischen Bohrungsabschnitt – kann aber auch unrund sein wie z.B. bei einem Langloch - in einen rechteckigen oder quadratischen Querschnitt mit verrundeten Ecken über einen bestimmten Öffnungswinkel γ pro Quadrant (s. Fig. 16). Solche Formen können in guter Näherung über untere bzw. obere Führungskurven beschrieben werden. Diese Eigenschaft kann dann benutzt werden, um entsprechende Scann-Schnittprofile zu generieren, ohne dass auf Soll-Geometriedaten - beispielsweise von einem CAD-Modell - zurückgegriffen werden müsste.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Vermessen wenigstens einer Bohrung in zumindest einer Oberfläche eines Bauteils, insbesondere für thermische Strömungsmaschinen, wobei erfindungsgemäß vorgesehen ist, dass die Sensoreinrichtung der Vorrichtung ein einen Tastkörper umfassendes Tastelement umfasst und mit einer Steuer- und Auswerteeinrichtung gekoppelt ist, die zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ausführungsbeispiele ausgebildet ist. Mit Hilfe einer derart ausgebildeten Vorrichtung sind eine erhöhte Messgenauigkeit der wenigstens einen Bohrung gewährleistet und entsprechend verbesserte Aussagen über deren Güte ermöglicht. Weitere sich ergebende Vorteile sind bereits aus den vorhergehenden Beschreibungen zu entnehmen und gelten - soweit anwendbar - auch für die Vorrichtung.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Tastkörper als Kugel und/oder als Spitze ausgebildet und/oder an einem distalen Endbereich des Tastelements angeordnet ist. Dies ermöglicht eine einfache Anpassbarkeit des Tastkörpers an die jeweiligen konstruktiven Ausgestaltungen der zu vermessenden Bohrung bzw. des zugeordneten Bauteils. Insbesondere können hierdurch unterschiedliche Oberflächen-Rauheiten und Bohrtiefen optimal berücksichtigt werden.

Weitere Vorteile ergeben sich, indem das Tastelement einen vorzugsweise zylindrisch ausgebildeten Schaft umfasst, an welchem der Tastkörper gehalten ist. Es können auch andere Formen wie z.B. Kegelform, gleiche Biegesteifigkeit, Kombination aus Formen wie z.B. Zylinder und Kegel sein. Mit Hilfe eines derartigen Schafts können einerseits tiefe Bohrungen mit geringem Bohrungsdurchmesser einfach vermessen werden, andererseits erlaubt eine insbesondere kreiszylindrische Ausgestaltung eine optimale Anordnung der Hauptsteifigkeitsrichtung des Tastelements entlang seiner Hauptachse.

In weiterer Ausgestaltung hat es sich als vorteilhaft gezeigt, wenn das Tastelement in Abhängigkeit der Geometrie der Bohrung ausgebildet ist. Dies erlaubt eine besonders exakte Vermessung der Bohrung. Hierzu kann beispielsweise vorgesehen sein, dass das Tastelement einen vergleichsweise kleinen Tastkörper aufweist, um möglichst detaillierte Messergebnisse von Mikrogeometrieelementen der Bohrung, insbesondere von Rauheiten der Oberfläche, erhalten zu können. Umgekehrt kann vorgesehen sein, dass das Tastelement einen vergleichsweise großen Tastkörper aufweist, wodurch auch die Ermittlung von Makrogeometrieelementen der Bohrung, insbesondere von Mantellinien, Schnittprofilen und dergleichen, verbessert wird.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich anhand der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen, in welchen gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit identischen Bezugszeichen versehen sind. Dabei zeigen:

Fig. 1a eine schematische Schnittansicht eines Bauteils mit unterschiedlich ausgebildeten Bohrungen;

Fig. 1b eine schematische Aufsicht des in Fig. 1a gezeigten Bauteils;

Fig. 2 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht eines Bauteils mit einer Bohrung, in welcher ein Tastelement einer taktilen Sensoreinrichtung zum Vermessen der Bohrung entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse an einem glatten Wandbereich bewegt wird;

Fig. 3 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht eines Bauteils mit einer Bohrung, in welcher ein Tastelement einer taktilen Sensoreinrichtung zum Vermessen der Bohrung entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse an einem rauen Wandbereich bewegt wird;

Fig. 4 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 2 gezeigten Bauteils, wobei das Tastelement linear gegenüber einer Bohrungsachse um einen Winkel ausgelenkt angeordnet ist;

Fig. 5 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 4 gezeigten Bauteils, wobei ein Schaft des Tastelements linear ausgelenkt und aufgrund einer Antastkraft elastisch gebogen ist;

Fig. 6 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils, wobei das Tastelement um einen Sicherheitswinkel gekippt gegenüber einer Bohrungsachse angeordnet ist;

Fig. 7 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils, wobei der Schaft des Tastelements mit einem Sicherheitsabstand gegenüber dem rauen Wandbereich der Bohrung angeordnet ist;

Fig. 8 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils, wobei das Tastelement und das Bauteil während des Vermessens relativ zueinander ausgerichtet werden;

Fig. 9a eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils, wobei in einer vorbestimmten Messtiefe innerhalb der Bohrung ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper und dem Wandbereich der Bohrung hergestellt wird;

Fig. 9b eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 9a gezeigten Bauteils, wobei eine Relativlage zwischen dem Tastkörper und dem Wandbereich der Bohrung verändert wird;

Fig. 9c eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 9a gezeigten Bauteils, wobei ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper und dem Wandbereich der Bohrung in einer veränderten Messtiefe erkannt wird;

Fig. 9d eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 9a gezeigten Bauteils, wobei ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper und dem Wandbereich der Bohrung beim Verändern der Messtiefe erkannt wird;

Fig. 10 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils, wobei in einer weiteren Messtiefe innerhalb der Bohrung ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper und dem Wandbereich der Bohrung hergestellt wird;

Fig. 11 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils, wobei das Tastelement und das Bauteil vor dem Vermessen bzw. während des Vermessens relativ zueinander ausgerichtet werden;

Fig. 12 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils, wobei das Tastelement und das Bauteil während des Vermessens relativ zueinander ausgerichtet werden;

Fig. 13 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht eines Bauteils mit einer sich aufweitenden Bohrung;

Fig. 14 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils, wobei das Tastelement in Abhängigkeit der Geometrie der Bohrung ausgebildet ist;

Fig. 15 eine schematische und ausschnittsweise Perspektivansicht eines Bauteils mit einer Bohrung, welche einen trichterförmigen Auslaufbereich aufweist; und

Fig. 16 eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 15 gezeigten Bauteils.

Fig. 1a zeigt eine schematische Schnittansicht eines Bauteils 10 für eine thermische Strömungsmaschine und wird im Folgenden in Zusammenschau mit Fig. 1b erläutert werden, in welcher eine schematische Aufsicht des Bauteils 10 dargestellt ist. Das Bauteil 10 umfasst unterschiedlich ausgebildete Bohrungen 12a-f, die sich zwischen einer ersten, eine Außengeometrie des Bauteils 10 definierenden Oberfläche 14a und einer zweiten, eine Innengeometrie des Bauteils 10 definierenden Oberfläche 14b erstrecken. Die Bohrungen 12a-f weisen jeweilige Bohrungsachsen 16'a-f mit entsprechenden Durchstoßpunkten 18a-f in der Oberfläche 14a und Durchstoßpunkten 18'a-f in der Oberfläche 14b auf. Im Folgenden werden die nominelle Soll-Bohrungsachse grundsätzlich mit 16, die zu ermittelnde Ist-Bohrungsachse mit 16' und die aktuell bekannte Bohrungsachse mit 16'' bezeichnet werden, falls diese Unterscheidung erforderlich ist. Die aktuell bekannte Bohrungsachse 16'' entspricht dabei im Idealfall der Ist-Bohrungsachse 16', kann jedoch aufgrund einer zu geringen Anzahl Messwerte, aufgrund von Messungenauigkeiten oder wegen sonstiger Fehler von dieser abweichen. Eine entsprechende Nomenklatur wird – wo zweckdienlich - auch

für Soll-, Ist- und aktuell bekannte Durchstoßpunkte 18, 18' und 18'' der Bohrung 12 verwendet werden.

Die Bohrungen 12a-f dienen als Kühlluftbohrungen des Bauteils 10, sind in geringem Abstand zueinander angeordnet, gehen unter verschiedenen Winkeln in das Bauteil 10 ein und besitzen unterschiedliche Geometrien. Zudem können sie teilweise nahe an Wandbereichen des Bauteils 10 liegen. In den gezeigten Ausführungsbeispielen besitzen die Bohrungen 12a-f jeweilige Durchmesser in der Größenordnung von etwa 1 mm. Bohrungsdurchmesser können aber auch deutlich kleiner sein z.B. 0,3 mm oder von der Zylinderform abweichen z.B. Langloch. Toleranzen an der äußeren Oberfläche 14a (z. B. Airfoil) bzw. der inneren Oberfläche 14b (z. B. Cavity bzw. Kern) oder ein Versatz von beiden zueinander erschweren eine prozessstabile Fertigung des Bauteils 10. Erschwerend kommt hinzu, dass große Toleranzen der Oberfläche 14a ein Verschieben, Verdrehen und Kippen des Bauteils 10 bewirken, was zusätzlichen Einfluss auf die Lage und Ausprägung der Bohrungen 12a-f hat. Die Lagetoleranzen der Bohrungen 12a-f können daher bis zu 1 mm betragen und liegen damit in der Größenordnung der Bohrungs-Durchmesser.

An die Bohrungen 12a-f - insbesondere im Fall von Formbohrungen wie Shaped Holes oder Turbulent Holes - werden jedoch hohe Anforderung hinsichtlich Lage und Ausprägung gestellt, um die spezifizierte Kühlleistung für das Bauteils 10 zu erreichen. Bei außerhalb der Fertigungstoleranzen liegenden Bohrungen 12 - beispielsweise aufgrund einer unzureichend ausgebildeten Trichterform - kann dies zu einer unzulässigen Überhitzung des Bauteils 10 führen. Dies wiederum kann die Funktionalität einer zugeordneten Strömungsmaschine nachteilig beeinflussen. Daher ist es erforderliche, die Bohrungen 12a-f mit hoher Messgenauigkeit vermessen zu können, um zuverlässige Aussagen über ihre Güte treffen zu können. Dies betrifft sowohl die Neuteilfertigung des Bauteils 10 als auch etwaige Wartungen, Reparaturen oder Überholungen (MRO).

Fig. 2 und Fig. 3 zeigen jeweils eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht eines Bauteils 10 mit einer Bohrung 12. Zum Vermessen der Bohrung 12 wird ihre aktuelle Lage bezüglich des Bauteils 10 und ihre jeweilige Ist-Geometrie mittels einer taktilen Sen-

soreinrichtung (nicht gezeigt) zumindest bereichsweise ermittelt. Die taktile Sensoreinrichtung umfasst hierzu ihrerseits ein taktiles Tastelement 20 mit einem zylindrisch ausgebildeten Schaft 22, welcher den Durchmesser D1 besitzt, und einem Tastkörper 24, welcher an einem distalen Endbereich des Tastelements 20 angeordnet und als Kugel mit dem Durchmesser D2 ausgebildet ist. Aufgrund des geringen Durchmessers der Bohrung 12 (z. B. Langloch) muss mit entsprechend kleinen Sensoreinrichtungen gearbeitet werden. Im Fall eines mittleren Durchmessers der Bohrung 12 von etwa 1 mm kann beispielsweise vorgesehen sein, dass der Tastkörper 24 einen Durchmesser D2 von etwa 0,2 mm und der Schaft 22 einen Durchmesser D1 von etwa 0,02 mm besitzt. Der Durchmesser D2 des Tastkörpers 24 ist hierdurch klein im Verhältnis zur Rautiefe bei rauen Bohrungsoberflächen.

Zum Vermessen der Bohrung 12 wird das Tastelement 20 daher entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse H an einem glatten Wandbereich 21 (Fig. 2) bzw. einem rauen Wandbereich 21 (Fig. 3) der Bohrung 12 bewegt. Aufgrund der geringen Abmessungen der Bohrung 12 ist der Durchmesser D2 des Tastkörpers 24 beim rauen Wandbereich 21 vergleichsweise klein im Verhältnis zur Rautiefe gewählt. Eine rein rechnerische Kompensation von Auslenkungen des Tastkörpers 24, die durch die Antastkraft verursacht werden, ist insbesondere im Fall des rauen Wandbereichs 21 aufgrund des stark wechselnden Normalenvektors stark eingeschränkt bis unmöglich. Aufgrund der geringen Abmessungen des Tastelements 20 beeinflussen zudem Adhäsionseffekte die Vermessung der Bohrung 12 sowohl beim glatten als auch beim rauen Wandbereich 21. Indem das Tastelement 20 zumindest überwiegend entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse H bewegt wird, werden negative Einflüsse wie beispielsweise Biegemomente des Schafts 22, Rauigkeiten des Wandbereichs 21 oder Adhäsionseffekte vorteilhaft minimiert. Dies führt zu Messergebnisse mit erheblich verbesserter Genauigkeit sowohl bei Bohrungen 12 mit glatten Wandbereichen 21 (s. Fig. 2) als auch mit rauen Wandbereichen 21 (s. Fig. 3), wodurch entsprechend verbesserte Aussagen über die Güte der Bohrung 12 bzw. des gesamten Bauteils 10 ermöglicht sind.

Fig. 4 zeigt eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 2 gezeigten Bauteils 10, wobei das Tastelement 20 der Sensoreinrichtung um einen Winkel α gegenüber der Bohrungsachse 16' bzw. der achsparallel zu dieser angeordneten Hauptsteifig-

keitsachse H ausgelenkt und damit gekippt angeordnet ist. Das Tastelement 20 kann hierzu um einen Drehpunkt gekippt oder linear in einem Tastermodul (nicht gezeigt) der Sensoreinrichtung verschoben werden. Hierdurch wird sichergestellt, dass der Tastkörper 24 bei Abweichungen von der Soll-Geometrie - z. B. durch Rauigkeit des Wandbereichs 21 - den Kontakt mit dem Wandbereich 21 beibehält. Der maximale Winkel α wird, wenn der Wandbereich 21 bzw. die Bohrungsachse 16' und die Hauptsteifigkeitsachse H des Tastelements 20 im Zustand ohne Auslenkung parallel sind, gemäß der Formel α=arctan(0,5*D2-0,5*D1)/Tmax durch die Differenz zwischen dem halben Durchmesser D2 des Tastkörpers 24 und dem halben Durchmesser D1 des Schaftes 22 bei der maximalen Messtiefe Tmax vorgegeben, wenn der Tastkörper 24, der in mechanischem Kontakt mit dem Wandbereich 21 steht, in der Bohrung 12 kippt und eine Biegung des Schaftes 22 durch die Auslenkkraft vernachlässigt wird. Der Schaft 22 des Tastelements 20 berührt hierbei in einem Abstand A vom Tastkörper 24 den Wandbereich 21 einmal. Nach dem Verkippen steht auch die Hauptsteifigkeitsachse H um den Winkel α gekippt gegenüber der Bohrungsachse 16', so dass die Bewegung des Tastelements 20 nunmehr entlang der Achse H* und damit überwiegend entlang der Hauptsteifigkeitsachse H erfolgt. Bei Abweichungen des Wandbereichs 21 von der Soll-Geometrie kann der Tastkörper 24 um den Betrag B ausgelenkt werden. In Abhängigkeit der Antastkraft kann zudem eine elastische Biegung des Schafts 22 auftreten.

Fig. 5 zeigt eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 4 gezeigten Bauteils 10, wobei der Schaft 22 des Tastelements 20 gemäß Pfeil V linear ausgelenkt und aufgrund der Antastkraft elastisch gebogen ist, wodurch eine gewisse Kippung entsteht. Wenn der Tastkörper 24 entlang der Achse H* in der Bohrung 12 bewegt wird, tritt aufgrund des glatten Wandbereichs 21 und der elastischen Biegung des Schaftes 22 eine Verkippung auf und reduziert die möglichen Formabweichungen der Bohrung 12 und Rautiefen des Wandbereichs 21 um den Betrag B.

Formabweichungen der Bohrungen 12 und Rautiefen der Wandbereiche 21 schränken den möglichen Auslenkwinkel α ein. Gleiches gilt für Biegung des Schaftes 22 durch die Antastkraft. Fig. 6 zeigt eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3

gezeigten Bauteils 10, wobei das Tastelement 20 um einen gegenüber dem maximal möglichen Winkel α verringerten Sicherheitswinkel α1 gekippt gegenüber der achsparallel zur Bohrungsachse 16' verlaufenden Hauptsteifigkeitsachse H angeordnet ist. Der Sicherheitswinkel α1 stellt bei einer Kippauslenkung und/oder Biegung des Schaftes 22 des Tastelements 20 sicher, dass unter den gegebenen Werten eine unerwünschte Berührung zwischen dem Schaft 22 und dem Wandbereich 21 der Bohrung 12 unterbleibt.

Alternativ oder zusätzlich kann auch ein Abstand A1 des Schafts 22 des Tastelements 20 vom Wandbereich 21 der Bohrung 12 derart gewählt werden, dass der Schaft 22 beim zumindest überwiegenden Bewegen des Tastelements 20 entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse H bzw. H* nicht den Wandbereich 21 berührt. Fig. 7 zeigt hierzu eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils 10, wobei der Schaft 22 des Tastelements 20 mit dem Sicherheitsabstand A1 gegenüber dem rauen Wandbereich 21 der Bohrung 12 angeordnet ist. Die lineare Auslenkung des Tastelements 20 ist mit dem Pfeil VII gekennzeichnet. Der Sicherheitsabstand A1 gewährleistet, dass unter den gegebenen Werten eine Berührung zwischen dem Schaft 22 und dem Wandbereich 21 unterbleibt. Der Abstand A1 kann beispielsweise durch geeignete Ausgestaltung von Schaft 22 und Tastkörper 24 des Tastelements 20 in Abhängigkeit der Geometrie der Bohrung 12 sichergestellt werden.

Wenn ein ausreichender Sicherheitswinkel α1 bzw. Sicherheitsabstand A1 aufgrund der großen Rautiefe oder der starken Formabweichung des Wandbereichs 21 unmöglich ist, werden das Bauteil 10 und das Tastelement 20 vor und/oder während des zumindest bereichsweisen Ermittelns der Ist-Geometrie der Bohrung 12 relativ zueinander ausgerichtet, sofern dies die geometrischen Verhältnisse erlauben. Üblicherweise wird dabei das Bauteil 10 bewegt, es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass die Sensoreinrichtung bzw. das Tastelement 20 bewegt werden. Natürlich können auch sowohl das Bauteil 10 als auch das Tastelement 20 bewegt werden. Die Änderung der relativen Lage wird bei den folgenden Vermessungsschritten entsprechend berücksichtigt. Fig. 8 zeigt zur weiteren Verdeutlichung eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bau-

teils 10, wobei das Bauteil 10 während des Vermessens derart um einen Winkel β verschwenkt wird, dass der gewünschte Winkel α bzw. Abstand A1 eingestellt wird.

Die Ist-Bohrungsachse 16' der gefertigten Bohrung 12 kann aufgrund von Fertigungstoleranzen – Lage, Winkel oder beides - von der Soll-Bohrungsachse 16 abweichen. Kleine Bohrungsdurchmesser erfordern daher bei einer größeren Abweichung von der Soll-Bohrungsachse 16 eine Ausrichtung der Bohrung 12. Hierzu wird die durch die Abweichung der aktuell bekannten Bohrungsachse 16'' von der Ist-Bohrungsachse 16' hervorgerufene Formabweichung der Ist- von der Sollgeometrie der Bohrung 12 ermittelt. Mit Hilfe der ermittelten Formabweichung wird die Ist-Bohrungsachse 16' bestimmt und für eine anschließende, gezielte Ausrichtung von Bauteil 10 und Tastelement 20 zueinander verwendet. Bei geringen Abweichungen und/oder bei geringer Bohrungstiefe kann die Ausrichtung vorteilhaft entfallen. Vor einem Vermessen der Bohrung 12 wird die aktuelle Höhenlage der die Außengeometrie definierenden Oberfläche 14a ermittelt, um in einer bekannten Messtiefe T zu messen.

Fig. 9a zeigt zur näheren Erläuterung eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils 10. Dabei ist ein Versatz zwischen der Soll-Bohrung 12* mit der Soll-Bohrungsachse 16 und der Ist-Bohrung 12 mit der Ist-Bohrungsachse 16' sowie der aktuell bekannten Bohrungsachse 16'' schematisch dargestellt. In einer vorbestimmten Messtiefe T innerhalb der Bohrung 12 wird wiederholt ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper 24 und dem Wandbereich 21 der Bohrung 12 hergestellt wird. Bohrungen 12 mit geringer Formtoleranz und glatter Oberfläche können über einen Scannschnitt - beispielsweise einen Höhenschnitt - ausgerichtet werden, indem die durch eine Abweichung von der Soll-Bohrungsachse 16 hervorgerufene Formabweichung der Ist- von der Soll-Geometrie der Bohrung 12 ermittelt wird. Diese Formabweichung wird vorzugsweise zum Bestimmen der Ist-Bohrungsachse 16' mit anschließender Ausrichtung von Bauteil 10 und Tastelement 20 (vgl. Fig. 8) verwendet. Bei sehr rauen Wandbereichen 21 liefert das Verfahren mit einem Scann-Schnittprofil, beispielsweise einem Höhenschnitt, teilweise unzureichende Ergebnisse. Nachdem die Höhenlage der Oberfläche 14a über entsprechende Messwerte ermittelt wurde, wird der Tastkörper 24 insbesondere bei rauen

Bohrungen 12 in einer definierten Messtiefe T, beispielsweise unterhalb eines strömungstechnischen Ein- bzw. Auslaufbereiches 26 der Bohrung 12 in die jeweilige Oberfläche 14a, 14b oder der Bohrung in den Trichter, gemäß Pfeil IXb in Richtung des Wandbereichs 21 gefahren bis ein Kontakt erfolgt. Der hierdurch ermittelte Messwert wird in einer mit der Sensoreinrichtung gekoppelten Steuer- und Auswerteeinrichtung gespeichert. Der Tastkörper 24 wird nachfolgend gemäß Pfeil IXa um einen definierten Betrag von der Bohrungswand abgehoben. Die beschriebenen Verfahrensschritte werden bedarfsweise ein- oder mehrmals wiederholt, um mehrere Messwerte auf dieser Ebene bzw. der obersten definierten Ebene analog zu ermitteln. Diese Messwerte werden benötigt, um Antastungen des Schaftes 22 bei den weiteren Messungen innerhalb der Bohrung 12 zu vermeiden. Der berührende Tastkörper 24 wird um einen definierten Betrag in Richtung aktuell bekannter Bohrungsachse 16" tiefer gesetzt. Tritt beim Tiefersetzen ein Kontakt mit dem Wandbereich 21 auf, wird in die Ausgangshöhenlage zurückzufahren und der Betrag beim Abheben gemäß Pfeil IXa erhöht, wenn sich die Achse des Schaftes 22 zwischen der Bohrungsachse 16" und demjenigen Wandbereich 21 befindet, an welchem der Messwert erfasst werden soll. Wenn sich die Achse des Schaftes 22 auf der aktuellen Bohrungsachse 16" oder zwischen der Bohrungsachse 16"und demjenigen Wandbereich 21 befindet, an dem kein Messwert erfasst werden soll, ist der Betrag zum Abheben entsprechend zu reduzieren. Die Erhöhung bzw. Reduzierung des Betrags erfolgt mit anderen Worten stets so, dass ein Kontakt zwischen dem zu vermessenden Wandbereich 21 und dem Schaft 22 beim Bewegen des Tastelements 20 parallel der Bohrungsachse 16 bzw. mit zunehmender Tiefe T vermieden wird. Die maximale Messtiefe Tmax kann aus denjenigen Messwerten ermittelt werden, die unterhalb des strömungstechnischen Auslaufbereichs 26 der Bohrungen 12 ermittelt wurden.

Die einzelnen Verfahrensschritte werden zur weiteren Verdeutlichung anhand von Fig. 9b, 9c und 9d erläutert werden, wobei Fig. 9b eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 9a gezeigten Bauteils 10 zeigt, wobei eine Relativlage zwischen dem Tastkörper 24 und dem Wandbereich 21 der Bohrung 12 verändert wird. Fig. 9c zeigt eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 9a gezeigten Bauteils 10, wobei ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper 24 und dem Wandbereich 21 der

Bohrung 12 in einer veränderten Messtiefe T erkannt wird und Fig. 9d zeigt eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 9a gezeigten Bauteils 10, wobei ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper 24 und dem Wandbereich 21 der Bohrung 12 beim Verändern der Messtiefe T erkannt wird.

Vor einem Messschnitt in der Bohrung 12 wird die aktuelle Höhenlage der Außengeometrie 14a bestimmt, um in einer bekannten Bohrungstiefe T zu messen. Bohrungen 12 mit geringer Formtoleranz und glatter Oberfläche lassen über einen Höhenschnitt in der Bohrung 12 ausrichten, indem die Formabweichung der gemessenen Geometrie von der nominellen Geometrie hervorgerufen durch eine Abweichung der aktuell bekannten Bohrungsachse 16'' von der Ist-Bohrungsachse 16' ermittelt wird. Die Formabweichung wird zum Bestimmen der Ist-Bohrungsachse 16' verwendet. Die anschließende Schwenkbewegung des Bauteils 10 in die Achse des berührenden Sensors kann als einzelne Bewegung sofort, aber auch erst vor einem Messvorgang erfolgen bzw. kann Bestandteil einer Schwenkbewegung für den Start des Messvorganges sein. Die Güte der Ausrichtung kann über einen weiteren Scann- oder Höhenschnitt – vorzugsweise auf der gleichen Höhe, um gleiche Bedingungen zu haben - überprüft werden. Wenn die Formabweichung unterhalb eines Schwellwertes liegt, dann kann mit dem Messen der Bohrung 12 begonnen werden. Wenn die Formabweichung über einem Schwellwert liegt, dann wird mit den ermittelten Daten die Bohrung 12 nochmals ausgerichtet. Die Güte der Ausrichtung kann über einen weiteren Höhenschnitt – vorzugsweise auf der gleichen Höhe, um gleiche Bedingungen zu haben - überprüft werden. Der Vorgang wird solange fortgesetzt, bis die Güte oder ein anderes Abbruchkriterium erreicht ist. Bei rauen Oberflächen der Wandbereiche 21 liefert das Verfahren mit einem Höhenschnitt oft unzureichende Ergebnisse. Nachdem die Höhenlage der Außengeometrie 14a über Messwerte ermittelt wurde, wird bei rauen Bohrungen 12 in einer definierten Messtiefe T, z. B. unterhalb des gegebenenfalls trichterförmigen Auslaufbereiches 26 der Bohrung 12 in die Außenfläche 14a, in Richtung des Wandbereichs 21 gefahren, bis ein mechanischer Kontakt mit dem Tastkörper 24 erfolgt. Aus dem hierdurch ermittelten Kontaktpunkts wird ein die Ist-Geometrie des Wandbereichs 21 am Kontaktpunkt charakterisierender Messwert abgeleitet und wird gespeichert.

Der Tastkörper 24 wird gemäß Pfeil IXa um einen definierten Betrag vom Wandbereich 21 abgehoben (Fig. 9a). Es werden nun in der zuvor beschriebenen Weise alle benötigten Messwerte auf dieser Ebene bzw. der obersten definierten Ebene ermittelt und gespeichert. Diese Messwerte werden verwendet, um Antastungen des Schaftes 22 bei weiteren Messungen in abweichenden Messtiefen T zu vermeiden. Der Tastkörper 24 wird nun um einen definierten Betrag in Richtung aktuell bekannter Bohrungsachse 16'' tiefer gesetzt. Tritt ein Kontakt K beim Tiefersetzen gemäß Pfeil IXc mit dem anzutastenden Wandbereich 21 auf, dann wird das Tastelement 20 in die Ausgangshöhenlage oder in eine davon abweichende Sicherheitslage bewegt. Der Betrag wird beim nächsten Abheben gemäß Pfeil IXd erhöht, wenn der Abstand der Achse des Schaftes 22 weiter als der minimale Abstand Amin zu den Wandbereichen 21 ist. Sollte der minimale Abstand Amin erreicht sein, wird die Relativlage (Fig. 9b) des Tastkörpers 24 und des Wandbereichs 21 durch Verschiebung und/oder Rotation verändert, wobei vorzugsweise das Bauteil 10 bewegt wird, um Biegemomente beim Tastelement 20 durch die Schwerkraft zu vermeiden. Hierdurch kann der Tastkörper 24 in die gewünschte Messtiefe T bewegt werden. Diese Relativbewegung kann auch alternativ zur Erhöhung des Betrags beim Abheben erfolgen. Die Auswertung des Schaltsignals des Tastkörpers 24 ergibt, von welcher Richtung der Kontakt mit dem Wandbereich 21 erfolgt ist (Fig. 9c). Wenn der Kontakt beim Tiefersetzen mit dem gegenüberliegenden Wandbereich 21 aufgetreten ist, dann wird der Tastkörper 24 zurück in die Ausgangshöhenlage bzw. in eine Sicherheitslage bewegt, und der Betrag beim Abheben wird reduziert, ohne jedoch den minimalen Abstand Amin zu unterschreiten.

Alternativ kann auch die Relativlage des Tastkörpers 24 zum Wandbereich 21 – vorzugsweise wird auch hier das Bauteil 10 bewegt, um Biegemomente des Tastelements 20 durch die Schwerkraft zu vermeiden – verändert (Verschiebung, Rotation) werden, so dass der Tastkörper 24 gemäß Pfeil IXg in die gewünschte Messtiefe T bewegt werden kann (Fig. 9d). Die Änderung der Relativlage, die durch die Pfeil IXe bzw. IXf angedeutet ist, wird wie bereits beschrieben berücksichtigt. Die sich hieraus ergebende Änderung des Kontaktpunkts K wird beim Ableiten des Messwertes berücksichtigt, wenn sie relevant ist. Das weitere Erfassen der Kontaktpunkte K und das Ableiten der entsprechenden Messwerte für die Ausrichtung kann grundsätzlich entweder nach dem Mantellinienverfahren, dem

Höhenlinienverfahren, in beliebiger Reihenfolge oder in einer beliebigen Kombination aus den Verfahren durchgeführt werden.

Beim Mantellinienverfahren wird der Tastkörper 24 um einen definierten Betrag vom Wandbereich 21 abgehoben und um einen definierten Betrag in Richtung aktuell bekannter Bohrungsachse 16'' tiefer bewegt. Tritt ein Kontakt beim Tiefersetzen mit dem anzutastenden Wandbereich 21 auf, dann ist in die Ausgangshöhenlage zurückzufahren bzw. in eine Sicherheitslage zu fahren, und der Betrag beim Abheben ist zu erhöhen, wenn der Abstand der Achse des Schaftes 22 größer als der minimale Abstand Amin zu den Wandbereichen 21 ist. Sollte der minimale Abstand Amin erreicht sein, wird die Relativlage zwischen Tastkörpers 24 und Wandbereich 21 verändert (Verschiebung, Rotation), so dass der Tastkörper 24 in die Messtiefe T fahren kann. Diese Relativbewegung kann auch alternativ zur Erhöhung des Betrags beim Abheben erfolgen. Die Auswertung des Schaltsignals ergibt, von welcher Richtung der Kontakt mit dem Tastkörper 24 erfolgt ist. Wenn der Kontakt beim Tiefersetzen mit dem gegenüberliegenden Wandbereich 21 aufgetreten ist, dann ist in die Ausgangshöhenlage zurückzufahren bzw. in eine Sicherheitslage zu fahren, und der Betrag beim Abheben zu reduzieren, ohne den minimalen Abstand Amin zu unterschreiten. Alternativ kann auch die Relativlage des Tastkörpers 24 und des Wandbereichs 21 zueinander verändert (Verschiebung, Rotation) werden, so dass der Tastkörper 24 in die Messtiefe T fahren kann. Die Änderung der Relativlage wird im Prozess berücksichtigt. Die sich hieraus ergebende Änderung des Kontaktpunktes K wird beim Ableiten des Messwerts berücksichtigt, wenn sie relevant ist. Tritt beim anschließenden Tiefersetzen wieder Kontakt mit dem gegenüberliegenden Wandbereich 21 auf, dann wird Vorgang so lange wiederholt, bis der Tastkörper 24 in die gewünschte Messtiefe T fahren kann bzw. ein anderes Abbruchkriterium erreicht ist. Wenn an anderes Abbruchkriterium erreicht ist, dann werden Messwerte an der nächsten definierten Lage ermittelt. Wenn kein Kontakt beim Fahren in die Messtiefe T aufgetreten ist, dann wird der Tastkörper 24 in Richtung des Wandbereichs 21 bewegt. Tritt ein Kontakt vor dem Wert aus (0,5*D2-0,5*D1) plus vorheriger Betrag vom Abheben auf, dann erfolgte eine Antastung mit dem Tastkörper 24 und der Messwert wird gespeichert. Tritt Kontakt erst bei (0,5*D2-0,5*D1) plus vorheriger Betrag vom Abheben oder einem größeren Wert auf, dann wird der Messwert verworfen,

denn es erfolgte ein Antasten mit dem Schaft 22. Nach dem Erreichen der definierten Anzahl an Messwerten entlang der Mantellinie werden beim Mantellinienverfahren Messwerte analog dem beschriebenen Verfahren bei den nächsten Mantellinien – z. B. in positiver Drehrichtung +30 Grad, anschließend in negativer Drehrichtung -30 Grad, anschließend in der nächsten positiven Drehrichtung +60 Grad, anschließend in negativer Drehrichtung -60 Grad usw. - aufgenommen. Das Verfahren wird so lange vorgesetzt, bis alle Mantellinien an den definierten Lagen ermittelt sind. Wenn zwei Antastungen entlang der Mantellinie gescheitert sind, kann vorgesehen sein, dass die Erfassung von Messwerten entlang dieser Mantellinie abgebrochen und auf die andere Seite der Bohrungsachse 16", d. h. um 180 Grad versetzt, fortgesetzt wird. Dort werden gemäß dem beschriebenen Verfahren Messwerte in positiver und negativer Drehrichtung entlang von Mantellinien aufgenommen.

Beim Höhenlinienverfahren wird der Tastkörper um einen definierten Betrag vom Wandbereich 21 abgehoben und die Ausgangshöhenlage zurückgefahren bzw. in eine Sicherheitslage gefahren und der Betrag zum Abheben definiert. Der Betrag wird dabei so klein wie möglich gewählt, um ein Antasten durch den Schaft 22 sicher zu erkennen – vom zugehörigen Referenzpunkt auf der obersten Ebene. Der Referenzpunkt ist wichtig, um Kenntnis von der Ist-Geometrie zu haben und ein Antasten mit dem Schaft 22 erkennen zu können. Anschließend wird der Tastkörper 24 wieder auf die Höhenlinie gefahren, um den Messwert zu ermitteln bzw. abzuleiten. Durch das Tiefersetzen in Verbindung mit dem kleinen Betrag zum Abheben wird sichergestellt, dass ein Antasten mit dem Tastkörper 24 anstatt mit dem Schaft 22 erfolgt. Wenn ein Messen auf der Höhenlinie ohne ein Zurückfahren auf die Ausgangshöhenlage bzw. eine Sicherheitslage erfolgt, dann kann es zum Antasten am Schaft 22 durch eine große Rautiefe des Wandbereichs 21 kommen, ohne dass dieser Umstand erkannt werden kann. Wenn die Rautiefen so klein sind, dass eine Antastung mit dem Schaft 22 ausgeschlossen ist, dann besteht auch die Möglichkeit, Messstellen innerhalb der Höhenlinie ohne ein Zurückfahren auf die Ausgangshöhenlage bzw. eine Sicherheitsposition anzufahren. Tritt ein Kontakt beim Tiefersetzen mit dem anzutastenden Wandbereich 21 auf, dann ist in die Ausgangshöhenlage zurückzufahren bzw. in eine Sicherheitslage zu fahren, und der Betrag beim Abheben ist zu erhöhen, wenn der Abstand der Achse des Schaftes 22 größer als der minimale Abstand zu den Wandbereichen 21 ist.

Sollte der minimale Abstand erreicht sein, wird die Relativlage des Tastkörpers 24 und des Wandbereichs 21 – vorzugsweise wird das Bauteil gedreht, um Biegemomente beim berührenden Sensor durch die Schwerkraft zu vermeiden – verändert (Verschiebung, Rotation), so dass der Tastkörper 24 in die gewünschte Messtiefe T fahren kann. Diese Relativbewegung kann auch alternativ zur Erhöhung des Betrags beim Abheben erfolgen. Die Auswertung des Schaltsignals ergibt, von welcher Richtung der Kontakt mit dem Tastkörper 24 erfolgt ist. Wenn der Kontakt beim Tiefersetzen mit dem gegenüberliegenden Wandbereich 21 aufgetreten ist, dann ist in die Ausgangshöhenlage zurückzufahren bzw. in eine Sicherheitslage zu fahren und der Betrag beim Abheben zu reduzieren, ohne den minimalen Abstand zu den Wandbereichen 21 der Bohrung 12 zu unterschreiten. Alternativ kann auch die Relativlage des Tastkörpers 24 und des Wandbereichs 21 – vorzugsweise wird das Bauteil gedreht, um Biegemomente beim berührenden Sensor durch die Schwerkraft zu vermeiden – verändert (Verschiebung, Rotation) werden, so dass der Tastkörper 24 in die gewünschte Messtiefe T fahren kann. Die Änderung der Relativlage wird im Prozess berücksichtigt. Die sich hieraus ergebende Änderung des Kontaktpunkts K wird beim Ableiten des Messwertes berücksichtigt, wenn sie relevant ist. Tritt beim anschließenden Tiefersetzen wieder Kontakt mit dem gegenüberliegenden Wandbereich 21 auf, dann wird der Vorgang so lange wiederholt, bis der Tastkörper 24 in die Messtiefe T fahren kann bzw. ein anderes Abbruchkriterium erreicht ist. Wenn ein anderes Abbruchkriterium erreicht ist, dann werden Messwerte an der nächsten definierten Lage ermittelt. Wenn kein Kontakt beim Fahren in die Messtiefe T aufgetreten ist, dann wird Richtung Wandbereich 21 gefahren. Tritt Kontakt vor dem Wert aus (0,5*D2-0,5*D1) plus vorheriger Betrag vom Abheben auf, dann erfolgte eine Antastung mit dem Tastkörper 24 und der abgeleitete Messwert wird gespeichert. Tritt Kontakt erst bei einem Wert auf, der gleich oder größer ist als (0,5*D2-0,5*D1) plus vorheriger Betrag vom Abheben, dann wird der Messwert verworfen, denn es erfolgte ein Antasten mit dem Schaft 22. Nach dem Erreichen der definierten Anzahl an Messwerten auf der Höhenlinie werden beim Höhenlinienverfahren Messwerte analog dem beschriebenen Verfahren bei der nächsten Höhenlinie aufgenommen. Das Verfahren wird so lange vorgesetzt, bis alle Höhenlinien an den definierten Lagen ermittelt sind. Bei der beliebiger Reihenfolge kommen die oben beschriebenen Grundsätze zum Tragen.

Tritt beim anschließenden Tiefersetzen wieder ein Kontakt K mit dem gegenüberliegenden Wandbereich 21 auf, dann wird Vorgang so lange wiederholt, bis der Tastkörper 24 in die gewünschte Messtiefe T bewegt werden kann bzw. ein anderes Abbruchkriterium erreicht ist. Wenn an anderes Abbruchkriterium erreicht ist, dann werden Messwerte an der nächsten definierten Lage aufgenommen. Wenn die Achse des Schaftes 22 auf der aktuell bekannten Bohrungsachse 16'' oder in Richtung zu demjenigen Wandbereich 21 angeordnet ist, an dem kein Messwert erfasst werden soll, wird der Betrag zum Abheben gemäß Pfeil IXh reduziert. Die Erhöhung oder Reduzierung der Werte sowie die Änderung der Relativlage zwischen dem Tastkörper 24 und dem Bauteil 10 wird derart vorgenommen, dass ein Kontakt zwischen dem Wandbereich 21 und dem Schaft 22 des Tastelements 20 vermieden wird. Der mögliche Verfahrbereich und die mögliche Änderung der Relativlage zwischen dem Tastelement 20 und dem Bauteil 10 kann aus denjenigen Messwerten, die in einer definierten Messtiefe T, z. B. unterhalb des Einlaufbereichs 26 der Bohrungen 12, erfasst wurden, ermittelt werden.

Fig. 10 zeigt eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils 10, wobei in einer weiteren Messtiefe T unterhalb des Ein- bzw. Auslaufbereichs 26 der Bohrung 12 ein mechanischer Kontakt K zwischen dem Tastkörper 24 und dem Wandbereich 21 der Bohrung 12 hergestellt wird. Wenn kein Kontakt beim Bewegen des Tastelements 20 gemäß Pfeil Xa in die jeweilige Messtiefe T aufgetreten ist, dann wird der Tastkörper 24 gemäß Pfeil Xb zum zu vermessenden Wandbereich 21 bewegt und mit diesem am Kontaktpunkt K in mechanischen Kontakt gebracht. Tritt ein mechanischer Kontakt vor der Differenz der halben Durchmesser (0,5*D2-0,5*D1) plus dem vorheriger Betrag vom Abheben auf, dann wird eine erfolgreiche Antastung mit dem Tastkörper 24 angenommen und der hieraus abgeleitete Messwert wird gespeichert. Tritt der mechanische Kontakt erst bei einer Differenz auf, die gleich oder größer ist, als die Differenz der halben Durchmesser (0,5*D2-0,5*D1) plus dem vorheriger Betrag vom Abheben, dann wird kein Messwert abgeleitet bzw. der Messwert wird verworfen, denn es erfolgte ein Antasten mit dem Schaft 22 (vgl. Fig. 13).

Nach dem Ermitteln einer vorbestimmten Anzahl an Messwerten entlang einer Mantellinie der Bohrung 12 kann vorgesehen sein, dass weitere Messwerte analog den vorstehend beschriebenen Verfahrensschritten bei einer nächsten Mantellinie in positiver Drehrichtung - z.B. +30° - ermittelt, anschließend in negativer Drehrichtung - z.B. -30° - anschließend in der nächsten positiven Drehrichtung - z.B. +60° - anschließend in negativer Drehrichtung - z.B. -60° - usw.. Es kann vorgesehen sein, dass die beschriebenen Verfahrensschritte so oft wiederholt werden, bis mehrere Mantellinien an definierten Lagen der Bohrung 12 ermittelt sind. Dabei hat es sich zur Steigerung der Messgenauigkeit als vorteilhaft gezeigt, dass die Ermittlung von Messwerten entlang einer Mantellinie abgebrochen und auf der anderen Seite des Wandbereichs 21 - d.h. um 180 Grad versetzt - fortgesetzt wird, wenn zwei Antastungen entlang der betreffenden Mantellinie gescheitert sind. Dort werden gemäß den beschriebenen Verfahrensschritten weitere Messwerte in positiver und negativer Drehrichtung entlang von Mantellinien aufgenommen. Die Ermittlung der Messwerte kann natürlich auch in beliebiger Reihenfolge - beispielsweise entlang von Höhenschnittlinien - durchgeführt werden.

Anhand der ermittelten Messwerte wird über die Bohrungsform – bei einer runden Bohrung 12 über einen Ausgleichzylinder - die aktuell bekannte Bohrungsachse 16'' durch Berechnung aktualisiert und/oder präzisiert, die idealerweise koaxial zur Ist-Bohrungsachse 16' verläuft. Statistische Kennwerte – z. B. maximaler positiver und negativer Punktabstand, Koeffizient für Güte der Zylinderform –können für die Bewertung der Bohrung 12 herangezogen werden. Das Bauteil 10 oder der Tastkörper 24 werden relativ zueinander um einen Winkel β verschwenkt, dass die ermittelte Bohrungsachse 16'' und die Achse des Schaftes 22 parallel sind. Der eingeschwenkte Zustand bildet die Basis für weitere Verfahrensschritte. Fig. 11 zeigt hierzu eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils 10, wobei das Bauteil 10 vor bzw. während dem Vermessen um den Winkel β verschwenkt und damit relativ zum Tastelement 20 ausgerichtet wird. Sollte nur eine unzureichende Anzahl von Messwerten - z. B. aufgrund einer großen Abweichung der Ist-Bohrungsachse 16' von der aktuell bekannten Bohrungsachse 16'' - beim ersten Messlauf erfasst werden können, so wird der Ablauf Ermitteln der Messwerte, Ermitteln der aktuell bekannten Bohrungsachse 16'' und Eindrehen des Bauteils 10 und/oder

des Tastelements 20 auf Basis der ermittelten Bohrungsachse 16'' entsprechend wiederholt.

Der Schwenkwinkel β wird vorzugsweise - wie bereits beschreiben - so gewählt, dass beim Bewegen des Tastelements 20 keine Kollision zwischen dem Schaft 22 und dem Wandbereich 21 auftreten kann. Fig. 12 zeigt hierzu eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils 10, wobei das Bauteil 10 während des Vermessens um den Schwenkwinkel β gedreht bzw. verschwenkt wird, so dass die aktuell bekannte Bohrungsachse 16'' sich der Ist-Bohrungsachse 16' zumindest weitgehend annähert. Bei einer Ausrichtung der Bohrung 12 entlang von Mantellinien, Höhenlinien, Kombination hiervon, wird als Tastkörper 24 vorzugsweise eine möglichst große Kugel zusammen mit einem möglichst dünnen Schaft 22 verwendet, um zuverlässige Messwerte trotz einer Abweichung der Ist-Bohrungsachse 16' von der nominellen Soll-Bohrungsachse 16 bzw. der aktuell bekannten Bohrungsachse 16'' von der Ist-Bohrungsachse 16' zu erhalten. Das Vermessen (Scannen) der Bohrung 12 erfolgt wie bereits erwähnt durch zumindest überwiegendes Bewegen des Tastelements 20 entlang seiner Hauptsteifigkeitsrichtung H. Die Hauptsteifigkeitsrichtung H wird entweder entlang der Ist-Bohrungsachse 16' bei einer ausgerichteten Bohrung 12 oder entlang der aktuell bekannten Bohrungsachse 16'' bei einer nicht ausgerichteten Bohrung 12 angeordnet. Ebenso kann vorgesehen sein, dass die Hauptsteifigkeitsrichtung H, um den Abstand A1 bzw. den Winkel α1 zwischen Bohrungsachse 16' und Schaft 22 zu vergrößern, bei eingeschwenkter Bohrungsachse 16' oder durch ein Nachführen von Bauteil 10 und/oder Tastkörper 24 während des Vermessens entsprechend ausgerichtet wird.

Fig. 13 zeigt eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des Bauteils 10 mit einer sich von der Außenfläche 14a zur Innenfläche 14b aufweitenden Bohrung 12. Dabei wird insbesondere deutlich, dass es beim Vermessen von Bohrungen 12, die sich aufweiten oder Hinterschnitte besitzen, zu einem Antasten des Schafts 22 kommen kann, wenn der Tastkörper 24 gemäß Pfeil XIIIa zum Wandbereich 21 hin bewegt wird und die aktuell bekannte Bohrungsachse 16'' zu stark von der Ist-Bohrungsachse 16' abweicht bzw. das Bauteil 10 und das Tastelement 20 nicht entsprechend zueinander ausgerichtet sind.

Weiterhin kann vorgesehen sein, dass als Tastkörper 24 eine Kugel mit einem möglichst kleinen Durchmesser D2 oder eine Tastspitze verwendet wird, um den Wandbereich 21 möglichst detailliert vermessen zu können. Die Verschiebung des Kontaktpunkts K zwischen dem Tastkörper 24 und dem Wandbereich 21 werden bei der Ermittlung der Messwerte berücksichtigt, sofern dieser signifikanten Einfluss auf das Messergebnis hat. Bei entsprechend kleinem Durchmesser D2 des Tastkörpers 24 und geringem Winkel $\alpha 1$ hat diese Verschiebung nur einen vernachlässigbaren Einfluss auf das Messergebnis. Die Anzahl der Messschnitte ist vorzugsweise größer gleich drei bei einer zumindest im Wesentlichen kreiszylindrischen Bohrung 12. Die erforderlich Anzahl der Scannschnitte bzw. die Anzahl der Messwerte pro Schnitt werden jedoch grundsätzlich durch die Messaufgabe mitbestimmt. Fig. 14 zeigt zur weiteren Erläuterung eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 3 gezeigten Bauteils 10, wobei das Tastelement 20 und der Tastkörper 24 in Abhängigkeit der Geometrie der Bohrung 12 ausgebildet sind und vergleichsweise kleine Durchmesser D1, D2 besitzen, um eine möglichst detaillierte Vermessung der Wandbereiche 21 zu ermöglichen.

Bei der Berechnung von Formelementen - beispielsweise Kreiszylindern im Fall von im Querschnitt kreisrunden Bohrungen 12 - wird in weiterer Ausgestaltung zusätzlich der Auslauflaufbereich 26 ermittelt bzw. als weitere Geometrieelemente bei der Berechnung des Formelementes für die Bohrung 12 berücksichtigt. Viele Trichter öffnen von einer runden Bohrung 12 oder von einem beliebigen Querschnitt – z. B. Langloch - in einen rechteckigen oder quadratischen Querschnitt mit verrundeten Ecken über einen Öffnungswinkel γ pro Quadrant. Fig. 15 zeigt hierzu eine schematische und ausschnittsweise Perspektivansicht eines Bauteils 10 mit einer Bohrung 12, welche einen kreiszylinderförmigen Bereich 28 und den trichterförmigen Auslaufbereich 26 aufweist.

Die Oberfläche 14a ist dabei aus Gründen der Übersichtlichkeit transparent dargestellt. Der trichterförmige Auslaufbereich 26, der einen Übergangsbereich 32 mit der Oberfläche 14a besitzt, öffnet in erster Näherung von einem runden in einen rechteckigen bzw. quadratischen Querschnitt mit verrundeten Ecken über einen bestimmten Öffnungswinkel γ pro

Quadrant. Derartige Formen können vorteilhaft zumindest näherungsweise über umlaufende Geraden 34 beschrieben werden, die eine untere, hier kreisförmige Führungskurve 30a und eine obere, hier rechteckige Führungskurve mit abgerundeten Ecken 30b miteinander verbindet. Diese Eigenschaft kann vorteilhaft verwendet werden, um Höhen- bzw. allgemeine Scannschnitte zu generieren, ohne dass auf Solldaten von einem CAD-Modell zurückgegriffen werden muss. Die Schnittaufteilung erfolgt vorzugsweise so, dass Querkräfte auf das berührende Tastelement 20 minimal werden. Vor dem Vermessen der Bohrung 12 erfolgt wie zuvor beschrieben die Erfassung der Höhenlage über Messwerte rund um den trichterförmigen Auslaufbereich 26a. Mit Kenntnis dieser Höhenlage kann die Vermessung am Übergang zwischen dem Auslaufbereich 26a und der Oberfläche 14a gezielt gestoppt werden. Weiterhin können mit Kenntnis der Höhenlage charakteristische Messwerte vom zu messenden Trichtertyp ermittelt werden, um die Orientierung des Auslaufbereichs 26a zu erfassen, wenn eine Drehung der Bohrung 12 um die Ist-Bohrungsachse 16' gegenüber der nominalen Ausrichtung vorhanden bzw. angenommen wird. Diese Verdrehung wird beispielsweise über eine Anpassung der oberen Führungskontur 30b berücksichtigt.

Vor dem Scannschnitt werden das Bauteil 10 und/oder das Tastelement 20 derart zueinander ausgerichtet, so dass zwischen dem Schaft 22 und dem Wandbereich 21 der Bohrung - wie vorstehend beschrieben - der geforderte Sicherheitswinkel $\alpha 1$ bzw. Sicherheitsabstand A1 besteht. Fig. 16 zeigt hierzu eine schematische und ausschnittsweise Schnittansicht des in Fig. 15 dargestellten Bauteils 10. Bei Auslaufbereichen 26a mit kleinem Öffnungswinkel γ kann das Einschwenken grundsätzlich entfallen. Es wird ein Tastkörper 24 mit möglichst kleinem Durchmesser D2 oder eine Tastspitze verwendet, um den Trichter zwischen dem Auslaufbereich 26a und dem Einlaufbereich 26b der zylindrischen Bohrung 12 möglichst detailliert aufnehmen zu können. Die Bohrung 12 besitzt im Bereich der Innenoberfläche 14b den Einlaufbereich 26c. Die Verschiebung des Antastpunktes zwischen dem Tastkörper 24 und dem Auslaufbereich 26a wird bei den Messwerten berücksichtigt, sofern diese signifikanten Einfluss auf das Messergebnis hat. Bei entsprechend kleinem Durchmesser D2 und geringem Einschwenkwinkel β hat diese Verschiebung nur einen vernachlässigbaren Einfluss auf das Messergebnis.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Vermessen wenigstens einer Bohrung (12) in zumindest einer Oberfläche (14a, 14b) eines Bauteils (10), insbesondere für thermische Strömungsmaschinen, bei welchem eine Ist-Geometrie der wenigstens einen Bohrung (12) mittels einer taktilen Sensoreinrichtung zumindest bereichsweise ermittelt wird, dadurch gekennzeichnet, dass ein einen Tastkörper (24) umfassendes Tastelement (20) der taktilen Sensoreinrichtung beim zumindest bereichsweisen Ermitteln der Ist-Geometrie der Bohrung (12) zumindest überwiegend entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse (H) bewegt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Hauptsteifigkeitsachse (H) des Tastelements (20) zumindest im Wesentlichen parallel und/oder um einen Winkel (α,$\alpha 1$) gekippt gegenüber einer Bohrungsachse (16) der Bohrung (12) und/oder entlang einer Falllinie eines Wandbereichs (21) der Bohrung (12) angeordnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Winkel (α) höchstens so groß gewählt wird, dass beim Anordnen des Tastkörpers (24) des Tastelements (20) in einer maximalen Messtiefe (Tmax) innerhalb der Bohrung (12) der Wandbereich (21) der Bohrung (12) von einem Schaft (22) des Tastelements (20) in einem Abstand (A) vom Tastkörper (24) berührt wird, wobei mittels des Tastkörpers (24) ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastelement (20) und dem Wandbereich (21) zum Ermitteln der Ist-Geometrie hergestellt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Winkel ($\alpha 1$) und/oder ein Abstand (A1) des Schafts (22) des Tastelements (20) vom Wandbereich (21) der Bohrung (12) derart eingestellt wird, dass der Schaft (22) beim zumindest überwiegenden Bewegen des Tastelements (20) entlang seiner Hauptsteifigkeitsachse (H) den Wandbereich (21) nicht berührt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zunächst ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastelement (20) und dem Wandbereich (21) im Bereich einer Außenoberfläche (14a) und/oder einer Innenoberfläche (14b) des Bauteils (10) hergestellt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (10) und das Tastelement (20) vor und/oder während des zumindest bereichsweisen Ermittelns der Ist-Geometrie der Bohrung (12) relativ zueinander ausgerichtet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausrichten in Abhängigkeit einer Abweichung der Ist-Geometrie von einer Soll-Geometrie der Bohrung (12) durchgeführt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass vor und/oder während des zumindest bereichsweisen Ermittelns der Ist-Geometrie der Bohrung (12) eine Ist-Bohrungsachse (16') ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Bohrungsachse (16') unter Berücksichtigung einer Ist-Höhenlage der Oberfläche (14a, 14b) des Bauteils (10) ermittelt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Bohrungsachse (16') unter Berücksichtigung einer Differenz zwischen einem Ist- und einem Soll-Schnittprofil der Bohrung (12) ermittelt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zum Ermitteln der Ist-Bohrungsachse (16') in einer vorbestimmten Messtiefe (T) innerhalb der Bohrung (12) ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper (24) und dem Wandbereich (21) der Bohrung (12) hergestellt und anhand des Kontakt-

punktes zumindest ein die Ist-Geometrie des Wandbereichs (21) am Kontaktpunkt charakterisierender Messwert gespeichert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der mechanische Kontakt zwischen dem Tastkörper (24) und dem Wandbereich (21) der Bohrung (12) in mehreren Messtiefen (T) und/oder an unterschiedlichen Kontaktpunkten derselben Messtiefe (T) und/oder entlang wenigstens einer Mantellinie der Bohrung (12) und/oder entlang wenigstens einer Höhenlinie der Bohrung (12) hergestellt und anhand der Kontaktpunkte mehrere die Ist-Geometrie des Wandbereichs (21) am jeweiligen Kontaktpunkt charakterisierende Messwerte gespeichert werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der mechanische Kontakt zwischen dem Tastkörper (24) und dem Wandbereich (21) der Bohrung (12) entlang mehrerer Mantellinien und/oder Höhenlinien der Bohrung (12) hergestellt und anhand der Kontaktpunkte mehrere die Ist-Geometrie des Wandbereichs (21) am jeweiligen Kontaktpunkt charakterisierende Messwerte gespeichert werden, wobei die Mantellinien und/oder die Höhenlinien an unterschiedlichen Umfangspositionen der Bohrung (12) angeordnet sind.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Tastkörper (24), vorzugsweise nach dem Speichern eines jeweiligen Messwerts, um eine Strecke vom Wandbereich (21) der Bohrung (12) wegbewegt und vorzugsweise parallel zur Bohrungsachse (16) zum nächsten Kontaktpunkt bewegt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Tastkörper (24) zu einem vorhergehenden Kontaktpunkt zurückbewegt wird, wenn während des Bewegens zum nächsten Kontaktpunkt ein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastelement (20) und dem Wandbereich (21) der Bohrung (12) auftritt, wonach der Tastkörper (24) um eine veränderte Strecke vom Wandbereich (21) der Bohrung (12) wegbewegt und vorzugsweise parallel zur Bohrungsachse (16) zum nächsten Kontaktpunkt bewegt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Strecke vergrößert wird, wenn der Schaft (22) des Tastelements (20) zwischen der Bohrungsachse (16) und dem Wandbereich (21) angeordnet ist, und/oder dass die Strecke verkleinert wird, wenn der Schaft (22) des Tastelements (20) zwischen der Bohrungsachse (16) und einer dem Wandbereich (21) gegenüberliegenden Wand der Bohrung (12) angeordnet ist und/oder dass das Tastelement (24) und das Bauteil (10) relativ zueinander ausgerichtet werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Messwert verworfen wird, wenn das Tastelement (20) beim mechanischen Kontakt zwischen dem Tastkörper (24) und dem Wandbereich (21) einen weiteren Wandbereich (21) der Bohrung (12) in einem Abstand vom Tastkörper (24) berührt und/oder zumindest zweimal kein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper (24) und dem Wandbereich (21) hergestellt werden kann.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass ein dem Wandbereich (21) gegenüberliegender Wandbereich (21) der Bohrung (12) zum Herstellen des mechanischen Kontakts mit dem Tastkörper (24) verwendet wird, wenn zumindest zweimal kein mechanischer Kontakt zwischen dem Tastkörper (24) und dem Wandbereich (21) hergestellt werden kann.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Bohrungsachse (16') anhand des wenigstens einen gespeicherten Messwerts und/oder anhand einer Soll-Geometrie der Bohrung (12) ermittelt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass beim zumindest bereichsweisen Ermitteln der Ist-Geometrie der Bohrung (12) eine geometrische Ausgestaltung des Tastelements (20) bzw. des Tastkörpers (24) berücksichtigt wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest bereichsweisen Ermitteln der Ist-Geometrie der Bohrung (12) unterbrochen und/oder abgebrochen wird, wenn sich der Tastkörper (24) des Tastelements (20) in einem Übergangsbereich zwischen der Bohrung (12) und der Oberfläche (14a, 14b) befindet.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass eine Ist-Geometrie eines insbesondere trichterförmigen Einlauf- und/oder eines Auslaufbereichs (26) der Bohrung (12) ermittelt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Geometrie des Einlauf- und/oder des Auslaufbereichs (26) der Bohrung (12) anhand von unteren und/oder oberen Führungskurven (30a, 30b) ermittelt wird.

24. Vorrichtung zum Vermessen wenigstens einer Bohrung (12) in zumindest einer Oberfläche (14a, 14b) eines Bauteils (10), insbesondere für thermische Strömungsmaschinen, mittels welcher eine Ist-Geometrie der wenigstens einen Bohrung (12) mittels einer taktilen Sensoreinrichtung zumindest bereichsweise ermittelbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoreinrichtung ein einen Tastkörper (24) umfassendes Tastelement (20) umfasst und mit einer Steuer- und Auswerteeinrichtung gekoppelt ist, die zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 23 ausgebildet ist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass der Tastkörper (24) als Kugel und/oder als Spitze ausgebildet und/oder an einem distalen Endbereich des Tastelements (20) angeordnet ist.

26. Vorrichtung nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, dass das Tastelement (20) einen vorzugsweise zylindrisch ausgebildeten Schaft (22) umfasst, an welchem der Tastkörper (24) gehalten ist.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass das Tastelement (20) in Abhängigkeit der Geometrie der Bohrung (12) ausgebildet ist.

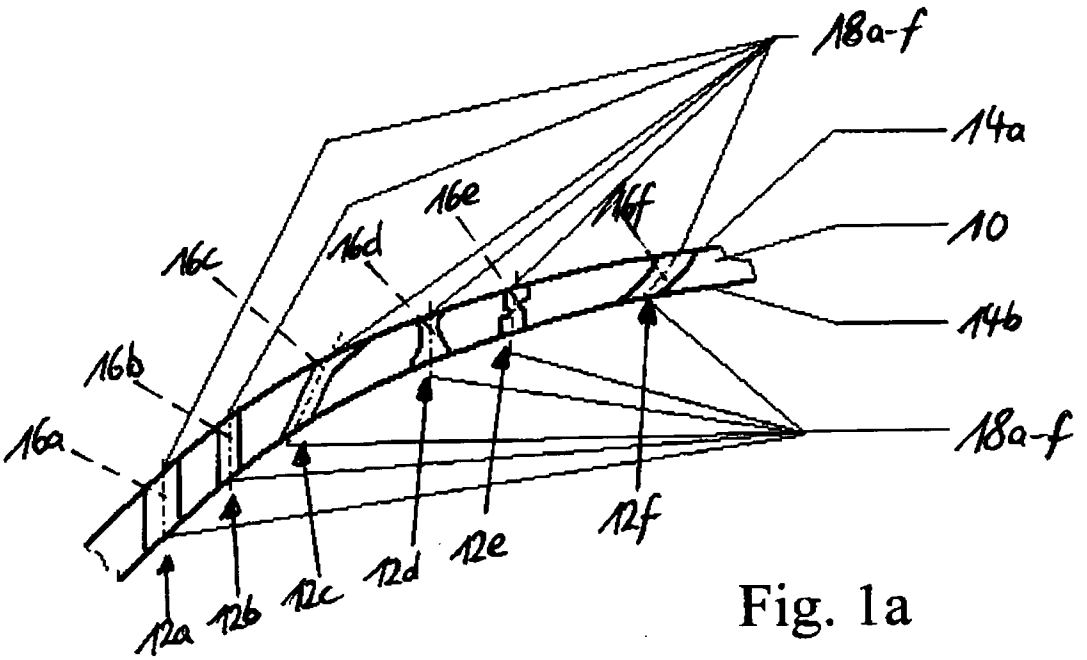

18a-f
14a
16e
16f
16c
16d
10
16b
14b
16a
18a-f
12f
12e
12d
12c
12b
12a

Fig. 1a

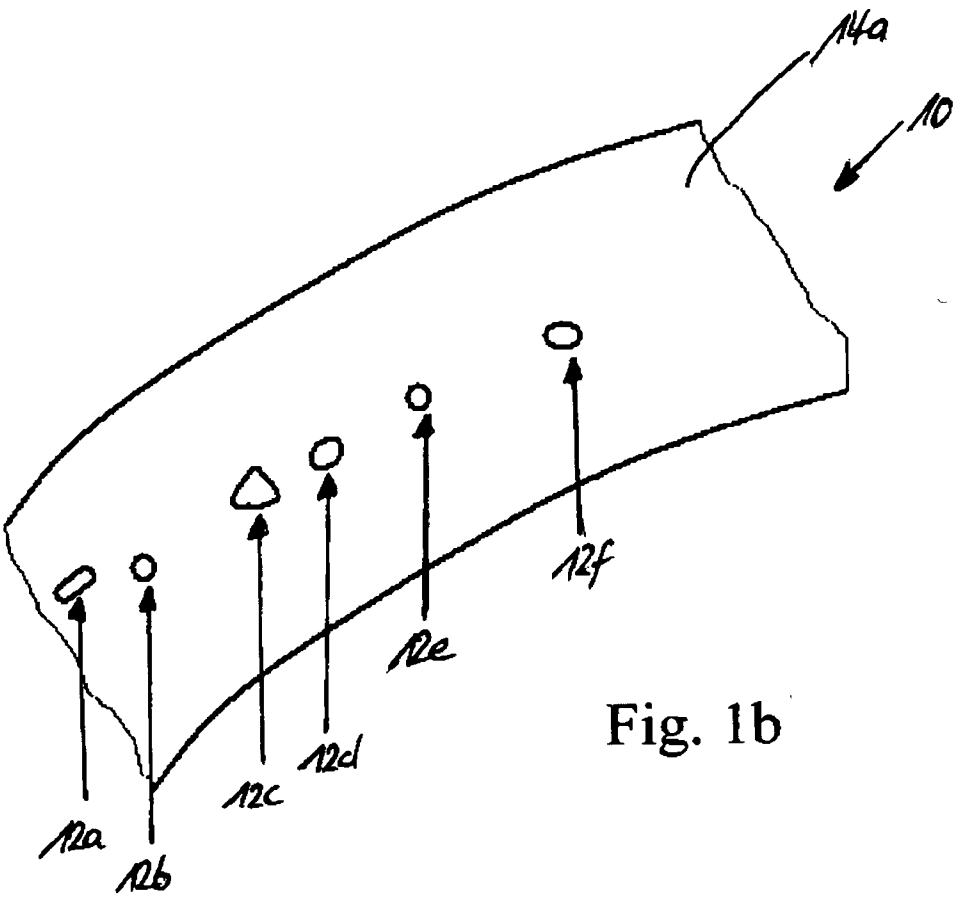

14a
10
12f
12e
12d
12c
12a
12b

Fig. 1b

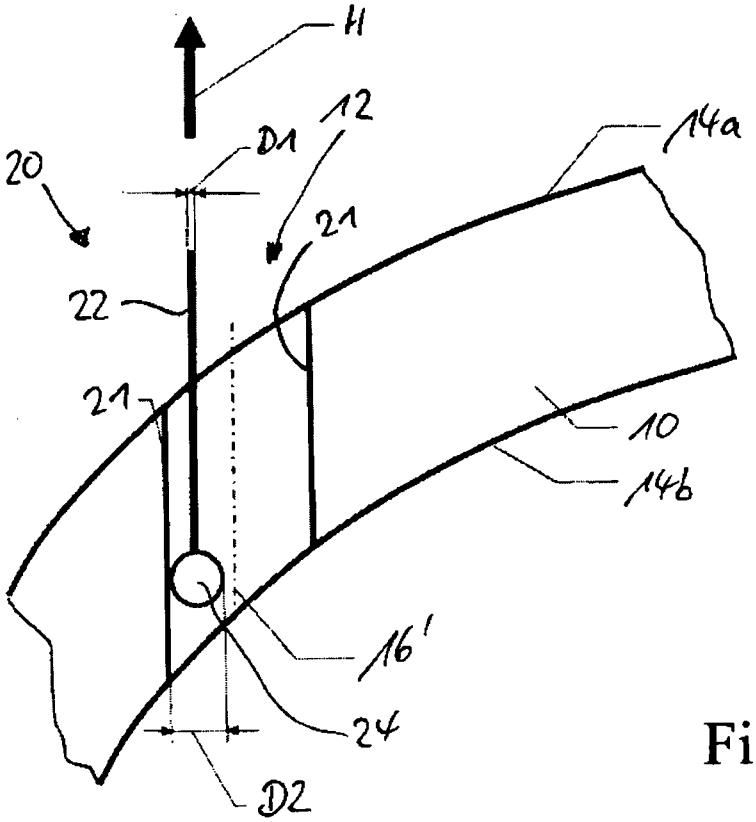

H
D1
12
14a
20
21
22
21
10
14b
16'
24
D2

Fig. 2

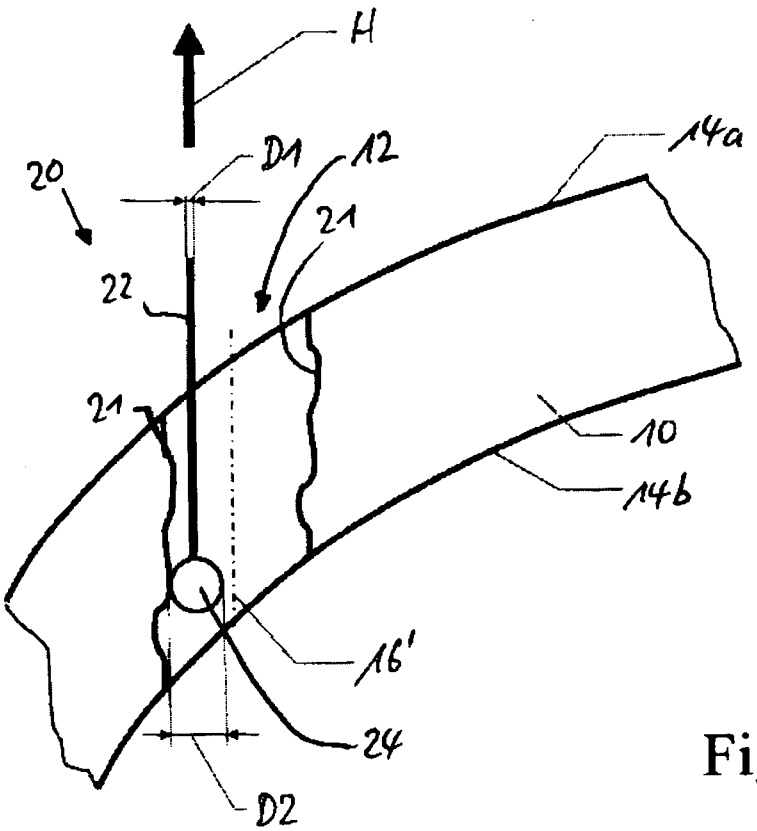

H
D1
12
14a
20
21
22
21
10
14b
16'
24
D2

Fig. 3

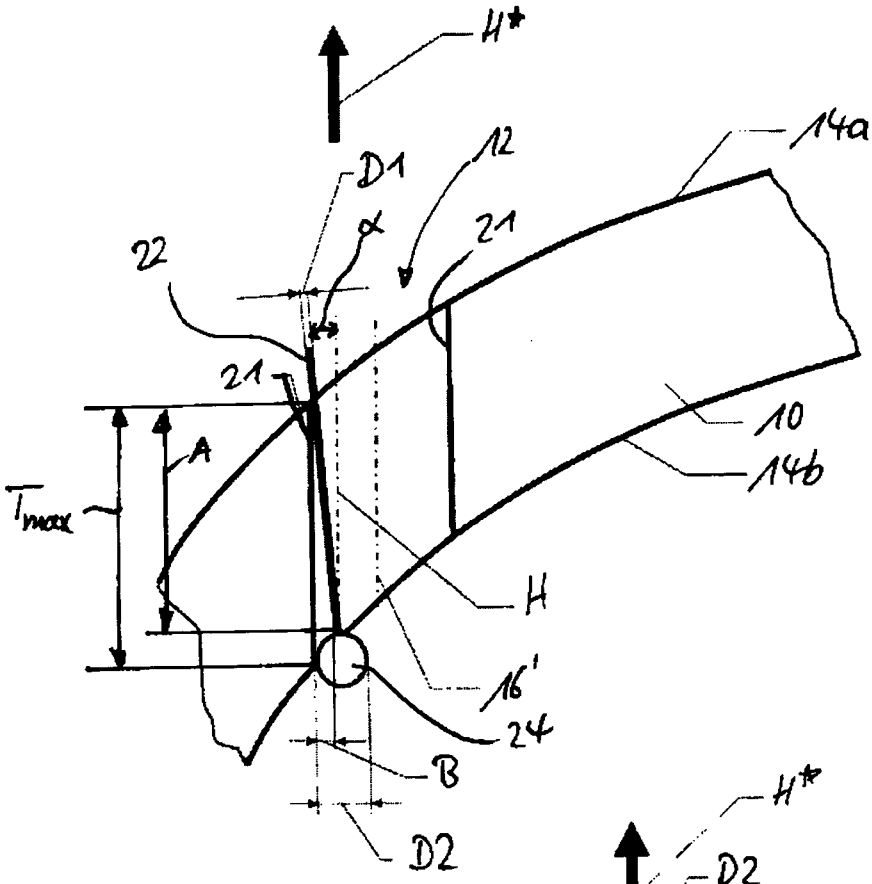

H*
D1
12
14a
22
α
21
21
10
A
T_{max}
14b
H
16'
24
B
D2

Fig. 4

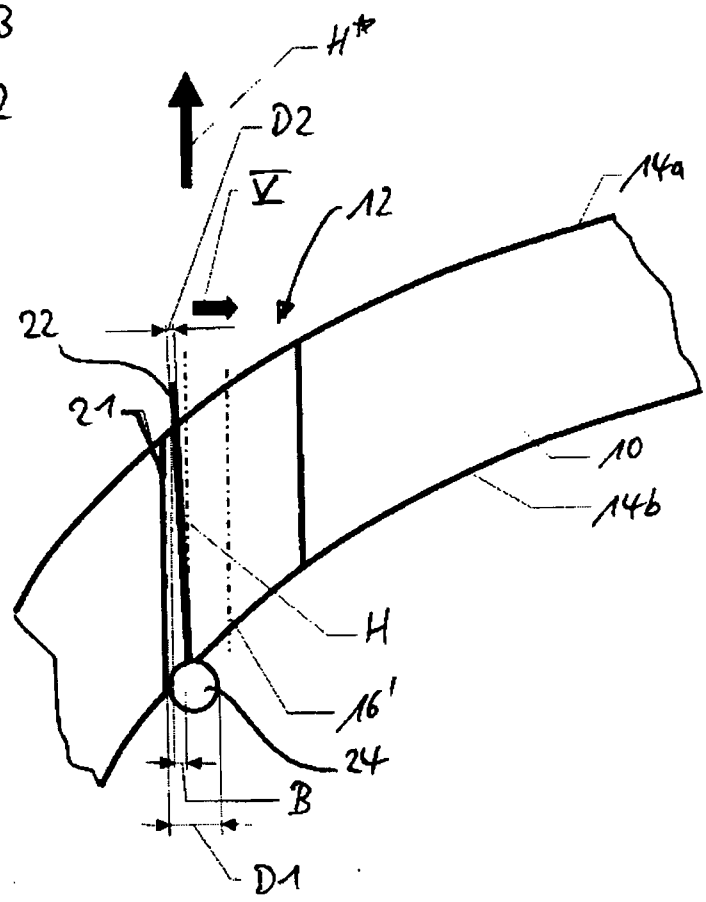

H*
D2
V
12
14a
22
21
10
14b
H
16'
24
B
D1

Fig. 5

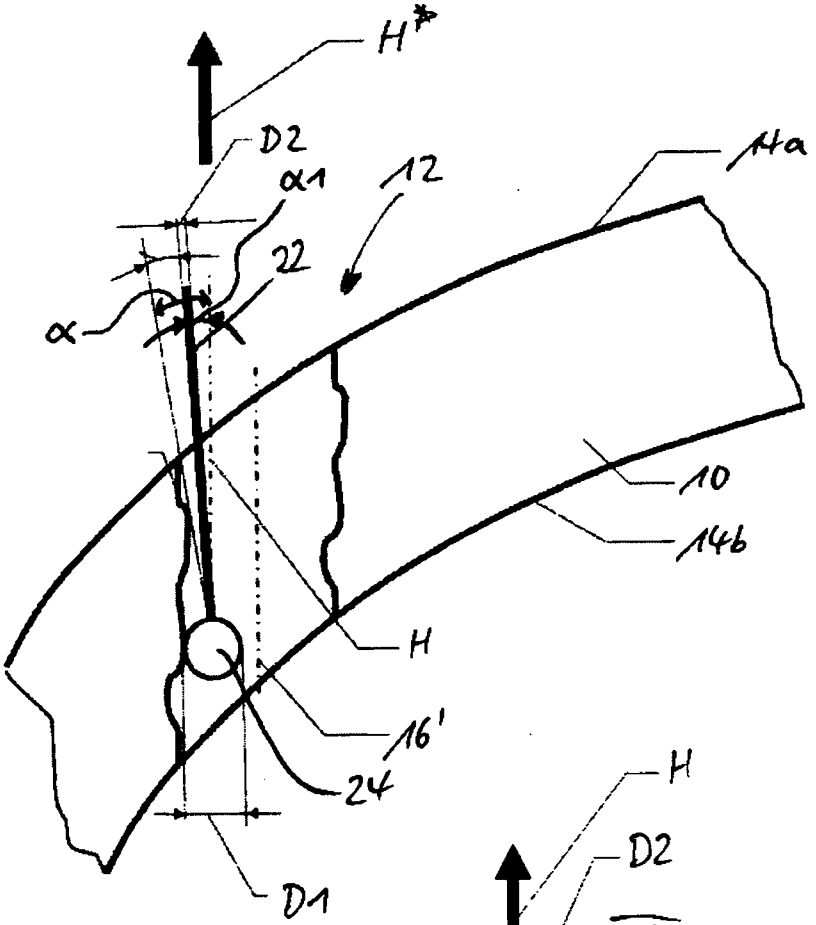

H*
D2
α1
12
14a
22
α
10
14b
H
16'
24
D1

Fig. 6

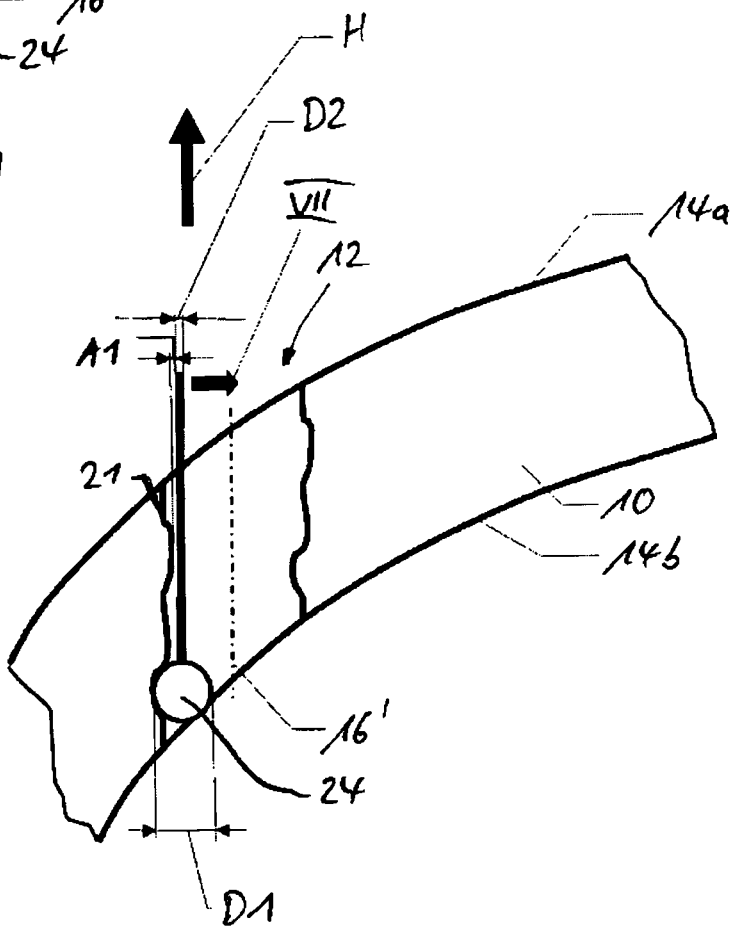

H
D2
VII
14a
12
11
21
10
14b
16'
24
D1

Fig. 7

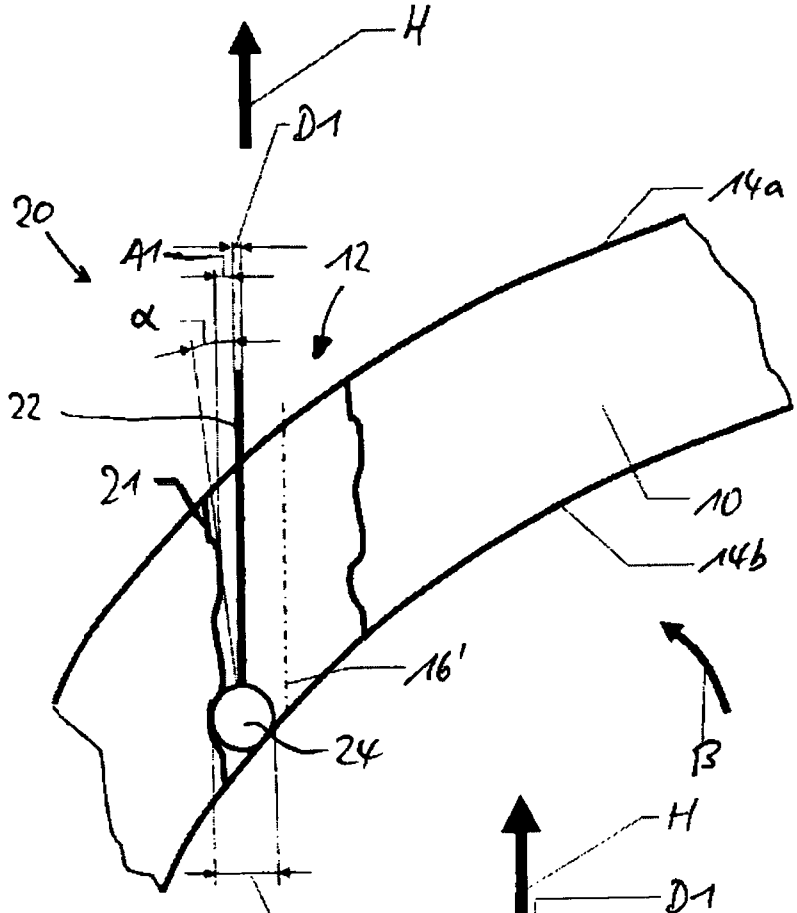

H
D1
20
A1
12
α
22
21
14a
10
14b
16'
24
B
D2

Fig. 8

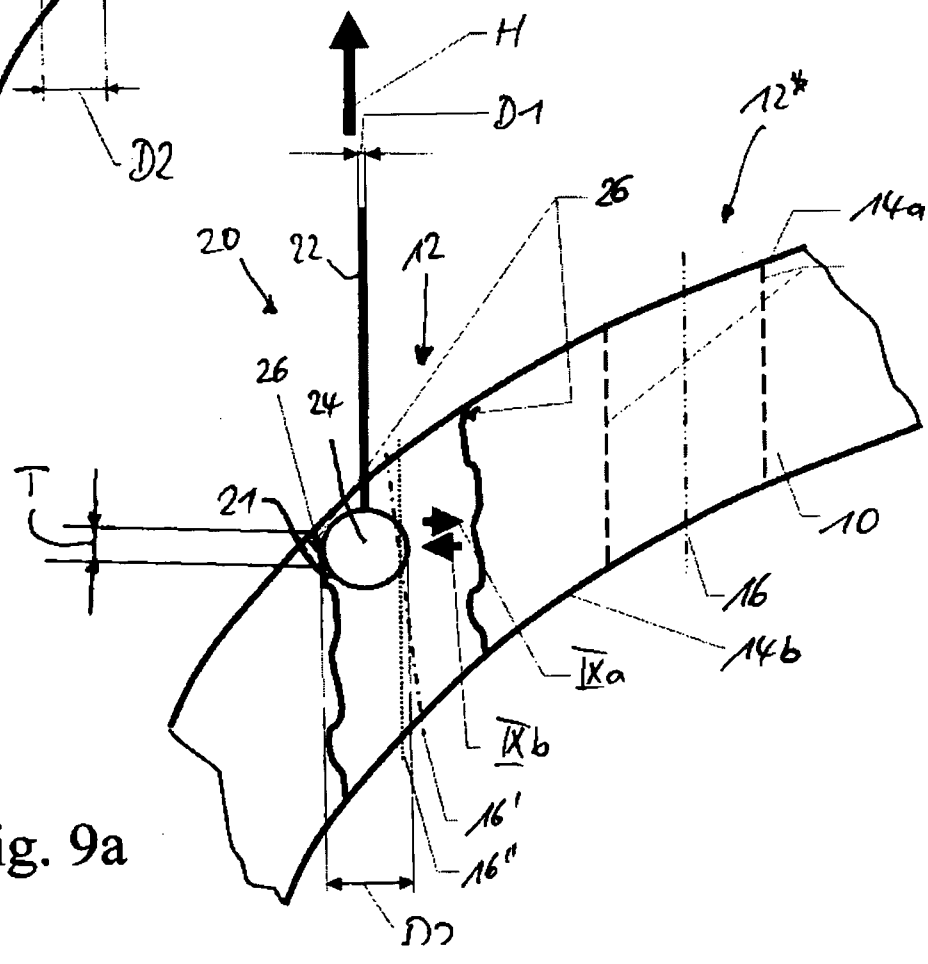

H
D1
12*
26
14a
20
22
12
26
24
T
21
10
16
14b
IXa
IXb
16'
16''
D2

Fig. 9a

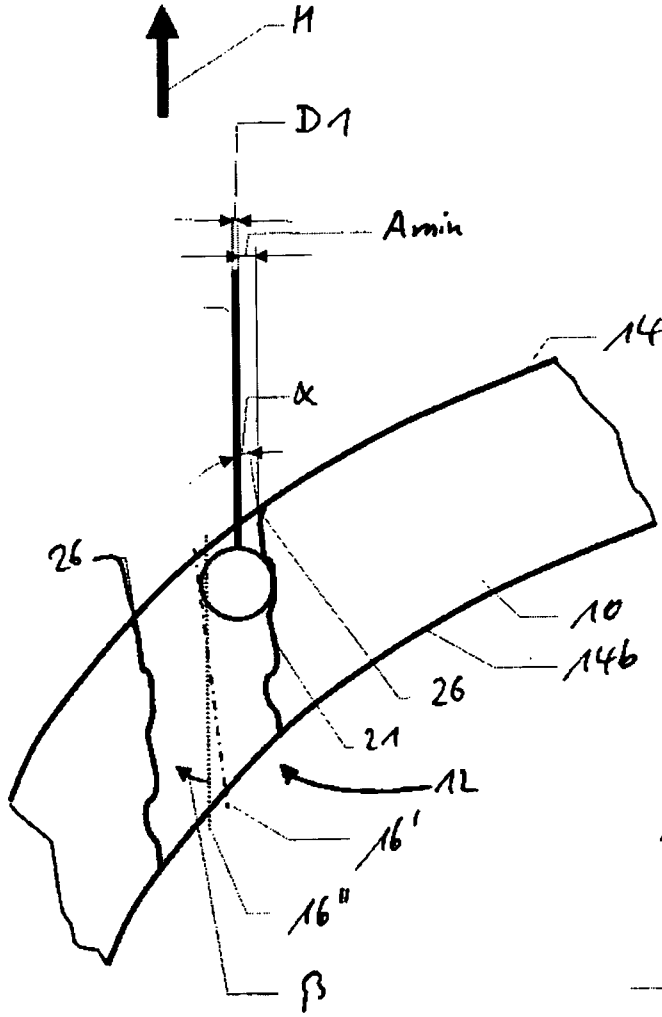

H
D1
Amin
14a
α
26
10
14b
26
21
12
16'
16"
β

Fig. 9b

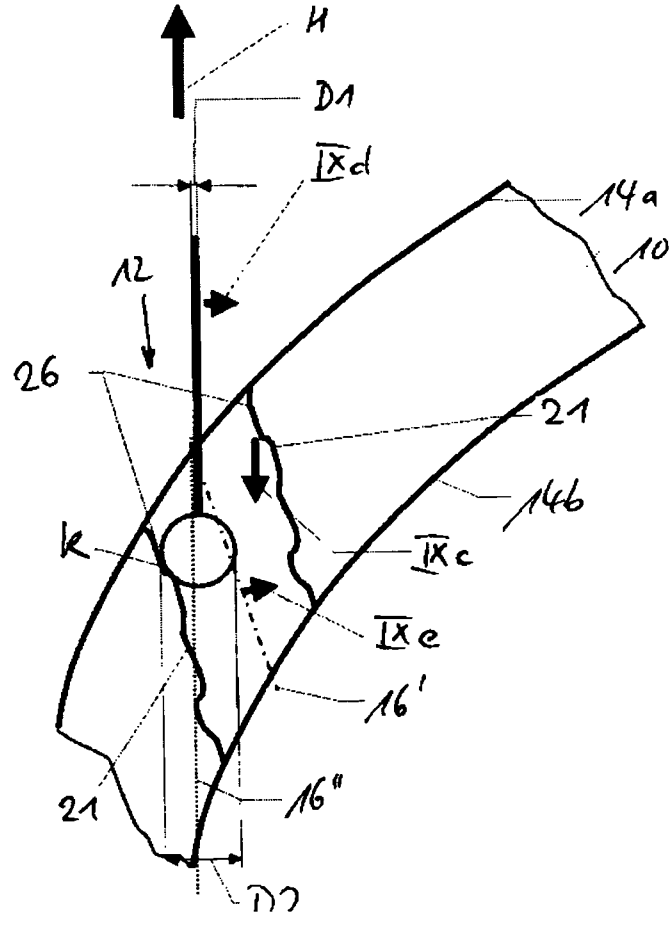

H
D1
IXd
14a
10
12
26
21
14b
k
IXc
IXe
16'
16"
21
D2

Fig. 9c

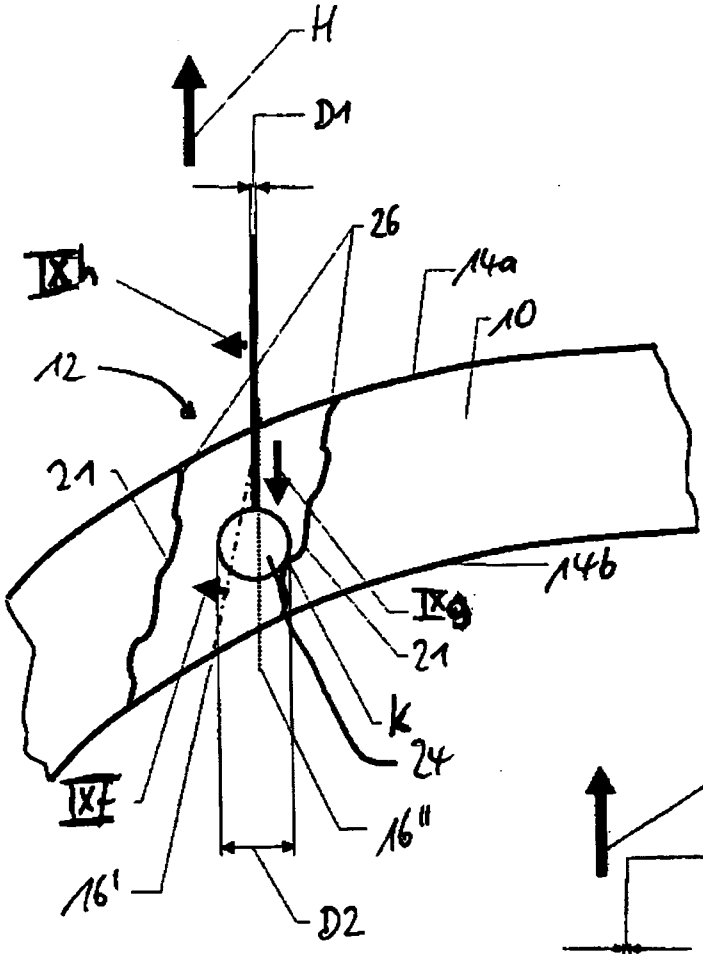

H
D1
26
14a
10
IXb
12
21
14b
IXa
21
k
24
IXf
16"
16'
D2

Fig. 9d

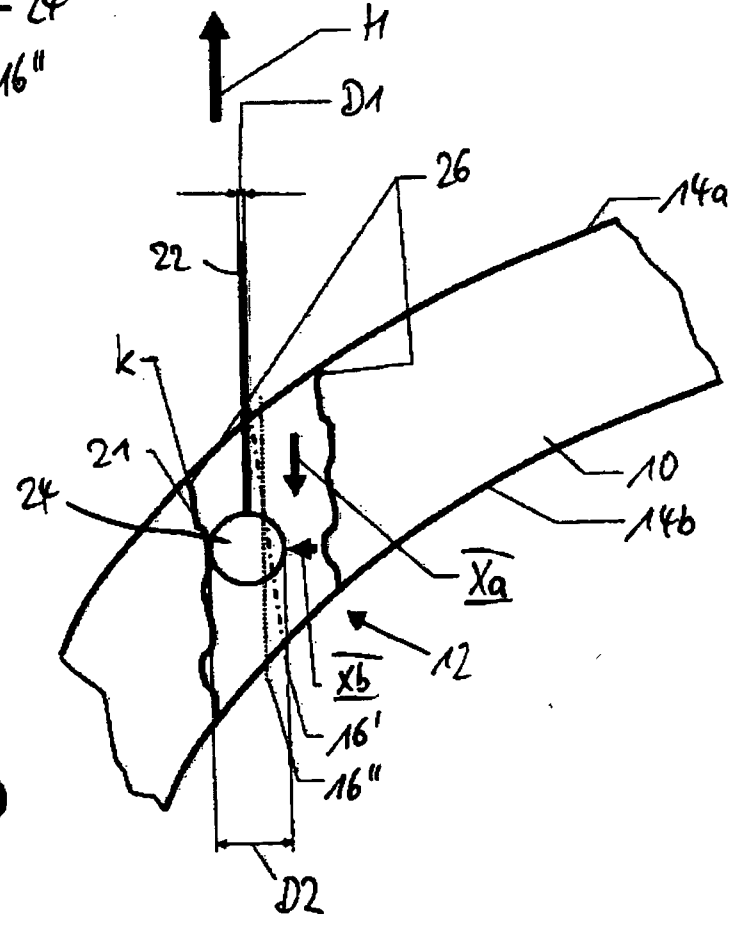

H
D1
26
14a
22
k
21
10
24
14b
Xa
12
Xb
16'
16"
D2

Fig. 10

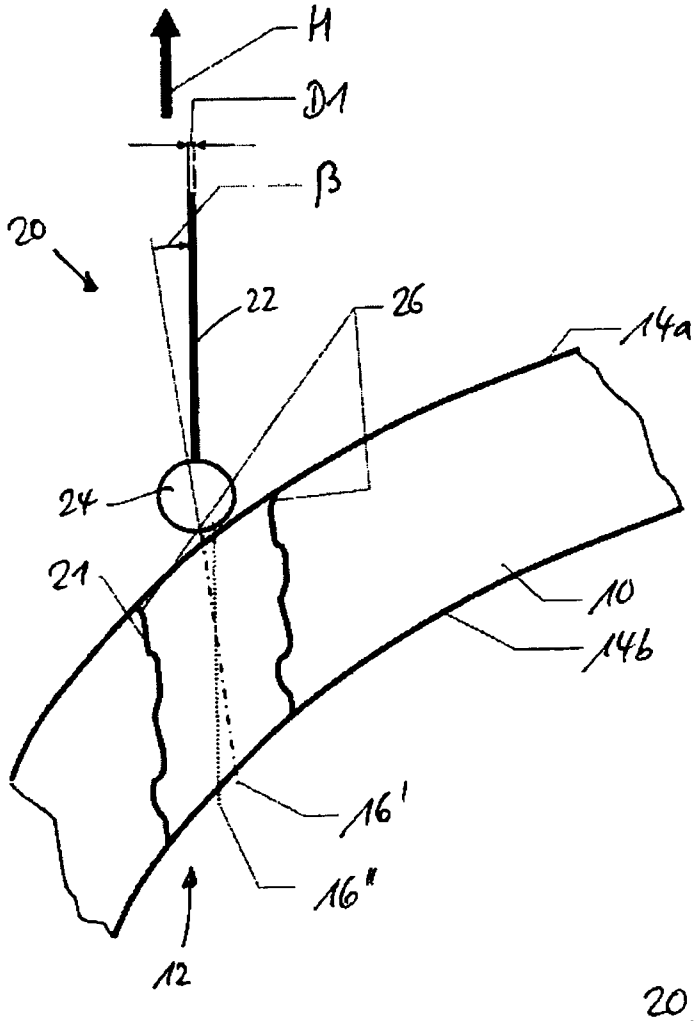

H
D1
β
20
22
26
14a
24
21
10
14b
16'
16''
12

Fig. 11

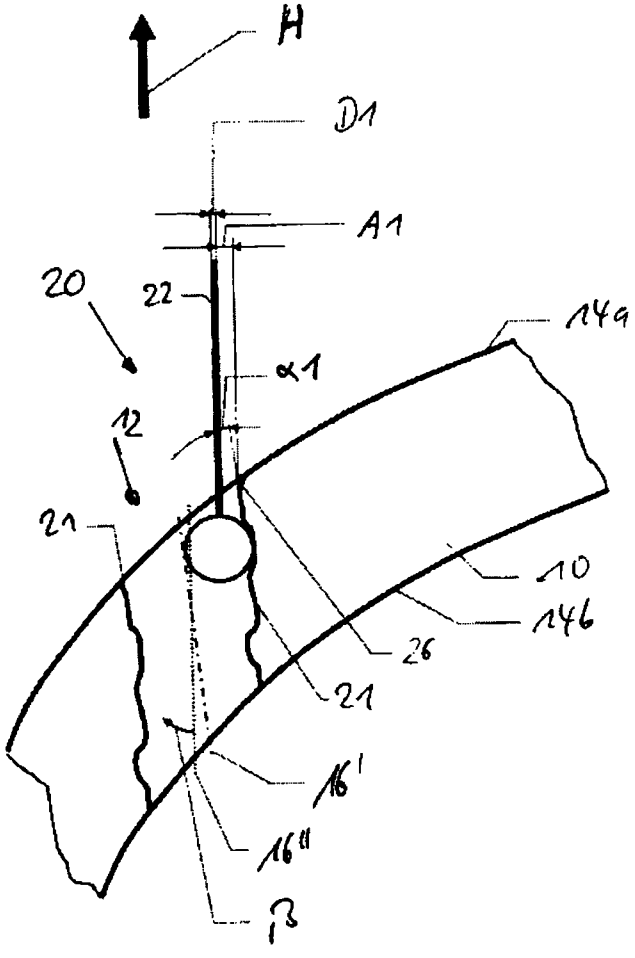

H
D1
A1
20
22
14a
α1
12
21
10
14b
26
21
16'
16''
β

Fig. 12

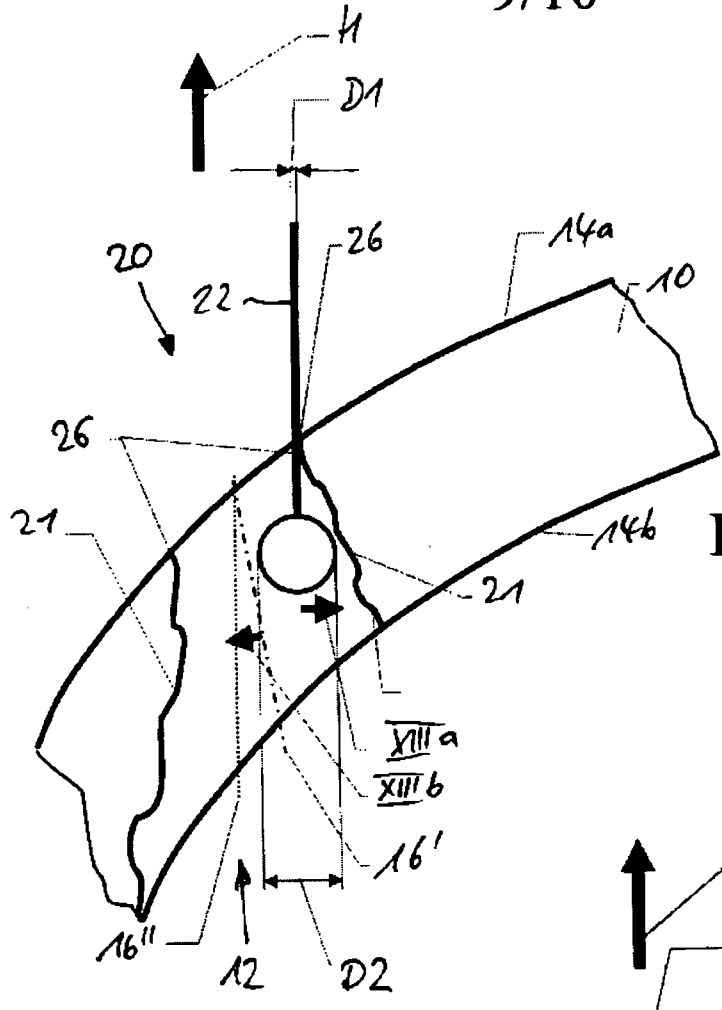

H
D1
26
14a
20
22
10
26
21
14b
21
XIII a
XIII b
16'
16''
12
D2

Fig. 13

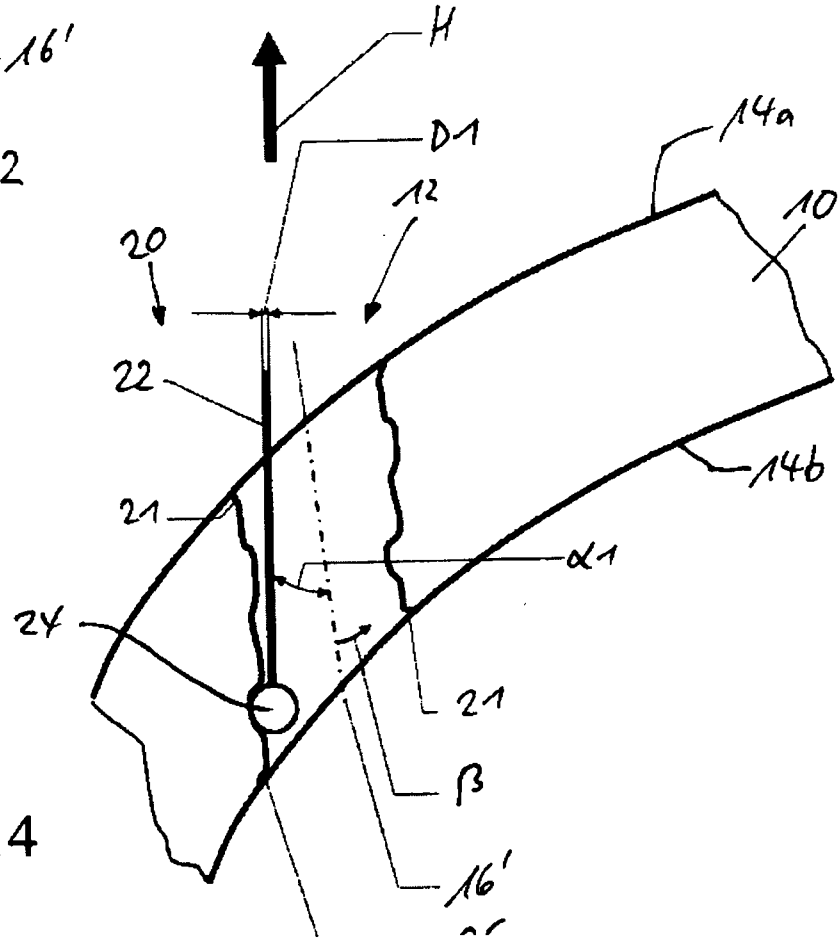

H
D1
14a
12
10
20
22
14b
21
α1
24
21
β
16'

Fig. 14

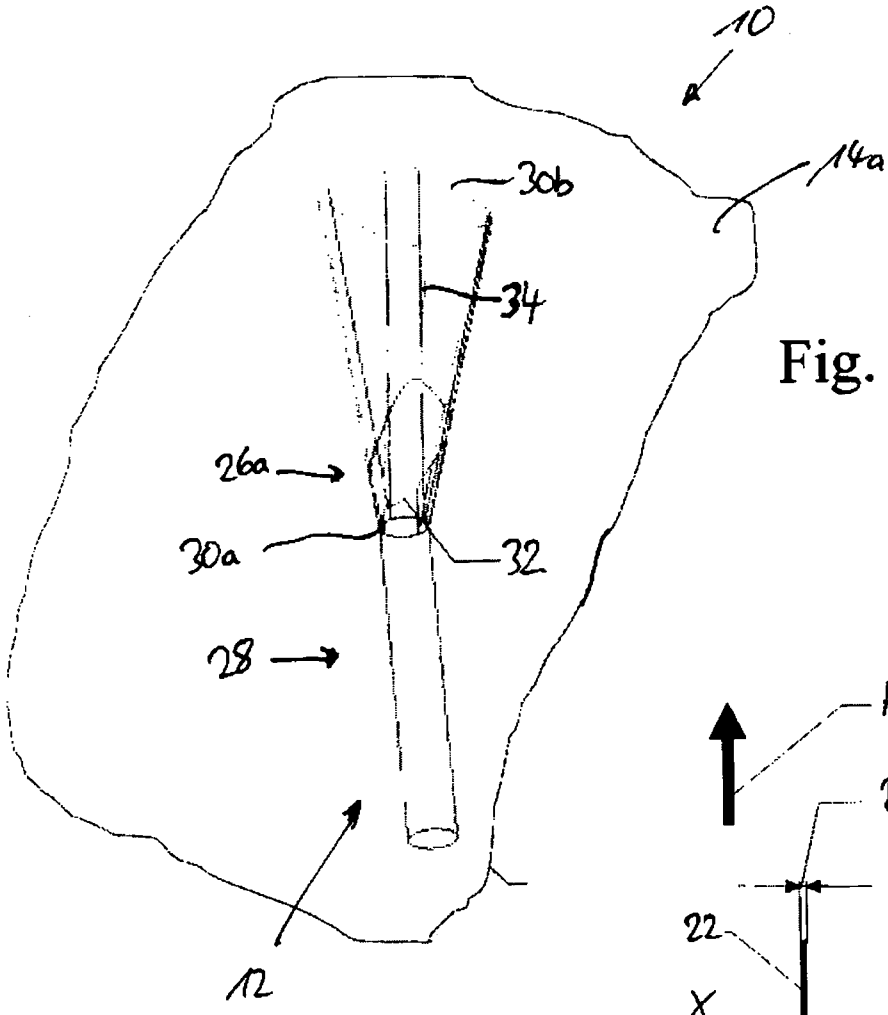

10
14a
30b
34
26a
30a
32
28
12

Fig. 15

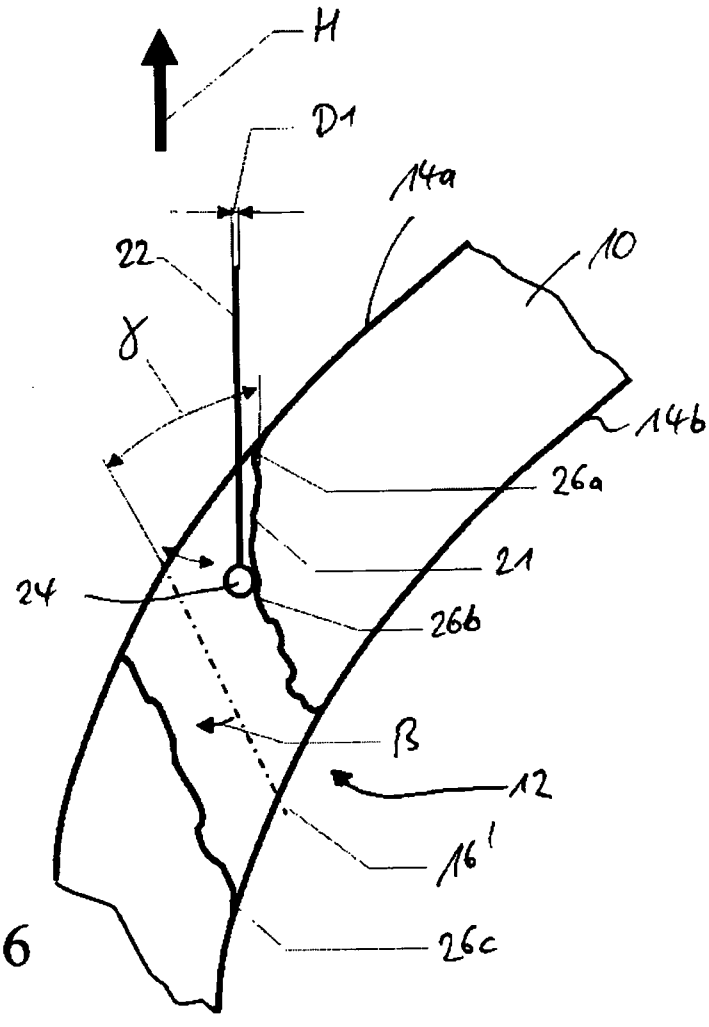

H
D1
14a
22
10
γ
14b
26a
21
24
26b
β
12
16'
26c

Fig. 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2009/001399

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01B5/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 593 928 A (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 9 November 2005 (2005-11-09) abstract paragraph [0003] - paragraph [0009] figure	1-27
X	US 5 010 658 A (GRIFFITH JERRY T [US] ET AL) 30 April 1991 (1991-04-30) abstract column 2, line 64 - column 4, line 58 figures 1-3	1-27
X	WO 2008/067561 A (LAU KAM C [US]) 5 June 2008 (2008-06-05) abstract page 2, line 19 - page 5, line 9 figure 1	1-27

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
2 Februar 2010	12/02/2010

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Kokkonen, Jukka

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/DE2009/001399

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1593928 A	09-11-2005	DE 102004021539 A1	08-12-2005
US 5010658 A	30-04-1991	NONE	
WO 2008067561 A	05-06-2008	US 2009144999 A1	11-06-2009

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2009/001399

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01B5/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 593 928 A (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 9. November 2005 (2005-11-09) Zusammenfassung Absatz [0003] - Absatz [0009] Abbildung	1-27
X	US 5 010 658 A (GRIFFITH JERRY T [US] ET AL) 30. April 1991 (1991-04-30) Zusammenfassung Spalte 2, Zeile 64 - Spalte 4, Zeile 58 Abbildungen 1-3	1-27
X	WO 2008/067561 A (LAU KAM C [US]) 5. Juni 2008 (2008-06-05) Zusammenfassung Seite 2, Zeile 19 - Seite 5, Zeile 9 Abbildung 1	1-27

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
2. Februar 2010	12/02/2010

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Fax: (+31–70) 340–3016	Kokkonen, Jukka

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2009/001399

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1593928	A	09-11-2005	DE 102004021539 A1	08-12-2005
US 5010658	A	30-04-1991	KEINE	
WO 2008067561	A	05-06-2008	US 2009144999 A1	11-06-2009