



(10) **DE 10 2009 015 627 A1** 2010.10.14

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 015 627.5**

(22) Anmeldetag: **02.04.2009**

(43) Offenlegungstag: **14.10.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01B 11/12 (2006.01)**

**G01B 11/08 (2006.01)**

**G01B 11/06 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**SCHOTT AG, 55122 Mainz, DE**

(74) Vertreter:

**Blumbach Zingrebe, 65187 Wiesbaden**

(72) Erfinder:

**Wiedenmann, Hans, 95676 Wiesau, DE; Eisner,  
Armin, 95666 Leonberg, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 198 06 288 A1**

**DE 102 25 488 A1**

**US 2008/01 98 389 A1**

**US 52 89 265 A**

**US 48 59 861 A**

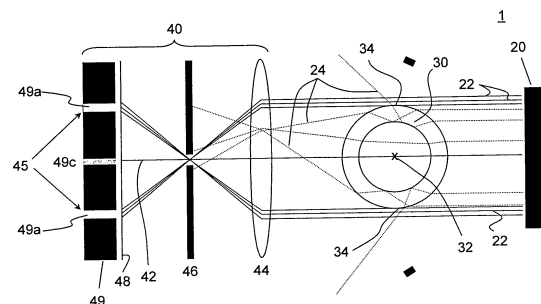
**JP 2004-294 256 AA mit engl. Abstract und  
maschineller Übersetzung**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zu Bestimmung von Innendurchmesser, Außendurchmesser und der Wandstärke von Körpern**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung ermöglicht die gleichzeitige oder alternierende Messung von Außen- und Innendurchmesser von transparenten rotationssymmetrischen Körpern mittels einer telezentrischen Empfangsoptik. Für die Bestimmung des Außendurchmessers wird der zu vermessende Körper mit kollimiertem Licht, für die Bestimmung des Innendurchmessers mit seitlich angeordnetem Linienlicht bestrahlt. Wanddicken des zu vermessenden Körpers können bei gleichzeitiger Messung von Innen- und Außendurchmesser direkt abgelesen werden. Bei alternierender Messung von Innen- und Außendurchmesser können die Wanddicken berechnet werden.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft allgemein das Messen von Innen- und Außendurchmessern, insbesondere von hohlen Körpern, wie etwa Rohren oder Flaschen. Im Besonderen betrifft die Erfindung ein optisches Verfahren und eine Vorrichtung zum gleichzeitigen Messen von Innen- und Außendurchmesser sowie zum Bestimmen von Wanddicken solcher Körper.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik sind optische Messvorrichtungen für transparente rotationssymmetrische Körper bekannt. Die DDR 213 285 beschreibt beispielsweise ein Verfahren zur Messung des Innendurchmessers von transparenten hohlen Erzeugnissen. Das hohle Erzeugnis wird mit Licht einer diffus strahlenden Leuchtfläche bestrahlt, wobei die Leuchtfläche von je einer verstellbaren Abdeckkante parallel zur Erzeugnisachse begrenzt wird. Ein Teil des abgestrahlten Lichts durchdringt die Erzeugniswand und ein anderer Teil wird von der Erzeugniswand reflektiert. Bei zweckmäßigem Abstand der Abdeckkanten ergibt sich – aus der Messrichtung gesehen – im Bereich des Innendurchmessers rechts und links je ein Schattenstreifen. Der Abstand dieser Schattenstreifen stellt eine Kenngröße für den Innendurchmesser des Erzeugnisses dar.

**[0003]** Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass einerseits nur der Innendurchmesser des Erzeugnisses, nicht aber Außendurchmesser und Wanddicke, ermittelt werden können. Andererseits ist für verschiedene Durchmesser der zu vermessenden Erzeugnisse jeweils eine aufwendige Kalibrierung der Messvorrichtung notwendig, da die Abbildung nur eine „Kenngröße“ für den Innendurchmesser darstellt, nicht aber den tatsächlichen Innendurchmesser abbildet. Der tatsächliche Durchmesser muss mittels eines Kalibrierungsfaktors berechnet werden.

**[0004]** Die DD 242 266 A1 offenbart dagegen eine Messeinrichtung, die zur Bestimmung sowohl von Innen- als auch Außendurchmesser und der Wanddicke von durchsichtigen zylindrischen Körpern geeignet ist. Die Hervorhebung der Begrenzungen für den Innen- und Außendurchmesser des Messobjektes als deutliche Hell-Dunkel-Übergänge wird durch eine geeignet geformte und hinsichtlich der Größe der lichtdurchlässigen und der abschattenden Bereiche auf das Messobjekt abgestimmten Blende erreicht, die zwischen Strahlungsquelle und Messobjekt angebracht wird.

**[0005]** Diese Messeinrichtung hat allerdings den Nachteil, dass für verschieden dimensionierte Messobjekte auch verschiedene Blenden eingesetzt werden müssen. Die Messeinrichtung muss jedes Mal neu kalibriert werden, wenn ein anders dimensioniertes Objekt vermessen werden soll.

**[0006]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens zur Verfügung zu stellen, das die gleichzeitige Messung von Innen- und Außendurchmesser sowie der Wanddicke eines transparenten rotationssymmetrischen Körpers ohne aufwendige Kalibrierung bei Formatwechseln ermöglicht. Darüber hinaus soll die Abbildung durch verstärkte Kontrastierung zwischen beleuchteten und unbeleuchteten bzw. weniger beleuchteten Bereichen eine verbesserte Auswertbarkeit ermöglichen.

**[0007]** Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. In den Unteransprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ausgeführt.

**[0008]** Gemäß Erfindung verwendet das optische Verfahren zum Messen von Innen- und Außendurchmesser sowie zur Bestimmung der Wandstärke transparenter, rotationssymmetrischer Körper verschiedene Beleuchtungen in Verbindung mit einer telezentrischen Empfangsoptik bzw. einer telezentrischen Abbildungsoptik zum Abbilden der Innen- und der Außenwandkontur bzw. der Innen- und der Außenkanten des zu vermessenden Körpers sowie eine Auswerteeinheit zur Aufzeichnung der Abbildungen und Verwendung der aufgezeichneten Daten.

**[0009]** Die vorliegende Erfindung ermöglicht die gleichzeitige oder alternierende Messung von Außen- und Innendurchmesser von transparenten rotationssymmetrischen Körpern mittels einer telezentrischen Empfangsoptik. Für die Bestimmung des Außendurchmessers wird der zu vermessende Körper vorzugsweise mit kollimiertem Licht, für die Bestimmung des Innendurchmessers mit seitlich angeordnetem Licht, vorzugsweise Linienlicht, bestrahlt. Unter Linienlicht werden im Rahmen der Erfindung Lichtquellen verstanden, die eine langgestreckte lichtabstrahlende Oberfläche aufweisen. Beispielfhaft werden nebeneinander angeordnete Lichtleitfasern, deren Lichtaustrittsflächen eine Linie bilden, genannt.

**[0010]** Wanddicken des zu vermessenden Körpers können bei gleichzeitiger Messung von Innen- und Außendurchmesser direkt abgelesen werden bzw. aus der Kombination der Signale, d. h. der Abbildungen von Innen- und Außenkonturen bestimmt werden. Bei alternierender Messung von Innen- und Außendurchmesser können die Wanddicken berechnet werden.

**[0011]** Die Außenwandkontur, nachfolgend auch nur Außenkontur genannt, wird mittels kollimierten Lichts abgebildet, während die Innenwandkontur, nachfolgend auch nur Innenkontur genannt, vorzugsweise mittels parallel zur Rotationssymmetrieachse des zu vermessenden Körpers polarisiertem Linien-

lichts abgebildet wird.

**[0012]** Um eine naturgetreue, unverzerrte Abbildung der Konturen des zu vermessenden Körpers zu erreichen, wird vorteilhafter Weise eine telezentrische Empfangsoptik verwendet. Diese telezentrische Empfangsoptik läßt nur paraxiale Strahlen passieren; nicht-paraxial verlaufende Strahlen werden durch eine Blende im Brennpunkt der vorgeschalteten Linse ausgeblendet. Die telezentrische Empfangsoptik bildet also vorteilhafter Weise die Konturen des zu vermessenden Körpers im 1:1-Maßstab ab. Sie bietet damit die Möglichkeit, die tatsächlichen Innen- und Außendurchmesser sowie die tatsächlichen Wanddicken anhand der Abbildung der Konturen zu bestimmen.

**[0013]** Darüber hinaus ist der Maßstab einer telezentrischen Empfangsoptik unempfindlich gegenüber unterschiedlichen Objektabständen. Wird also die erfindungsgemäße Vorrichtung beispielsweise in einen Produktionsprozess eingebunden, kann die Vorrichtung an die bereits vorhandene Geometrie der Produktionsmaschinen angepasst werden. Der Abstand zwischen Beleuchtung, zu vermessendem Körper und telezentrischer Empfangsoptik kann variabel gestaltet werden, ist also nicht durch feste Werte vorgegeben.

**[0014]** Die Außenwandkonturen des zu vermessenden Körpers werden vorteilhafterweise mittels kollimierten Lichts, d. h. parallel verlaufenden Strahlen, die zumindest die Außenkonturen des zu vermessenden Körpers senkrecht zu dessen Rotationssymmetrieachse bestrahlen, bestimmt. Dabei werden Strahlen erzeugt, die seitlich an dem zu vermessenden Körper vorbei direkt durch die telezentrische Empfangsoptik aufgefangen werden.

**[0015]** Das kollimierte Licht strahlt dabei parallel zur optischen Achse der telezentrischen Empfangsoptik und in Richtung der telezentrischen Empfangsoptik, wobei die Rotationssymmetrieachse des zu vermessenden Körpers senkrecht auf der optischen Achse der telezentrischen Empfangsoptik steht. Anders ausgedrückt bedeutet das, dass die Beleuchtung, die kollimiertes Licht erzeugt, so ausgerichtet sein sollte, dass das erzeugte Licht in der telezentrischen Empfangsoptik abgebildet wird. Gleichzeitig sollten zumindest die Außenkanten des zu vermessenden Körpers senkrecht zu seiner Rotationssymmetrieachse innerhalb des von der Beleuchtung bestrahlten Bereichs liegen, so dass seine Außenkonturen in der telezentrischen Empfangsoptik als scharfe Hell-Dunkel-Übergänge abgebildet werden.

**[0016]** Da die telezentrische Empfangsoptik nur paraxial verlaufende Strahlen zur Abbildung zuläßt, werden nur Strahlen, die den zu vermessenden Körper seitlich passieren und Strahlen, die in etwa senk-

recht auf die Oberfläche des zu vermessenden Körpers treffen (d. h. Strahlen, die durch die Rotationssymmetrieachse des Körpers verlaufen oder aber den Körper nahe der Rotationssymmetrieachse durchlaufen) zur Abbildung zugelassen. Es ergibt sich also eine zweidimensionale Abbildung, die einen Schnitt entlang der Rotationssymmetrieachse des Körpers darstellt. Der zu vermessende Körper wird, mit Ausnahme des Bereichs der Rotationssymmetrieachse, dabei als Schatten darstellt, da die den zu vermessenden Körper treffenden kollimierten Strahlen stark gebrochen oder totalreflektiert werden. Sie verlaufen daher zwischen dem Körper und der telezentrischen Empfangsoptik nicht mehr paraxial und kommen somit nicht zur Abbildung. Kollimiertes Licht, das seitlich am zu vermessenden Körper vorbei strahlt wird als beleuchteter Bereich abgebildet. Die in der Abbildung erzeugten Hell-Dunkel-Übergänge oder -Kanten, die diese beleuchteten Bereiche rechts und links von den abgeschatteten Wandungsbereichen trennen, stellen die Außenkonturen des zu vermessenden Körpers dar. Der Abstand zwischen diesen Kanten kann direkt als Außendurchmesser des zu vermessenden Körpers bestimmt werden, da die telezentrische Empfangsoptik keine Maßstabsänderung in der Abbildung bewirkt.

**[0017]** Einzelne Strahlen von Lichtbündeln des Linienschnitts, welches zur Abbildung der Innenkontur des zu vermessenden Körpers verwendet wird, spannen erfindungsgemäß zusammen mit Parallelen der optischen Achse der telezentrischen Empfangsoptik Ebenen auf, die im Wesentlichen senkrecht zur Rotationssymmetrieachse des zu vermessenden Körpers liegen. Nur Strahlen, die in diesen Ebenen verlaufen und im Idealfall im Grenzwinkel der Totalreflexion an den Innenkanten des zu vermessenden Körpers paraxial reflektiert werden, sollen erfindungsgemäß von der Empfangsoptik abgebildet werden. Es werden jedoch auch Strahlen abgebildet, die zwischen dem Brewster-Winkel und dem Grenzwinkel der Totalreflexion einfallen und im Wesentlichen paraxial reflektiert werden. Auch diese Strahlen tragen zur Abbildung in der telezentrischen Empfangsoptik bei.

**[0018]** Die Beschränkung der Abbildung auf Strahlen, die mit einem Winkel zwischen Brewster-Winkel und dem Grenzwinkel der Totalreflexion auf die Innenwand des zu vermessenden Körpers einfallen, ist darin begründet, dass diese Strahlen – bezogen auf den Idealfall des Einfallens im Grenzwinkel der Totalreflexion – paraxial reflektiert werden und die paraxiale reflektierten Strahlen in ihrer rückwärtigen Verlängerung eine zur optischen Achse der telezentrischen Empfangseinheit parallele Tangente mit der Innenkontur des zu vermessenden Körpers bilden. Anders ausgedrückt bilden nur diese Strahlen den tatsächlichen Innendurchmesser des zu vermessenden Körpers ab.

**[0019]** Eine besonders bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass parallel polarisiertes Licht für die Abbildung der Innenkontur verwendet wird. Das verwendete Licht ist dabei parallel zur Rotationsachse des zu vermessenden Körpers oder anders ausgedrückt senkrecht zur Einfallsebene, die durch den Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und der Normalen auf die innere Oberfläche des zu vermessenden Körpers aufgespannt wird, polarisiert. Diese Polarisierung hat zur Folge, dass Lichtstrahlen, die in einem Winkel, der zwischen dem Brewster-Winkel und dem Grenzwinkel der Totalreflexion einfallen, nur in sehr geringem Maße transmittieren, aber sehr stark reflektiert werden. Die im Bereich des Grenzwinkels der Totalreflexion reflektierten Strahlen, die paraxial von der telezentrischen Empfangsoptik aufgefangen werden, sind besonders bevorzugt die Strahlen, die zur Abbildung der Innenkontur beitragen. Die besonders starke Reflexion der parallel polarisierten Strahlen, die zwischen dem Brewster-Winkel und dem Grenzwinkel der Totalreflexion auf die innere Wandung des zu vermessenden Körpers treffen, bewirkt eine hohen Lichtintensität in der Abbildung und damit eine starken Kontrastbildung. Starke Kontraste zwischen beleuchteten und nicht oder schwächer beleuchteten Bereichen der Abbildung ermöglichen wiederum eine sehr genaue Auswertung der Abbildung der Innenkonturen des zu vermessenden Körpers.

**[0020]** In einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist die Linienlicht-Beleuchtung parallel zur Rotationssymmetrieachse des zu vermessenden Körpers angeordnet, so dass in der Abbildung nicht nur ein Punkt die Innenkontur des Körpers markiert, sondern ein Linien- oder Streifenförmiger Bereich erzeugt wird. Dieser streifenförmige Bereich dient der besseren Auswertbarkeit der erzeugten Abbildung.

**[0021]** Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht die Positionierung der Lichtquelle des parallel polarisierten Linienlichts mittels Raytracings vor. Auf Basis der Soll-Wert-Abmessungen des zu vermessenden Körpers kann der Strahlengang durch die telezentrische Empfangsoptik und durch den zu vermessenden Körper hindurch „rückwärts gerechnet“ werden und so die optimale Positionierung des Linienlichts bestimmt werden. Das Positionieren des Linienlichts mittels Raytracing ist insbesondere vorteilhaft, wenn verschiedene Geometrien vermessen werden sollen, die unterschiedliche Positionierungen des Linienlichts erfordern. Die Vorrichtung kann dann, beispielsweise gesteuert durch einen Computer, sehr schnell an die neue Geometrie angepasst werden.

**[0022]** Besonders bevorzugt wird diese Positionierung durch einen Stellmotor vorgenommen, der insbesondere auch computergesteuert sein kann.

**[0023]** Eine besonders bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Linienlicht-Beleuchtung Leuchtmittel umfasst, beispielsweise Lichtleitfasern, die einen gewissen Öffnungswinkel besitzen. Der Öffnungswinkel liegt vorzugsweise zwischen  $30^\circ$  und  $70^\circ$ , besonders bevorzugt zwischen  $55^\circ$  und  $65^\circ$ . Es können auch Leuchtmittel mit unsymmetrischem Öffnungswinkel verwendet werden. Ein gewisser Öffnungswinkel der Leuchtmittel hat den großen Vorteil, dass die Positionierung des Linienlichts mittels Raytracing an der Soll-Geometrie ausgerichtet werden kann. Die Abbildung des tatsächlichen Körpers ist jedoch auch bei starken Abweichungen von der Soll-Geometrie möglich, da durch den Öffnungswinkel der Leuchtmittel trotzdem Strahlen erzeugt werden, die im Grenzwinkel der Totalreflexion reflektiert und paraxial aus dem zu vermessenden Körper austreten. Der Öffnungswinkel erhöht somit die Toleranz des Messverfahrens. Allerdings sollte der Öffnungswinkel auch nicht zu groß gewählt werden, da ansonsten ein großer Anteil der abgestrahlten Lichtintensität nicht für den eigentlichen Messprozess genutzt wird.

**[0024]** Der Unterschied zwischen der vorgegebenen Soll-Geometrie und der tatsächlichen abgebildeten Geometrie kann vorteilhafter Weise als Kriterium für die Qualitätskontrolle – insbesondere auch während des Produktionsprozesses, also inline – der zu vermessenden Körper genutzt werden.

**[0025]** Darüber hinaus sollte bei der Ausrichtung des Linienlichts darauf geachtet werden, dass der horizontale Winkel, zwischen Linienbeleuchtung und optischer Achse der telezentrischen Beleuchtung nicht zu klein wird. Vorzugsweise ist die Linienlicht-Beleuchtung seitlich auf der der telezentrischen Empfangsoptik gegenüberliegenden Hälfte des zu vermessenden Körpers angeordnet, bestrahlt jedoch die der telezentrischen Empfangsoptik zugewandte Hälfte des Körpers. Diese Konstellation stellt sicher, dass Strahlen, die zwar paraxial aus dem zu vermessenden Körper austreten und deshalb in der Empfangsoptik abgebildet werden, aber den Hohlraum passiert haben und damit nicht die Innenkonturen des Körpers anzeigen, vermieden werden. Eine solche Anordnung der Linienlicht-Beleuchtung dient also vorteilhafter Weise der unverfälschten Abbildung der Innenkonturen des Körpers.

**[0026]** Eine erfindungsgemäße Vorrichtung kann vorteilhafter Weise zwei Linienlicht-Beleuchtungen aufweisen, die gegenüberliegende Innenkonturen des zu vermessenden Körpers abbilden. Bei einem solchen Vorrichtungsaufbau kann der Innendurchmesser direkt aus der Abbildung in der telezentrischen Empfangsoptik bestimmt werden. Es ist darüber hinaus jedoch auch möglich, die Vorrichtung mit nur einer Linienlicht-Beleuchtung zu betreiben.

**[0027]** Die Wandstärke oder Wanddicke des zu vermessenden Körpers kann erfindungsgemäß aus den Werten der Abbildungen der Innen- und Außenkonturen ermittelt werden. Werden Innen- und Außenkonturen gleichzeitig abgebildet, können die Wandstärken direkt gemessen werden. Werden Innen- und Außenkontur nacheinander abgebildet, können die Wandstärken berechnet werden. Jede Messung von Innen- und Außenkonturen des zu vermessenden Körpers liefert zwei Wandstärken, nämlich je eine von in etwa gegenüberliegenden Seiten des Körpers.

**[0028]** Eine vorteilhafte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht als Abbildungsfläche einen Zeilensensor vor, der mittels der Auswertereinheit die Auswertung der erzeugten Abbildung ermöglicht.

**[0029]** In noch einer Weiterbildung der Erfindung ist es möglich, den zu vermessenden Körper in gedrehter Stellung durchzumessen. Damit können fehlerhaft bestimmte Innendurchmesser, die durch unrunde Geometrien verursacht werden, durch zusätzliche, an anderen Stellen des Körpers durchgeführte Messungen aufgedeckt werden. Die Rotation des Körpers und die Durchführung von mehreren Messungen kann zusätzlich auch als Qualitätssicherung eingesetzt werden, beispielsweise um konstante Wandstärken des Körpers sicher zu stellen. Damit ist ein Einsatz im Bereich der Prozess- oder Fertigungskontrolle ist möglich. Durch Rückkopplung können, beispielsweise in einem Rohrzug die Ziehparameter zum einen kontrolliert, zum anderen aber auch, wenn nötig, angepasst werden.

**[0030]** Eine besonders bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht die Verwendung von gepulstem Linienlicht für die Abbildung des Innendurchmessers vor. Gepulstes Licht ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn der zu vermessende Körper relativ klein ist, da die Beleuchtung für die Abbildung der Innenkontur die Abbildung der Außenkontur stört. Daher ist für solche Fälle vorgesehen, die Messungen für die Innen- und die Außenkonturen separat nacheinander oder alternierend durchzuführen. Die Außenkontur des Körpers wird dann abgebildet und aufgezeichnet, wenn die Linienlicht-Beleuchtung nicht aktiv ist.

**[0031]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Gleiche und ähnliche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, und die Merkmale verschiedener Ausführungsbeispiele können miteinander kombiniert werden.

**[0032]** Es zeigen:

**[0033]** **Fig. 1** schematische Aufsicht auf die Messanordnung und den Strahlengang für die Messung des

Außendurchmessers,

**[0034]** **Fig. 2** schematische Aufsicht auf die Messanordnung und den Strahlengang für die Messung des Innendurchmessers,

**[0035]** **Fig. 3** schematische Aufsicht auf die Messanordnung und den Strahlengang für die gleichzeitige Messung von Innen- und Außendurchmesser sowie der Wandstärken.

**[0036]** In **Fig. 1** ist eine schematische Aufsicht auf eine Messanordnung **1** zur Bestimmung des Außendurchmessers dargestellt. Der Strahlengang bei der Abbildung des Außendurchmessers des zu vermessenden Körpers **30** ist dargestellt. Die Aufsicht zeigt, dass eine Außenkontur-Lichtquelle **20**, der zu vermessende Körper **30** und eine telezentrische Empfangsoptik **40** entlang der optischen Achse **42** der telezentrischen Empfangsoptik **40** angeordnet sind. Der zu vermessende Körper **30** ist rotationssymmetrisch und steht mit seiner Rotationssymmetrieachse **32** senkrecht auf der optischen Achse **42** der Empfangsoptik **40**.

**[0037]** Die Innenkontur-Lichtquelle **20**, die vorzugsweise kollimiertes Licht auf den zu vermessenden Körper **30** abstrahlt, ist bezüglich ihrer Breite so dimensioniert, dass sie die äußeren Kanten des zu vermessenden Körper **30** erfasst, so dass die Kanten mittels eines Schattenwurfs abgebildet werden können. Zu diesem Zweck können auch mehrere, vorzugsweise zwei, Lichtquellen **20** verwendet werden, die je eine der äußeren Kanten **34** beleuchten.

**[0038]** Die telezentrische Empfangsoptik **40** umfasst eine Linse **44**, ein in der Brennebene angeordnete Lochblende **46** und einen Abbildungsempfänger **48** in doppelter Brennweitenentfernung zur Linse **44**. Der Abbildungsempfänger **48** kann als Zeilensensor ausgebildet sein. Die Blendenöffnung der Lochblende **46** befindet sich im Brennpunkt der Linse **44**.

**[0039]** Zur optischen Achse **42** der Empfangsoptik **40** parallel verlaufende Strahlen **22** der Innenkontur-Lichtquelle **20**, die den zu vermessenden Körper **30** seitlich passieren, werden auf belichteten Bereichen **49a** des Zeilensensors **48** abgebildet. Wie auf der schematischen Darstellung zu sehen ist, kommen im Wesentlichen paraxiale Strahlen **22** zur Abbildung, die seitlich an dem zu vermessenden Körper **30** vorbeilaufen. Sie bilden zwei beleuchtete Bereiche **49a**, deren Ausdehnung von der Ausdehnung und Positionierung der Leuchfläche der Lichtquelle **20** und dem Durchmesser des zu vermessenden Körpers **30** abhängig ist. Die zum zentralen Bereich der Abbildungsfläche weisenden Hell-Dunkel-Übergänge **45** bilden dabei die äußeren Konturen **34** des zu vermessenden Körpers **30** ab. Da telezentrisch abgebildet wird, kann der äußere Durchmesser oder der

Durchmesser der Außenwände direkt durch die Abstandsmessung zwischen diesen beiden Hell-Dunkel-Übergängen **45** ermittelt werden. Vorteilhafter Weise ist keine Fehlerkorrektur notwendig, die bei verzerrender oder nicht maßstabsgetreuer Abbildung durchgeführt werden muss.

**[0040]** Darüber hinaus ist ein weiterer belichteter Bereich **49c** zwischen den beiden abgebildeten Konturen zu erkennen. Dieser Bereich **49c** entsteht durch Lichtstrahlen **22**, die den zu vermessenden Körper **30** senkrecht durch seine Rotationssymmetrieachse **32** ungebrochen durchqueren, sowie durch parallele Strahlen **22**, die den Körper **30** nahe seiner Rotationssymmetrieachse **32** durchqueren und nur wenig gebrochen werden. Diese Strahlen **22** verlaufen auch nach dem Durchqueren des Körpers noch paraxial und in Achsnähe und werden deshalb von der telezentrischen Empfangsoptik **40** zur Abbildung zugelassen. Da sie den zu vermessenden Körper **30** durchstrahlen, ist die Lichtintensität dieser Strahlen jedoch geringer als die der Strahlen, die den zu vermessenden Körper **30** seitlich passieren und abgebildet werden.

**[0041]** Strahlen **24**, die beim Durchstrahlen des zu vermessenden Körpers **30** gebrochen oder auch totalreflektiert werden, verlaufen nach ihrem Austritt nicht mehr paraxial zur optischen Achse **42**. Nicht paraxial verlaufende Strahlen **24**, die in der Abbildung durch gepunktete Linien beispielhaft dargestellt sind, erreichen entweder die telezentrische Empfangsoptik **40** gar nicht oder werden nach Durchtritt durch die Linse oder das Linsensystem **44** mittels der Telezenterblende **46** von der Abbildung auf dem Abbildungsempfänger, hier dem Zeilensensor **48**, ausgeschlossen.

**[0042]** [Fig. 2](#) zeigt eine Messanordnung **2**, die den Strahlengang bei der Messung des Innendurchmessers in schematischer Aufsicht darstellt. Die Beleuchtung der Innenkonturen **36** des zu vermessenden Körpers **30** erfolgt mittels zweier Linienlichtquellen **50**, deren Linienlicht parallel zur Rotationssymmetrieachse **32** ausgerichtet ist. Linienlichtquellen **50** beidseitig des zu vermessenden Körpers **30** ermöglichen die gleichzeitige Abbildung der beiden Innenkonturen **36**. Grundsätzlich kann die Vorrichtung **2** jedoch auch mit nur einer verfahrbaren oder verschiebbaren Linienlichtquelle **50** betrieben werden. In diesem Fall werden dann die Innenkonturen nacheinander gemessen und der Innendurchmesser bzw. die Wandstärken aus den nacheinander gemessenen Werten berechnet.

**[0043]** Die Linienlichtquellen **50** strahlen vorzugsweise polarisiertes Licht **52** ab, das parallel zur Rotationssymmetrieachse **32** bzw. senkrecht zur Einfallsebene polarisiert ist, wobei die Einfallsebene durch den einfallenden Strahl und die Normale dazu aufge-

spannt wird. Polarisiertes Licht ist für die Abbildung der Innenkonturen nicht zwingend erforderlich, erhöht jedoch die Lichtintensität des abbildenden Lichts. Lichtstrahlen **52**, die zwischen Brewster-Winkel **59** und dem Winkel der Totalreflexion **58** auf die Innenwand des zu vermessenden Körpers **30** treffen verlaufen hinter dem Körper **30** paraxial und werden somit von der telezentrischen Empfangsoptik **40** abgebildet.

**[0044]** Die Linienlichtquellen **50** werden so positioniert, dass der paraxiale Strahl, der mit dem Grenzwinkel der Totalreflexion **58** an der Innenwand des zu vermessenden Körpers **30** reflektiert wurde (Strahl **56**), in seiner gedachten rückwärtigen Verlängerung in Richtung auf den zu vermessenden Körper **30** die Innenkontur **36** tangiert. Genau diese Strahlen **56** bilden die Lage der beiden Innenkonturen in der telezentrischen Empfangsoptik ab. Sowohl die rückwärtig als auch die vorwärtig gedachte Verlängerung dieses Strahls **56** ist in [Fig. 2](#) als gestrichelte Linie dargestellt.

**[0045]** Diese geometrische Grundlage wird erfindungsgemäß auch für die computergestützte Positionierung der Linienlichtquellen **50** mittels Raytracings genutzt. Gemäß einer vorgegebenen Soll-Geometrie des zu vermessenden Körpers **30** kann genau der Strahlengang **56** berechnet werden, dessen rückwärtige Verlängerung eine Tangente mit der Innenkontur **36** des zu vermessenden Körpers **30** bildet und an der Innenwand im Grenzwinkel der Totalreflexion **58** reflektiert wird.

**[0046]** Es kommt allerdings nicht nur zur Abbildung dieses bevorzugten Strahlengangs **56**, sondern auch andere paraxiale reflektierte Strahlen **52** werden abgebildet. Diese Strahlen **52** fallen zwischen dem Brewster-Winkel **59** und dem Grenzwinkel der Totalreflexion **58** auf die Innenwand des zu vermessenden Körpers **30** ein. Der Winkelbereich zwischen Brewster-Winkel **59** und dem Grenzwinkel der Totalreflexion **58** ist besonders bevorzugt, weil senkrecht zur Einfallsebene polarisiertes Licht in diesem Winkelbereich besonders stark reflektiert wird. Nur ein geringer Anteil des einfallenden Lichts – in [Fig. 2](#) als gestrichelte Linie **54** dargestellt – transmittiert und kommt nicht zur Abbildung in der Empfangsoptik **40**. Der große Anteil an reflektiertem Licht führt zu einer hohen Lichtintensität bei der Abbildung, die wiederum eine gute Kontrastbildung zwischen beleuchteten und unbeleuchteten bzw. schwächer beleuchteten Bereichen ermöglicht. Gute Kontraste sind wichtig, da sie die exakte Auswertung der Abbildung unterstützen.

**[0047]** Vorteilhafter Weise weist das von den Linienlichtquellen **50** abgestrahlte Licht einen gewissen horizontalen Öffnungswinkel auf. Dieser Öffnungswinkel liegt zwischen  $30^\circ$  und  $70^\circ$ , bevorzugt zwischen

55° und 65°. Grundsätzlich kann auch stark gebündeltes Licht verwendet werden. Licht, das mit einem gewissen Öffnungswinkel abgestrahlt wird, erhöht jedoch die Abbildungstoleranz, da auch wenn keine ideale Geometrie vorliegt und somit das Linienlicht eventuell nicht optimal positioniert ist, trotzdem Lichtstrahlen zur Verfügung stehen, die im Grenzwinkel der Totalreflexion **58** paraxial reflektiert werden können und somit zu einer Abbildung der Innenkontur führen.

**[0048]** Gleichzeitig ermöglicht der Öffnungswinkel auch die Vermessung von Körpern, die aus Material gefertigt sind, deren Brechzahl nicht genau bekannt ist. Eine veränderte Brechzahl führt zu einem veränderten Strahlengang, der jedoch über einen Öffnungswinkel in der Lichtabstrahlung des Linienlichts kompensiert werden kann.

**[0049]** Die Strahlen, die in einem Winkelbereich zwischen Brewster-Winkel **59** und dem Grenzwinkel der Totalreflexion **58** auf die Innenwand des zu vermessenden Körpers **30** einfallen, werden in Form von belichteten Innenkontur-Streifen **49b** abgebildet, deren zum zentralen Teil der Abbildungsfläche **49** zeigenden Hell-Dunkel-Übergänge **47** die Innenkonturen **36** des zu vermessenden Körpers **30** anzeigen. Die Breite der belichteten Streifen wird durch die Winkeldifferenz zwischen Brewster-Winkel **59** und Grenzwinkel der Totalreflexion **58** bestimmt.

**[0050]** [Fig. 3](#) zeigt eine Messanordnung **3**, die eine Kombination der Messanordnungen **1** und **2** darstellt. Damit ist die gleichzeitige Messung von Innen- und Außendurchmesser sowie der Wandstärken möglich. Die Strahlungengänge sind identisch zu denen in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigten Strahlengängen. Die schematisch dargestellte Abbildung **49** zeigt eine Kombination der Hell-Dunkel-Übergänge **45**, **47**, die durch die Abbildung **49a**, **49b** der Außen- und der Innenkonturen **34**, **36** erzeugt werden. Die Abbildung der Innenkonturen **34** liefert breite belichtete Streifen **49b**, die jedoch nur eine mittlere Lichtintensität aufweisen, da es durch mehrfache Brechung und Reflexion am zu vermessenden Körper **30** zu einem Intensitätsverlust kommt. Da die einzelnen Konturen jedoch gegenüber einem nicht belichteten Bereich abzugrenzen sind, ist die etwas geringere Lichtintensität nicht von Belang. Der Kontrast ist ausreichend, um eine exakte Bestimmung der Hell-Dunkel-Übergänge **47** vorzunehmen.

**[0051]** Die Abbildung der Außenkonturen **34** des Körpers **30** fallen jedoch in die durch die Abbildung der Innenkonturen belichteten Bereiche **49b**, deren Lichtintensität jedoch, wie bereits erklärt, etwas vermindert ist. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei den die Außenkonturen **34** abbildenden Lichtstrahlen **22** um Strahlen, die den zu vermessenden Körper **30** seitlich passiert haben und die somit keine Bre-

chungs- oder Reflexionsverluste aufweisen. Die von den Lichtstrahlen **22** erzeugten Abbildungen **49a** weisen folglich eine höhere Lichtintensität auf als die durch die Strahlen **52** und **56** erzeugten Abbildungen **49b**. Dabei muss ein verringerter Kontrast beim Hell-Dunkel-Übergang **45** bewältigt werden. Um dies zu vermeiden, kann die Vermessung der Außen- und Innenkonturen **34**, **36** alternierend durchgeführt werden, vorzugsweise durch die Verwendung von gepulstem Linienlicht **50**. Die Abbildung **45** der Außenkonturen **34** wird dann mittels der Auswerteeinheit **60**, vorzugsweise einem Computer ausgewertet, wenn das Linienlicht **50** nicht aktiv ist und infolge dessen der Hell-Dunkel-Kontrast der Außenkontur-Abbildung **49a** hoch ist.

**[0052]** Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Merkmalskombinationen beschränkt; vielmehr sind die einzelnen Merkmale frei miteinander kombinierbar.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 213285 [\[0002\]](#)
- DD 242266 A1 [\[0004\]](#)



## Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Innen- und Außendurchmesser sowie der Wandstärke transparenter, rotationssymmetrischer Körper (30), **dadurch gekennzeichnet**, dass

– beide Außenkanten (36) des zu vermessenden Körpers (30) mittels einer Außenkontur-Lichtquelle (20) beleuchtet werden und die beiden Innenkanten (34) des zu vermessenden Körpers (30) mittels einer Innenkontur-Lichtquelle (50) beleuchtet werden, wobei es sich um zwei unterschiedliche Lichtquellen handelt, und

– Außen- und Innenkanten (34, 36) mittels einer telezentrischen Empfangsoptik (40) abgebildet werden und

– anhand der Abbildung die tatsächlichen Werte für Innen-, Außendurchmesser sowie die Wandstärke des zu vermessenden Körpers (30) direkt bestimmt werden, wobei

– die Außenkontur-Lichtquelle (20) parallel zur optischen Achse (42) der telezentrischen Empfangsoptik (40) und in Richtung der telezentrischen Empfangsoptik (40) strahlt und die Rotationssymmetrieachse (32) des zu vermessenden Körpers (30) senkrecht auf der optischen Achse der Empfangsoptik (42) steht, und wobei

– die Innenkontur-Lichtquelle (50) und die telezentrische Empfangsoptik (40) so angeordnet sind, dass die Lichtstrahlen der Innenkontur-Lichtquelle (50) zusammen mit Parallelen der optischen Achse (42) der telezentrischen Empfangsoptik (40) Ebenen aufspannen, die senkrecht zur Rotationssymmetrieachse (32) des zu vermessenden Körpers (30) liegen, so dass an den Innenkanten (36) des zu vermessenden Körpers paraxial reflektierte Strahlen (54, 56) von der telezentrischen Empfangsoptik (40) abgebildet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, durch gekennzeichnet, dass die Außenkontur-Lichtquelle (20) kollimiertes Licht abstrahlt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Innenkontur-Lichtquelle (50) eine Linienlichtquelle, insbesondere umfassend Lichtleitfasern, verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenkontur-Lichtquelle (50) parallel zur Rotationssymmetrieachse (32) polarisiertes Linienlicht abstrahlt.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass parallel polarisiertes Linienlicht, das in einem Winkelbereich zwischen Brewster-Winkel (59) und dem Grenzwinkel der Totalreflexion (58) auf die Grenzfläche der Innenwand des zu vermessenden Körpers auftrifft, in der telezentrischen Empfangsoptik (40) abgebildet

wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenkontur-Beleuchtung (50) positioniert wird, umfassend eine Grobpositionierung und/oder eine Feinpositionierung.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionierung der Innenkontur-Beleuchtung (50) mittels Raytracing berechnet wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Leuchtmittel, die das parallel polarisierte Linienlicht erzeugen, Licht mit einem Öffnungswinkel zwischen 30 und 70°, bevorzugt zwischen 55° und 65° abstrahlen.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Innenkontur-Lichtquellen (50) verwendet werden, wobei die beiden Innenkontur-Lichtquellen (50) gegenüberliegende Innenkonturen (36) des Körpers (30) bestrahlen.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die reflektierten und/oder gebrochenen Strahlen (22) zur Abbildung der Außenkonturen und die reflektierten und/oder gebrochenen Strahlen (52, 56) zur Abbildung der Innenkonturen in der telezentrischen Empfangsoptik (40) auf einem Abbildungsempfänger (48), bevorzugt einem Zeilensensor, als Außenkontur-Streifen (49a) und Innenkontur-Streifen (49b) abgebildet werden.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zu vermessende Körper rotiert wird und in unterschiedlichen Drehlagen Messungen für Innen-, Außendurchmesser und Wandstärke durchgeführt werden.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung von Außendurchmesser, Innendurchmesser und der Wandstärke mittels einer Messung durchgeführt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Außenkonturstreifen (49a) und die Innenkontur-Streifen (49b) zum zentralen Teil einer Abbildungsfläche (49) des Abbildungsempfängers (48) weisende Hell-Dunkel-Übergänge (45, 47) aufweisen, die die Außen- beziehungsweise die Innenkonturen (34, 36) des Körpers (30) abbilden aus deren Abstand zueinander Wandstärken für gegenüberliegende Wandbereiche des Körpers (30) berechnet werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–11, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenkontur-Lichtquelle (50) gepulstes Licht abstrahlt, wobei die Bestimmung von Außen- und Innendurchmesser alternierend durchgeführt wird und die Wandstärken aus nacheinander erzeugten Abbildungen (47, 45) und Aufzeichnungen der Innenkonturen (36) und der Außenkonturen (34) berechnet werden.

15. Vorrichtung (3) zum Bestimmen von Innendurchmesser, Außendurchmesser und der Wandstärke transparenter, rotationssymmetrischer Körper (30), dadurch gekennzeichnet, dass

- die Vorrichtung eine Außenkontur-Lichtquelle (20), zumindest eine Innenkontur-Lichtquelle (50), eine telezentrische Empfangsoptik (40) und eine Auswerteeinheit (60) umfasst, wobei
- die Außenkontur-Lichtquelle (20) parallel zur optischen Achse (42) und in Richtung der telezentrischen Empfangsoptik (40) ausgerichtet ist, wobei zumindest die Außenkonturen (34) des Körpers (30) beleuchtet werden, und wobei
- die Rotationssymmetrieachse (32) des zu vermessenden Körpers (30) senkrecht zur optischen Achse (42) der telezentrischen Empfangsoptik (40) ausgerichtet ist, und wobei
- die telezentrische Empfangsoptik (40) und die zumindest eine Innenkontur-Lichtquelle (50) so zueinander angeordnet sind, dass an der Grenzfläche der Innenwandung des Körpers (30) paraxial zur optischen Achse (42) reflektierte Lichtstrahlen (52, 56) in der telezentrischen Empfangsoptik (40) abgebildet und die Abbildungen mittels der Auswerteeinheit (60) aufgezeichnet werden können, wobei
- sich die Wandstärke sich aus der Kombination der Abbildungen der Innen- und Außenkonturen ergibt.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Außenkontur-Lichtquelle (20) dazu eingerichtet ist, kollimiertes Licht abzustrahlen.

17. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenkontur-Lichtquelle (50) eine Linienlichtquelle, vorzugsweise eine Lichtleitfasern umfassende Linienlichtquelle ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenkontur-Lichtquelle (50) dazu eingerichtet ist, parallel zur Rotationssymmetrieachse (32) des zu vermessenden Körpers (30) polarisiertes Licht abzustrahlen.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenkontur-Lichtquelle (50) Leuchtmittel umfasst, die einen Öffnungswinkel zwischen 30 und 70°, bevorzugt zwischen 55° und 65° aufweisen.

20. Vorrichtung nach Anspruch 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine In-

nenkontur-Lichtquelle (50) senkrecht zur Rotationssymmetrieachse (32) des Körpers (30) um den Körper (30) bewegt werden kann, um die zumindest eine Innenkontur-Lichtquelle grob und/oder fein zu positionieren.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung einen Stellmotor umfasst, der die Positionierung der zumindest einen Innenkontur-Lichtquelle (50) erlaubt.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zwei Innenkontur-Lichtquellen (50) umfasst, wobei die beiden Innenkontur-Lichtquellen (50) zur Abbildung der Innenkonturen (36) von gegenüberliegenden Seiten Körpers (30) eingerichtet sind.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die telezentrische Empfangsoptik (40) eine Linse (44), eine im Brennpunkt der Linse angeordnete Lochblende (46) und einen in doppelter Brennweite angeordneten Abbildungsempfänger (48), vorzugsweise einen Zeilensensor, umfasst.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Innenkontur Lichtquelle (50) dazu eingerichtet ist, gepulstes Licht abzustrahlen.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung eine rotierbare Probenhalterung oder einen rotierbaren Probensteller umfasst, in der oder auf dem der Körper (30) gelagert ist.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung in eine Anlage zur kontinuierlichen Fertigung integriert ist, wobei sie zur Qualitätskontrolle dient und/oder Daten für die Prozesskontrolle und/oder für die Prozesssteuerung liefert.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

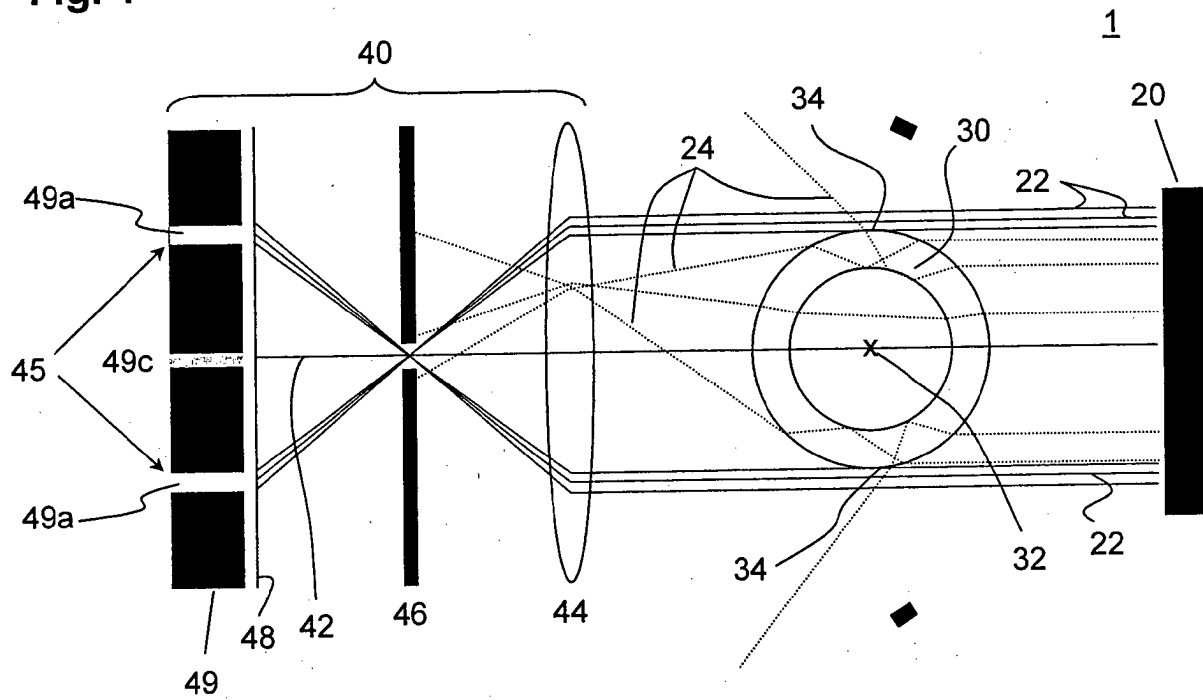


Fig. 2

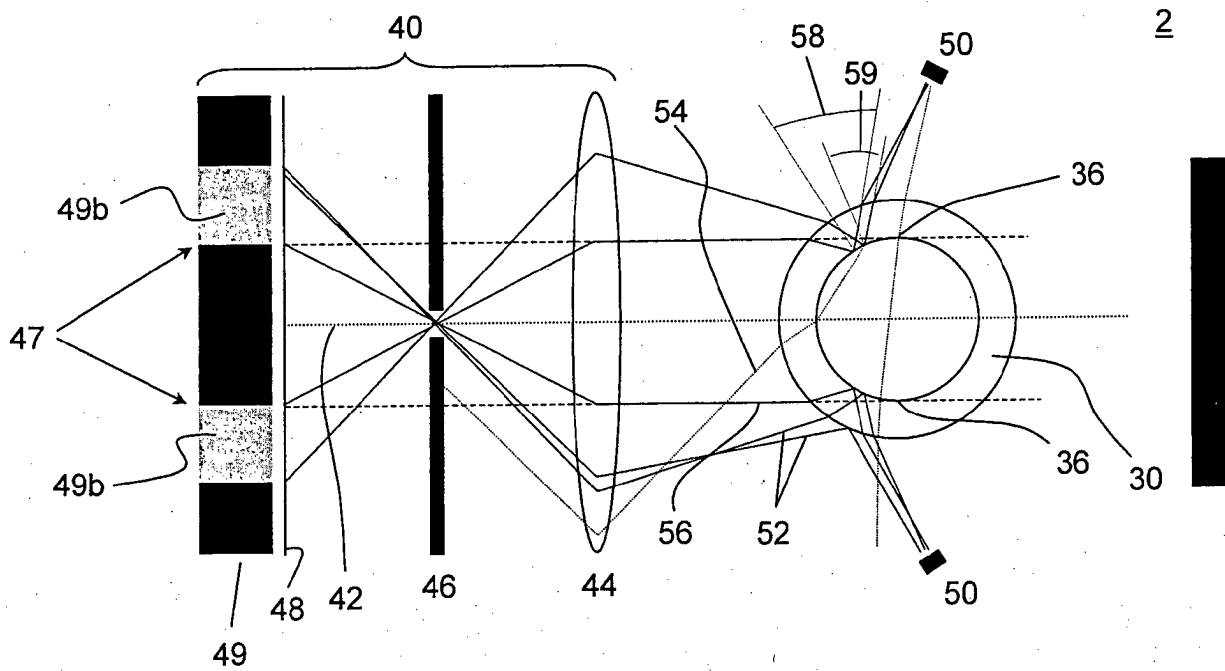


Fig. 3

