



(10) **DE 10 2019 111 557 B4** 2023.02.23

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 111 557.4**  
(22) Anmeldetag: **03.05.2019**  
(43) Offenlegungstag: **05.11.2020**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **23.02.2023**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2006.01)**  
**G01B 11/03 (2006.01)**  
**G02B 7/38 (2021.01)**  
**G02B 27/40 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:  
**Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH, 73447  
Oberkochen, DE**

(74) Vertreter:  
**WITTE, WELLER & PARTNER Patentanwälte mbB,  
70173 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Haverkamp, Nils, 73431 Aalen, DE**

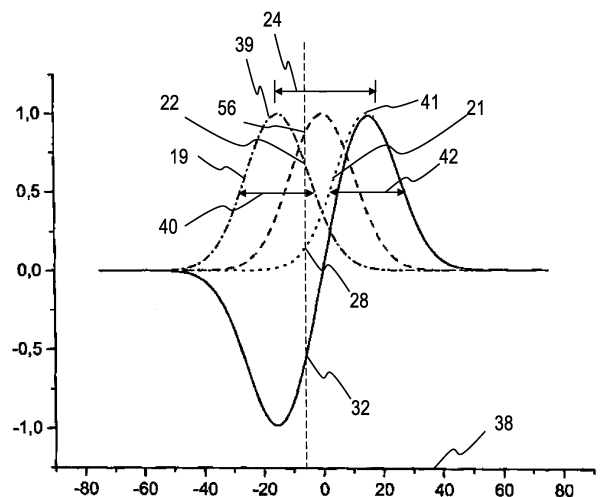
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	31 46 387	A1
DE	10 2011 077 001	A1
US	2004 / 0 146 295	A1
US	4 725 722	A
US	3 883 689	A

(54) Bezeichnung: **Sensor und Verfahren zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften eines Messobjekts**

(57) Hauptanspruch: Sensor zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften eines Messobjekts, das in einem Objektraum (17) angeordnet ist, wobei der Sensor (10) eine optische Anordnung (14) und eine Auswerte- und Steuereinrichtung (16) aufweist, wobei die optische Anordnung (14) einen ersten Detektor (12) aufweist und ein erstes Fokusprofil (19) mit einem ersten Maximum (39) entlang einer ersten Strahlenganglinie (18) in dem Objektraum (17) definiert, wobei die optische Anordnung (14) ein zweites Fokusprofil (21) mit einem zweiten Maximum (41) entlang einer zweiten Strahlenganglinie (25) in dem Objektraum (17) definiert, wobei das erste Fokusprofil (19) und das zweite Fokusprofil (21) koexistierende Fokusprofile sind, wobei die Auswerte- und Steuereinrichtung (16) eingerichtet ist, um aus einem ersten Messwert (22) des ersten Fokusprofils (19) und einen zweiten Messwert (28) des zweiten Fokusprofils (21) eine Fokusregelungseingangsgröße (32) zu bestimmen, wobei der erste Detektor (12) eingerichtet ist, um den ersten Messwert (22) mittels eines von einem Objekt ausgehenden ersten Lichtstrahls (20) zu erfassen, und wobei die optische Anordnung (14) eingerichtet ist, um den ersten Lichtstrahl (20) entlang der ersten Strahlenganglinie (18) von dem Objekt zu dem ersten Detektor (12) zu führen, wobei der erste Detektor (12) ferner eingerichtet ist, um den zweiten Messwert (28) mittels eines von dem Objekt ausgehenden zweiten Lichtstrahls (26) zu erfassen, wobei die optische Anordnung (14) eingerichtet ist, um den zweiten Lichtstrahl (26) entlang der zweiten Strahlenganglinie (25) von dem Objekt zu dem ersten Detektor (12) zu führen, und wobei die optische Anordnung (14) derart eingerichtet ist, dass

eine Objektebene (44) des ersten Lichtstrahls ungleich einer Objektebene (46) des zweiten Lichtstrahls ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Objektebene (44) des ersten Lichtstrahls einen Winkel (48) zu der Objektebene (46) des zweiten Lichtstrahls aufweist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Sensor zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften eines Messobjekts gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

**[0002]** Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften eines Messobjekts gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 13.

**[0003]** Ein solcher Sensor und ein solches Verfahren sind aus US 3 883 689 A bekannt.

**[0004]** Bei abbildenden Systemen stellt sich regelmäßig das Problem des Scharfstellens des Systems auf beispielsweise ein zu vermessendes Werkstück, d.h. der Abstand der Sensorik zum zu vermessenden Werkstück muss so eingestellt werden, dass eine messtechnischen Ansprüchen genügende Abbildungstiefe erreicht wird.

**[0005]** DE 38 28 381 C2 offenbart ein Verfahren und eine Einrichtung zur automatischen Fokussierung eines optischen Systems. Bei dem Verfahren wird ein Suchlauf durchgeführt und ein Fokussiertrieb in einer dem maximalen Bildkontrast entsprechenden Stellung gestoppt. Es wird ein Lichtpunkt oder eine Marke auf die Objekt- oder Deckglasoberfläche projiziert und die Lage oder Form dieses Lichtpunktes oder dieser Marke wird als erstes Fokuskriterium verwendet. Der Fokussiertrieb wird in eine Stellung gesteuert, die dem ersten Fokuskriterium entspricht. Anschließend wird der Suchlauf durchgeführt, wobei der Bildkontrast als zweites Fokuskriterium dient und hierzu das Videosignal eines Bildsensors ausgewertet wird.

**[0006]** DE 10 2016 202 928 A1 offenbart ein Verfahren zum Ermitteln eines Fokus-Bildabstands eines mit einem Objektiv versehenen optischen Sensors eines Koordinatenmessgeräts in Bezug auf die Oberfläche eines zu vermessenden Werkstücks. Der optische Sensor ist relativ zu dem Werkstück in einer Z-Richtung bewegbar, so dass der Abstand in der Z-Richtung zwischen dem Werkstück und dem optischen Sensor veränderbar ist. Das Verfahren weist wenigstens einen der folgenden Schritte auf: einen Bestimmungsschritt, bei dem die Intensität eines ersten mit dem optischen Sensor aufgenommenen Bildes der Oberfläche des zu vermessenden Werkstücks bei einem ersten eingestellten Fokusabstand und die Intensität eines zweiten mit dem optischen Sensor aufgenommenen Bildes der Oberfläche des zu vermessenden Werkstücks bei einem zweiten eingestellten Fokusabstand bewertet werden, um daraus die wahrscheinlichste Lage des besten Fokus in Relation zum ersten eingestellten Fokusabstand und zum zweiten eingestellten Fokusabstand

zu bestimmen; einem Annäherungsschritt, bei dem in der Nähe der wahrscheinlichsten Lage des besten Fokus mindestens drei verschiedene Fokusabstände eingestellt werden und anhand der Intensität der dabei aufgenommenen Bilder die Lage des besten Fokus näherungsweise bestimmt wird.

**[0007]** Nachteilig bei den beiden genannten Verfahren ist, dass zeitaufwändig Bildreihen mit sich ändernden Abständen zum Objekt aufgenommen werden müssen.

Die eingangs genannte US 3 883 689 A offenbart ein Mikroskop zum Betrachten von lebendem Körpergewebe, das sich schnell bewegt, wobei derselbe Bereich im Blickfeld und im Fokus gehalten wird. Ein Fokuserkennungsabschnitt des Systems umfasst zwei Videokameras, auf die das betrachtete Bild projiziert wird, wobei sich eine Kamera leicht vor und die andere leicht hinter der Bildebene befindet. Ein Schärfekennungs Schaltkreis für jede Kamera unterscheidet bestimmte Hochfrequenzkomponenten des Videosignals, detektiert sie und leitet sie durch einen Tiefpassfilter, um ein Gleichstrom-Fokussignal zu erzeugen, dessen Größe den Grad der Schärfe darstellt. Ein Fehlersignal, das der Differenz zwischen den Fokussignalen entspricht, treibt einen Servo an, der das Mikroskopobjektiv so bewegt, dass ein scharfes Bild an eine Bildbetrachtungs-/Aufnahmekamera geliefert wird. DE 31 46 387 A1 offenbart ein Autofokussystem für Fernsehkameras mit einem Haupt-Bildsensor und einem Sub-Bildsensor. DE 10 2011 077 001 A1 offenbart ein Autofokusregelung für ein optisches Inspektionssystem, das zur Inspektion von Objekten vorgesehen ist, mit einem Autofokus-Sensor, der mindestens zwei Sensorfelder aufweist, welche eine zu inspizierende Struktur eines Objektes jeweils mit einem Kontrast abbilden.

US 2004/0146295 A1 offenbart ein System Erkennung von Defekten auf einem Wafer, wobei der sich bewegende Wafer mit einem Laserimpuls so beleuchtet wird, dass während der Bewegung praktisch keine Bildverschmierung auftritt. Das System beinhaltet eine automatische Fokussierung. Ein weiteres kontrastbasiertes Autofokusverfahren ist in US 4 725 722 A offenbart.

**[0008]** Es besteht der Wunsch, einen Sensor bereitzustellen, der bei vergleichsweise geringen Kosten effizient ein großes Spektrum an optischen Messaufgaben ausführen kann. Dementsprechend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen entsprechenden Sensor und ein entsprechendes Verfahren anzugeben.

**[0009]** Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird diese Aufgabe durch einen Sensor nach Anspruch 1 und ein Verfahren nach Anspruch 13 gelöst. Außerdem wird ein Bausatz gemäß Anspruch 12 vorgeschlagen.

**[0010]** Bei der geometrischen Eigenschaft kann es sich beispielsweise um einen Abstand zwischen zwei Merkmalen an dem Messobjekt, die Länge einer Kante, den Durchmesser einer Bohrung oder auch eine komplexe Freiform an der Oberfläche des Messobjekts handeln.

**[0011]** Bei dem Objektraum kann es sich insbesondere um einen Raum außerhalb des Sensors handeln. Der Sensor kann beispielsweise ein Gehäuse aufweisen. Der Objektraum kann beispielsweise ein Raum außerhalb des Gehäuses des Sensors sein. Vorzugsweise befindet sich das Messobjekt in dem Objektraum. Alternativ hierzu kann sich bei Durchführung des Verfahrens auch ein Referenzobjekt in dem Objektraum befinden.

**[0012]** Die optische Anordnung kann innerhalb des Gehäuses angeordnet sein und ein oder mehrere optische Elemente ausgewählt aus einer Gruppe von optischen Elementen aufweisend eine Linse, einen Spiegel, ein Glasplättchen, eine Blende, einen Polarisator, einen Filter, beispielsweise einen Polarisationsfilter, ein Prisma und einen Polarisator aufweisen. Die spezifische Anordnung der optischen Elemente kann mindestens einen Strahlengang, beispielsweise einen ersten Strahlengang und/oder einen zweiten Strahlengang, aufweisen. Der erste Strahlengang und/oder der zweite Strahlengang kann die erste Strahlenganglinie und/oder die zweite Strahlenganglinie aufweisen. Beispielsweise kann ein erster Strahlengang der optischen Anordnung die erste Strahlenganglinie aufweisen und ein zweiter Strahlengang der optischen Anordnung kann die zweite Strahlenganglinie aufweisen. Alternativ hierzu kann der erste Strahlengang sowohl die erste Strahlenganglinie als auch die zweite Strahlenganglinie aufweisen.

**[0013]** Der erste Strahlengang und/oder der zweite Strahlengang kann sowohl eine Menge an Strahlenganglinien, insbesondere die erste Strahlenganglinie und/oder die zweite Strahlenganglinie, als auch die optischen Elemente umfassen, welche die Strahlenganglinien definieren.

**[0014]** Die erste Strahlenganglinie und die zweite Strahlenganglinie können mögliche Verläufe von Lichtstrahlen in der optischen Anordnung repräsentieren, wobei die möglichen Verläufe von Lichtstrahlen in der optischen Anordnung mittels der optischen Anordnung definiert sind. Mittels Lichtstrahlen wird im Rahmen der geometrischen Optik modellhaft eine Ausbreitung von Licht beschrieben. Die Lichtstrahlen können ein Lichtstrahlenbündel bilden, welche als Menge von Strahlenganglinien dargestellt werden können.

**[0015]** Aus der Ausgestaltung der optischen Anordnung können die entsprechenden Strahlengangli-

nien, insbesondere die erste Strahlenganglinie und/oder die zweite Strahlenganglinie, berechnet werden. Die Strahlenganglinien, insbesondere die erste Strahlenganglinie und/oder die zweite Strahlenganglinie, können beispielsweise aus der Ausgestaltung der optischen Anordnung mittels Matrizenoptik bestimmt werden.

**[0016]** Die Strahlenganglinien, insbesondere die erste Strahlenganglinie und/oder die zweite Strahlenganglinie, können insbesondere durch die Ausgestaltung der optischen Anordnung und durch die Eigenschaften des von dem Messobjekt oder einem Referenzobjekt ausgehenden Lichts bestimmbar sein. Alternativ hierzu können die erste Strahlenganglinie und/oder die zweite Strahlenganglinie experimentell bestimmt werden.

**[0017]** Der erste Detektor kann beispielsweise eine Kamera, insbesondere eine Rot-Grün-Blau(RGB)-Kamera, aufweisen. Der erste Detektor kann insbesondere eingerichtet sein, um einen einfallenden Lichtstrahl zu detektieren. Die erste Strahlenganglinie kann beispielsweise dieselben optischen Elemente verbinden wie die zweite Strahlenganglinie. Hierdurch können optische Elemente und somit Kosten eingespart werden. Weiterhin kann der Sensor hierdurch kompakt ausgestaltet werden.

**[0018]** Alternativ hierzu kann die erste Strahlenganglinie zumindest teilweise andere optische Elemente verbinden als die zweite Strahlenganglinie. Beispielsweise kann die erste Strahlenganglinie mindestens ein optisches Element berühren, welches die zweite Strahlenganglinie nicht berührt. Beispielsweise kann auch die zweite Strahlenganglinie mindestens ein optisches Element berühren, welches die erste Strahlenganglinie nicht berührt. Hierdurch kann ein Unterschied zwischen dem ersten Fokusprofil und dem zweiten Fokusprofil erzeugt werden, um die Fokusregelungseingangsgröße ohne Verschieben einer optischen Komponente der optischen Anordnung und/oder des Sensors zu dem Messobjekt zu bestimmen, insbesondere um Kosten einzusparen und eine zeitliche Effizienz zu steigern.

**[0019]** Die optische Anordnung kann derart ausgestaltet sein, dass die erste Strahlenganglinie teilweise identisch zu der zweiten Strahlenganglinie sein kann. Hierdurch können optische Komponenten eingespart und Kosten verringert werden. Alternativ hierzu kann die optische Anordnung derart ausgestaltet sein, dass die erste Strahlenganglinie separat zu der zweiten Strahlenganglinie ausgestaltet ist.

**[0020]** Bei dem ersten Fokusprofil und/oder bei dem zweiten Fokusprofil kann es sich bevorzugt um eine ein-dimensionale Strecke in dem Objektraum handeln. Das erste Fokusprofil und/oder das zweite Fokusprofil können Teil einer Vielzahl an Fokusprofi-

len sein, beispielsweise einer Schar an Fokusprofilen. Die Schar der Fokusprofile kann insbesondere durch die optische Anordnung definiert sein.

**[0021]** Das erste Fokusprofil und/oder das zweite Fokusprofil können beispielsweise ein Fokuskriterium in Abhängigkeit eines Abstands widerspiegeln. Beispielsweise kann das erste Fokusprofil und/oder das zweite Fokusprofil ein Fokuskriterium in Abhängigkeit eines Abstandes zu einem Referenzpunkt, beispielsweise zu einem Teil des Sensors, widerspiegeln.

**[0022]** Beispielsweise kann das erste Fokusprofil ein erstes Fokuskriterium in Abhängigkeit eines Abstands widerspiegeln. Das zweite Fokusprofil kann ein zweites Fokuskriterium in Abhängigkeit eines Abstands widerspiegeln. Das erste Fokuskriterium kann identisch zu dem zweiten Fokuskriterium sein. Alternativ hierzu kann das erste Fokuskriterium sich von dem zweiten Fokuskriterium unterscheiden. Vorteilhafterweise kann mittels des ersten Fokuskriteriums und/oder des zweiten Fokuskriteriums auf einen Abstand von einem Fokuspunkt geschlossen werden. Das erste Fokuskriterium und/oder das zweite Fokuskriterium können beispielsweise Hinweise darauf geben, welcher Anteil an Photonen einer virtuellen Punktlichtquelle an einem jeweiligen Punkt des ersten Fokusprofils oder des zweiten Fokusprofils sich an einem Punkt auf dem ersten Detektor wieder treffen würde.

**[0023]** Das erste Fokuskriterium und/oder das zweite Fokuskriterium kann ausgewählt sein aus einer Gruppe von Fokuskriterien umfassend einen Kontrast, eine Lichtintensität, eine Lichtintensität in Abhängigkeit einer Lichtfrequenz, und einer Bildschärfe. Die genannten Fokuskriterien können vorteilhafterweise ohne zusätzliche optische Komponenten in dem Sensor bestimmt werden, beispielsweise mittels einer optischen Abbildung und einer Auswertung der optischen Abbildung mittels der Auswerte- und Steuereinrichtung.

**[0024]** Bei dem ersten Fokusprofil kann es sich beispielsweise um ein erstes Fokuskriterium in Abhängigkeit von einer senkrechten Projektion auf eine optische Achse handeln. Bei dem zweiten Fokusprofil kann es sich beispielsweise um ein zweites Fokuskriterium in Abhängigkeit von einer senkrechten Projektion auf eine optische Achse handeln. Hierdurch können beispielsweise innerhalb des dreidimensionalen Objektraums zwei eindimensionale Fokusprofile zur Bestimmung der Fokusregelungseingangsgröße definiert werden.

**[0025]** Das erste Fokusprofil und/oder das zweite Fokusprofil können insbesondere durch optische Elemente der optischen Anordnung definiert sein. Das erste Fokusprofil kann bevorzugt unterschied-

lich zu dem zweiten Fokusprofil ausgestaltet sein. Beispielsweise kann das erste Fokusprofil räumlich verschoben zu dem zweiten Fokusprofil sein. Hierdurch kann die Fokusregelungseingangsgröße ohne eine räumliche Verschiebung eines optischen Elements und/oder des Sensors relativ zu dem Messobjekt bestimmt werden.

**[0026]** Die erste Strahlenganglinie und/oder die zweite Strahlenganglinie können zumindest teilweise innerhalb des Gehäuses angeordnet sein und mindestens teilweise in dem Objektraum. Bevorzugt können die optischen Elemente der optischen Anordnung innerhalb des Gehäuses angeordnet sein. Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um durch Bestimmung eines Fokuskriteriums, beispielsweise des ersten Fokuskriteriums und/oder des zweiten Fokuskriteriums, den ersten Messwert des ersten Fokusprofils und den zweiten Messwert des zweiten Fokusprofils zu erfassen.

**[0027]** Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um als ersten Messwert des ersten Fokusprofils einen ersten Kontrastwert zu erfassen. Weiterhin kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um einen zweiten Kontrastwert als zweiten Messwert des zweiten Fokusprofils zu erfassen. Ein Kontrastwert kann sich als Fokuskriterium eignen, da es einfach zu bestimmen ist. Der Kontrastwert kann beispielsweise durch einen Helligkeitsvergleich zweier benachbarter Punkte einer Abbildung bestimmt werden, wobei die Abbildung mittels des Sensors bestimmt werden kann. Hierzu sind vorteilhafterweise keine zusätzlichen optischen Komponenten der optischen Anordnung notwendig.

**[0028]** Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um mittels einer mathematischen Operation aus dem ersten Messwert und aus dem zweiten Messwert die Fokusregelungseingangsgröße zu bestimmen. Die mathematische Operation kann bevorzugt derart sein, dass mit ihr sowohl auf einen Betrag der Fokusregelungseingangsgröße als auch auf ein Vorzeichen der Abstandsregelungseingangsgröße geschlossen werden kann.

**[0029]** Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um aus dem ersten Messwert und aus dem zweiten Messwert einen Abstand zwischen einem Objektpunkt in dem Objektraum und einem Referenzpunkt, beispielsweise einem Teil des Sensors, zu bestimmen. Hiermit kann beispielsweise eine notwendige Veränderung der optischen Anordnung und/oder eine Abstandsänderung zwischen dem Sensor und dem Messobjekt bestimmt werden, um beispielsweise eine scharfe Abbildung des Messobjekts zu erhalten.

**[0030]** Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um aus dem ersten Messwert und aus dem zweiten Messwert und aus einer hinterlegten Kalibration die Fokusregelungseingangsgröße zu bestimmen. Hiermit kann ein Autofokusverfahren preiswert durchführbar sein.

**[0031]** Das erste Fokusprofil und das zweite Fokusprofil können koexistierende Fokusprofile aus einer Schar koexistierender Fokusprofile sein. Sowohl das erste Fokusprofil als auch das zweite Fokusprofil können zum Zeitpunkt der Erfassung des ersten Messwerts identisch zu dem ersten Fokusprofil und dem zweiten Fokusprofil zum Zeitpunkt der Erfassung des zweiten Messwerts sein. Beispielsweise kann die optische Erfassung des ersten Messwerts und des zweiten Messwerts konstant gehalten werden. Beispielsweise kann während einer Zeitspanne, innerhalb welcher sowohl der erste Messwert und der zweite Messwert erfasst werden, die optische Anordnung konstant gehalten werden. Während der Erfassung des ersten Messwerts kann bevorzugt das erste Fokusprofil und das zweite Fokusprofil existieren. Weiterhin kann während der Erfassung des zweiten Messwerts das erste Fokusprofil und das zweite Fokusprofil existieren. Hierdurch kann beispielsweise auf einen Motor zu einer zeitlichen Variation der optischen Anordnung und somit zu einer zeitlichen Variation eines Fokusprofils verzichtet werden. Hierdurch können sowohl Herstellungskosten als auch Betriebskosten eingespart werden. Da Motoren üblicherweise verschleißanfällig sind, kann hierdurch eine Zuverlässigkeit des Sensors erhöht werden.

**[0032]** Die erste Strahlenganglinie kann bevorzugt ungleich der zweiten Strahlenganglinie sein. Beispielsweise kann die erste Strahlenganglinie von einem anderen Objektpunkt in dem Objektraum ausgehen als die zweite Strahlenganglinie. Hierdurch kann die Fokusregelungseingangsgröße beispielsweise ohne eine zeitliche Veränderung der optischen Anordnung bestimmt werden und auf einen Motor verzichtet werden, was zu einer Kosteneinsparung und einer Robustheit des Sensors führen kann.

**[0033]** Beispielsweise kann zur Erfassung des ersten Messwerts und/oder zur Erfassung des zweiten Messwerts eine Lichtquelle verwendet werden, beispielsweise eine chromatische Lichtquelle. Bevorzugt ist zur Erfassung des ersten Messwerts und/oder zur Erfassung des zweiten Messwerts keine Lichtquelle notwendig. Insbesondere kann die Erfassung des ersten Messwerts und/oder die Erfassung des zweiten Messwerts ohne Verwendung einer Lichtquelle, insbesondere ohne Verwendung einer in den Sensor integrierten Lichtquelle, durchgeführt werden. Durch einen Verzicht auf eine Lichtquelle, insbesondere auf eine in den Sensor integrierten

Lichtquelle, können Kosten eingespart und/oder eine Robustheit des Sensors erhöht werden.

**[0034]** Der Sensor kann insbesondere eingerichtet sein, um effizient und kostengünstig die Fokusregelungseingangsgröße zu bestimmen.

**[0035]** Die Fokusregelungseingangsgröße kann insbesondere Hinweise zu einer Fokussierung eines Abbildungssystems liefern. Die Fokusregelungseingangsgröße kann dazu dienen, die optische Anordnung oder eine optische Anordnung eines separaten Abbildungssystems derart zu justieren, dass sich Lichtstrahlen ausgehend von einem Messpunkt eines Messobjekts an einem Punkt des ersten Detektors oder des Detektors des separaten Systems treffen. Die Fokusregelungseingangsgröße kann insbesondere zur Durchführung eines Autofokus-Verfahrens dienen. Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um mittels der Fokusregelungseingangsgröße eine Abbildung scharf zu stellen, vorzugsweise mittels lediglich einer Änderung eines Abstands. Beispielsweise kann die Fokusregelungseingangsgröße erfasst werden ohne die optische Anordnung zu verändern. Insbesondere kann die Fokusregelungseingangsgröße bestimmt werden, ohne einen Motor zu verwenden.

**[0036]** Die Auswerte- und Steuereinrichtung kann ausgestaltet sein, um mittels einer Differenzbildung aus dem ersten Messwert und aus dem zweiten Messwert die Fokusregelungseingangsgröße zu bestimmen. Besonders bevorzugt kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um den ersten Messwert von dem zweiten Messwert abzuziehen oder den zweiten Messwert von dem ersten Messwert abzuziehen. Durch Bestimmung der Fokusregelungseingangsgröße mittels einer Differenzbildung kann aus dem ersten Messwert und aus dem zweiten Messwert insbesondere ein Punkt einer asymmetrischen Funktion bestimmt werden. Aus dem Punkt der asymmetrischen Funktion kann bevorzugt sowohl auf einen Betrag der Fokusregelungseingangsgröße als auch auf ein Vorzeichen der Fokusregelungseingangsgröße geschlossen werden. Beispielsweise kann die Fokusregelungseingangsgröße sowohl einen Abstand von einer Fokusebene angeben als auch die Richtung des Abstands.

**[0037]** Alternativ oder zusätzlich hierzu kann die Auswerte- und Steuereinrichtung ausgestaltet sein, um aus dem ersten Messwert und einem dritten Messwert oder aus dem zweiten Messwert und einem dritten Messwert die Fokusregelungseingangsgröße oder eine weitere Fokusregelungseingangsgröße zu bestimmen. Beispielsweise kann die optische Anordnung ein drittes Fokusprofil mit einem dritten Maximum entlang einer dritten Strahlengang-

linie in dem Objektraum definieren. Die dritte Strahlenganglinie kann Teil eines dritten Strahlengangs der optischen Anordnung sein. Die Auswerte- und Steuereinrichtung kann eingerichtet sein, um einen dritten Messwert des dritten Fokusprofils zu erfassen. Hierdurch kann beispielsweise die Fokusregelungseingangsgröße abgeglichen oder präzisiert werden, beispielsweise durch eine Mittelwertbildung aus der Fokusregelungseingangsgröße und der weiteren Fokusregelungseingangsgröße.

**[0038]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung sollen die Ausdrücke „erste“, „zweite“ und „dritte“ als Bezeichnungen verstanden werden, ohne einen Hinweis auf eine Reihenfolge oder einen Hinweis darauf, ob noch weitere der genannten Elemente existieren.

**[0039]** Die optische Anordnung kann beispielsweise einen Abbildungsstrahlengang aufweisen. Der Abbildungsstrahlengang kann beispielsweise eine Hauptoptik der optischen Anordnung bilden. Der Abbildungsstrahlengang kann insbesondere eingerichtet sein, um Abbildungen, insbesondere hochauflösende Abbildungen, zu erzeugen. Der Abbildungsstrahlengang kann beispielsweise eingerichtet sein, um mittels des ersten Detektors Abbildungen, insbesondere hochauflösende Abbildungen, zu erzeugen. Alternativ hierzu kann der Abbildungsstrahlengang eingerichtet sein, um mittels eines Abbildungsdetektors Abbildungen, insbesondere hochauflösende Abbildungen, zu erzeugen. Beispielsweise kann der Abbildungsdetektor unabhängig von dem ersten Detektor ausgestaltet sein. Der Sensor kann beispielsweise ein Zusatzgerät für eine Kamera mit dem Abbildungsdetektor sein.

**[0040]** Der Abbildungsstrahlengang kann vorzugsweise telezentrisch ausgebildet sein. Hierdurch kann insbesondere ein Einfluss etwaiger Defokussierungen auf ein Messergebnis minimiert werden, bei welchen eine Lateralausdehnung des Messobjekts mittels der Abbildung ermittelt und/oder ausgewertet werden soll.

**[0041]** Die optische Anordnung kann eine Vorrichtung zur Fokusveränderung aufweisen. Insbesondere kann der Abbildungsstrahlengang die Vorrichtung zur Fokusveränderung aufweisen. Der Abbildungsstrahlengang kann insbesondere eine Vorrichtung zur Fokusveränderung aufweisen. Die Vorrichtung zur Fokusveränderung kann beispielsweise einen Motor aufweisen, insbesondere einen Motor zur Translation eines optischen Elements, beispielsweise einen Motor zur Translation einer Linse.

**[0042]** Die Auswerte- und Steuereinrichtung kann ausgebildet sein, um mittels der Fokusregelungseingangsgröße den Abbildungsstrahlengang hinsichtlich des Messobjekts scharf zu stellen, beispielsweise mittels der Vorrichtung zur

Fokusveränderung. Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung ausgebildet sein, um die Vorrichtung zur Fokusveränderung mit der Fokusregelungseingangsgröße zu beaufschlagen, insbesondere als Signal zur Durchführung einer Translation, beispielsweise einer Translation einer Linse.

**[0043]** Die optische Achse kann eine Achse sein, welcher ein Abbildungslichtstrahl bei einer scharfen Abbildung folgt.

**[0044]** Die optische Anordnung kann derart ausgebildet sein, dass mittels Untersuchung der ersten Strahlenganglinie und/oder der zweiten Strahlenganglinie ein Abstand zu dem Messobjekt, beispielsweise von einem Teil des Sensors zu dem Messobjekt, ermittelt werden kann.

**[0045]** Der Sensor kann insbesondere eingerichtet sein, um die Fokusregelungseingangsgröße ohne eine relative Verschiebung eines Elements relativ zu einem Objektpunkt in dem Objektraum, beispielsweise zu einem Messobjekt, zu bestimmen. Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um die Fokusregelungseingangsgröße lediglich mittels des ersten Messwerts und des zweiten Messwerts zu bestimmen. Zur Bestimmung der Fokusregelungseingangsgröße ist bevorzugt neben dem ersten Messwert und dem zweiten Messwert kein weiterer Messwert notwendig. Hierdurch kann eine Fokussierung eines Messobjekts innerhalb kurzer Zeit erfolgen, insbesondere durch lediglich einen Translationsschritt.

**[0046]** Die Auswerte- und Steuereinrichtung kann mindestens eine hinterlegte Kalibration aufweisen, um mittels des ersten Messwerts und des zweiten Messwerts, insbesondere mittels einer Differenz aus dem ersten Messwert und dem zweiten Messwert, auf die Fokusregelungseingangsgröße zu schließen. Die Fokusregelungseingangsgröße kann bevorzugt einen Wert für eine Translation als auch eine Richtung für eine Translation aufweisen. Der Sensor kann beispielsweise eingerichtet sein, um die Translation mittels der Vorrichtung zur Fokusveränderung durchzuführen. Die Vorrichtung zur Fokusveränderung kann insbesondere ausgestaltet sein, um ein Fokusprofil des Abbildungsstrahlengangs zu verändern, insbesondere derart, dass das Messobjekt scharf abgebildet werden kann.

**[0047]** Der Sensor kann insbesondere ausgestaltet sein, um lediglich einen Motor zur Veränderung des Abbildungsstrahlengangs zu benötigen, aber keinen Motor zur Bestimmung der Fokusregelungseingangsgröße. Bevorzugt kann der Sensor lediglich eine Vorrichtung zur Verschiebung eines Elements des Abbildungsstrahlengangs aufweisen, nicht

jedoch eine Vorrichtung zur Verschiebung eines Elements, welches von der ersten Strahlenganglinie und/oder von der zweiten Strahlenganglinie berührt wird. Beispielsweise kann der Sensor ohne Motor ausgestaltet sein und lediglich ein separat ausgestaltetes Abbildungssystem mit dem Abbildungsstrahlengang kann einen Motor zur Fokussierung aufweisen.

**[0048]** Die Fokusregelungseingangsgröße kann beispielsweise einen Abstand zu einem Ursprung eines Koordinatensystems darstellen, wobei der Ursprung des Koordinatensystems einen Fokuspunkt des Abbildungsstrahlengangs darstellt. Bevorzugt kann die Fokusregelungseingangsgröße nicht nur einen Betrag sondern auch eine Richtung zum Erreichen eines Regelziels beinhalten. Bei dem Regelziel kann es sich um eine Anordnung der optischen Anordnung handeln, bei welcher das Messobjekt scharf mittels des Abbildungsstrahlengangs abgebildet werden kann, beispielsweise mittels des ersten Detektors oder mittels des Abbildungsdetektors. Die Fokusregelungseingangsgröße kann beispielsweise ein Funktionswert einer asymmetrischen Funktion, insbesondere einer asymmetrischen Funktion in Abhängigkeit zu einem Abstand, darstellen. Der Funktionswert der asymmetrischen Funktion kann insbesondere durch eine Differenzbildung aus dem ersten Messwert und dem zweiten Messwert generiert werden.

**[0049]** Bei dem Regelziel kann es sich insbesondere um einen Nulldurchgang der asymmetrischen Funktion handeln. Bevorzugt kann die asymmetrische Funktion den Nulldurchgang an einem Punkt eines maximalen Fokuskriteriums des Abbildungsstrahlengangs aufweisen. Die asymmetrische Funktion kann bevorzugt in der Nähe des Regelziels eine maximale Steigung aufweisen, beispielsweise um Abweichungen von dem Regelziel mit größtmöglicher Sensitivität festzustellen. Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um aus dem ersten Messwert und aus dem zweiten Messwert ohne Durchführung einer Translation sowohl auf eine Richtung als auch auf einen Betrag zum Erreichen des Regelziels, insbesondere zur benötigten Fokusverschiebung in dem Abbildungsstrahlengang, zu schließen.

**[0050]** Bevorzugt kann der Sensor ausgestaltet sein, um den Abbildungsstrahlengang hinsichtlich des Messobjekts lediglich mit einer einzigen Fokusregelungseingangsgröße, bestimmt lediglich aus dem ersten Messwert und dem zweiten Messwert, in einem Schritt scharf zu stellen. Bevorzugt kann die Vorrichtung zur Fokusveränderung eingerichtet sein, um mit einem einzigen Schritt den Abbildungsstrahlengang hinsichtlich des Messobjekts scharf zu stellen.

**[0051]** Beispielsweise kann die optische Anordnung derart ausgestaltet sein, dass ein Fangbereich und eine Steilheit der asymmetrischen Funktion auf jeweilige Messbedingungen optimiert ist oder optimierbar ist. Ein großer Fangbereich geht hierbei mit großen initialen Abständen zu dem Fokus einher, welche mittels des Verfahrens eliminiert werden können. Die Steilheit korrespondiert mit einer Genauigkeit mit welcher der Fokus eingestellt werden kann, insbesondere mittels nur eines einzigen Translationsschritts.

**[0052]** Das erste Fokusprofil und/oder das zweite Fokusprofil können beispielsweise mittels einer Ausgestaltung der optischen Anordnung hinsichtlich des Fangbereichs und einer Genauigkeit der Scharfstellung des Abbildungsstrahlengangs optimiert sein oder optimierbar sein. Eine Optimierung der optischen Anordnung hinsichtlich einer geeigneteren asymmetrischen Funktion kann beispielsweise durch eine Variation eines Abstands zweier optischer Elemente zueinander erzielt werden und/oder durch eine Änderung einer Tiefenschärfe und/oder einer Änderung einer numerischen Apertur, beispielsweise durch verstellbare Blenden, und/oder durch eine Änderung des Fokuskriteriums, beispielsweise des ersten Fokuskriteriums und/oder des zweiten Fokuskriteriums. Die Optimierung kann beispielsweise bei der Herstellung erfolgen oder im Betrieb, beispielsweise anwendungsbezogen.

**[0053]** Eine Optimierung der optischen Anordnung hinsichtlich eines Fangbereichs und/oder einer Genauigkeit einer Scharfstellung des Abbildungsstrahlengangs hinsichtlich des Messobjekts kann beispielsweise einen Hardware-Ansatz und/oder einen Software-Ansatz aufweisen. Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um eine Optimierung hinsichtlich des Fangbereichs und/oder der Genauigkeit softwareseitig durchzuführen, beispielsweise durch Variation der mathematischen Operation zur Bestimmung der Fokusregelungseingangsgröße. Beispielsweise kann die optische Anordnung derart optimierbar sein, dass das erste Fokusprofil und/oder das zweite Fokusprofil zur Optimierung eines Fangbereichs und/oder einer Messgenauigkeit zum Erreichen des Regelziels variiert werden kann, insbesondere softwareseitig und/oder hardwareseitig.

**[0054]** Eine Vergrößerung des Fangbereichs kann beispielsweise mit einer Verringerung einer Genauigkeit einhergehen, beispielsweise bei Erhöhung einer Entfernung einer Fokusebene des ersten Fokusprofils zu einer Fokusebene des zweiten Fokusprofils.

**[0055]** Die erste Strahlenganglinie kann zumindest teilweise Teil des Abbildungsstrahlengangs sein. Insbesondere kann die erste Strahlenganglinie und/oder die zweite Strahlenganglinie zumindest teilweise

identisch zu einer Strahlenganglinie des Abbildungsstrahlengangs sein. Alternativ oder zusätzlich kann die zweite Strahlenganglinie zumindest teilweise identisch zu einer Strahlenganglinie des Abbildungsstrahlengangs sein. Beispielsweise kann die erste Strahlenganglinie und/oder die zweite Strahlenganglinie vollständig identisch zu einer Strahlenganglinie des Abbildungsstrahlengangs sein. Beispielsweise kann die erste Strahlenganglinie teilweise identisch zu der zweiten Strahlenganglinie sein. Durch die genannten Maßnahmen können beispielsweise Herstellungskosten und/oder Bauraum und/oder Gewicht reduziert werden.

**[0056]** Die optische Anordnung kann derart eingerichtet sein, dass das erste Maximum eine erste Halbwertsbreite aufweist und dass das zweite Maximum eine zweite Halbwertsbreite aufweist. Bei Darstellung des ersten Fokusprofils und des zweiten Fokusprofils in Abhängigkeit von einer senkrechten Projektion auf eine Achse kann eine Distanz zwischen dem ersten Maximum und dem zweiten Maximum ein 0,1- bis 4-faches, bevorzugt ein 0,5- bis 2,5-faches, besonders bevorzugt ein 1,0- bis 1,7-faches des Mittelwerts der ersten Halbwertsbreite und der zweiten Halbwertsbreite betragen. Hierdurch kann bevorzugt sowohl ein sinnvoller Fangbereich als auch eine sinnvolle Genauigkeit erzielt werden.

**[0057]** Bei der Achse kann es sich beispielsweise um eine optische Achse, vorzugsweise um die optische Achse des Abbildungsstrahlengangs, handeln. Der Abstand zwischen dem ersten Maximum und dem zweiten Maximum kann beispielsweise mittels einer Veränderung der optischen Anordnung und/oder mittels einer softwareseitigen Veränderung der Auswerte- und Steuereinrichtung erzielt werden. Die erste Halbwertsbreite und/oder die zweite Halbwertsbreite und/oder der Abstand zwischen dem ersten Maximum und dem zweiten Maximum können beispielsweise mittels Variation einer Brennweite einer oder mehrerer Linsen der optischen Anordnung variiert werden. Zu einer Verkleinerung der ersten Halbwertsbreite kann eine Verkleinerung einer Brennweite einer Linse der optischen Anordnung entlang der ersten Strahlenganglinie, beispielsweise der letzten Linse vor dem Messobjekt entlang der ersten Strahlenganglinie, durchgeführt werden. Zu einer Verkleinerung der zweiten Halbwertsbreite kann eine Verkleinerung einer Brennweite einer Linse der optischen Anordnung entlang der zweiten Strahlenganglinie, beispielsweise der letzten Linse vor dem Messobjekt entlang der zweiten Strahlenganglinie, durchgeführt werden.

**[0058]** Der Ursprung der asymmetrischen Funktion kann bevorzugt die beste Fokus-Lage des Abbildungsstrahlengangs abbilden. Ein Abstand zwischen dem ersten Maximum und dem zweiten Maximum kann insbesondere dem Fangbereich entsprechen.

Ein großer Abstand zwischen dem ersten Maximum und dem zweiten Maximum kann mit einem großen Fangbereich zur Erreichung des Regelziels korrelieren. Ein großer Abstand zwischen dem ersten Maximum und dem zweiten Maximum kann mit einer geringen Steilheit der asymmetrischen Funktion um den Ursprung korrelieren, und somit mit einer geringen Genauigkeit des Erreichens des Regelziels. Die Regelung des Regelziels kann insbesondere mittels eines einzigen Schritts ausführbar sein.

**[0059]** Die genannten beispielhaften und bevorzugten Abstände zwischen dem ersten Maximum und dem zweiten Maximum können insbesondere ein Verhältnis des Fangbereichs zu einer Genauigkeit optimieren.

**[0060]** Bei dem Verfahren kann der Sensor bevorzugt derart angeordnet sein, dass sich das Messobjekt oder ein Referenzobjekt in einer zu der Achse senkrechten Ebene zwischen dem ersten Maximum und dem zweiten Maximum befindet. Hierdurch kann insbesondere gewährleistet werden, dass sich das Messobjekt und/oder das Referenzobjekt in dem Fangbereich befinden.

**[0061]** Bei dem Objekt kann es sich beispielsweise um das Messobjekt handeln. Alternativ hierzu kann es sich bei dem Objekt um ein Referenzobjekt handeln.

**[0062]** Bei dem ersten Lichtstrahl und/oder bei dem zweiten Lichtstrahl kann es sich beispielsweise um Licht der Umgebung handeln, welches an dem Messobjekt oder an dem Referenzobjekt gestreut wird, insbesondere in Richtung zu dem ersten Detektor. Hierdurch kann beispielsweise eine Lichtquelle in dem Sensor eingespart werden und somit Kosten und/oder Gewicht und/oder Bauraum eingespart werden und/oder eine Haltbarkeit des Sensors erhöht werden.

**[0063]** Alternativ hierzu kann es sich bei dem ersten Lichtstrahl und/oder bei dem zweiten Lichtstrahl um einen Lichtstrahl handeln, welcher von dem Sensor mittels einer Lichtquelle auf das Objekt gerichtet und von dort zurück zu dem Sensor reflektiert wird. Hiermit kann beispielsweise erzielt werden, dass der Sensor auch bei Abwesenheit von Umgebungslicht einsetzbar ist.

**[0064]** Bei der Objektebene des ersten Lichtstrahls kann es sich insbesondere um eine Ebene handeln, von welcher ein Messobjekt oder ein Referenzobjekt scharf auf den ersten Detektor abgebildet wird, insbesondere mittels des ersten Lichtstrahls. Bei der Objektebene des zweiten Lichtstrahls kann es sich insbesondere um eine Ebene handeln, von welcher das Messobjekt oder ein Referenzobjekt scharf auf

den ersten Detektor abgebildet wird, insbesondere mittels des zweiten Lichtstrahls.

**[0065]** Beispielsweise kann die optische Anordnung eingerichtet sein, um den zweiten Lichtstrahl entlang der zweiten Strahlenganglinie von dem Objekt zu einem zweiten Detektor zu führen. Der zweite Detektor kann beispielsweise identisch zu dem Abbildungsdetektor sein. Der zweite Detektor kann beispielsweise in dem Sensor integriert sein. Alternativ hierzu kann der zweite Detektor separat zu dem Sensor angeordnet sein. Hierdurch kann beispielsweise eine Trennung des ersten Lichtstrahls von dem zweiten Lichtstrahl vereinfacht werden, beispielsweise durch komplett getrennte Strahlengänge oder durch eine räumliche Trennung des ersten Strahlengangs von dem zweiten Strahlengang vor der Detektion.

**[0066]** Der erste Detektor und/oder der zweite Detektor kann beispielsweise einen Matrixsensor aufweisen, insbesondere einen CCD-Sensor oder einen CMOS-Sensor. Alternativ oder zusätzlich kann der erste Detektor und/oder der zweite Detektor eine Fotodiode aufweisen.

**[0067]** Zusätzlich kann die Objektebene des ersten Lichtstrahls und/oder die Objektebene des zweiten Lichtstrahls ungleich einer Objektebene des Abbildungsstrahlengangs sein. Hierdurch kann insbesondere ein Fangbereich erzielt werden, falls mittels des Abbildungsstrahlengangs eine weitere Fokusregelungseingangsgröße bestimmt werden soll oder wenn der Abbildungsstrahlengang zur Erfassung des ersten Messwerts oder des zweiten Messwerts dienen soll. Eine Ungleichheit der Objektebenen des ersten Lichtstrahls und/oder des zweiten Lichtstrahls und/oder des Abbildungsstrahlengangs kann insbesondere zu der Ausprägung der asymmetrischen Funktion führen, resultierend aus der Ausgestaltung der optischen Anordnung. Hierdurch kann beispielsweise ein Fangbereich erzielt werden.

**[0068]** Die Objektebene des ersten Lichtstrahls weist einen Winkel zu der Objektebene des zweiten Lichtstrahls und/oder des Abbildungsstrahlengangs auf. Beispielsweise kann es sich bei dem Winkel um einen Winkel zwischen  $10^\circ$  und  $80^\circ$ , bevorzugt zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$ , besonders bevorzugt von  $40^\circ$  bis  $50^\circ$  handeln.

**[0069]** Mittels des Winkels zwischen der Objektebene des ersten Lichtstrahls und der Objektebene des zweiten Lichtstrahls und/oder der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs, insbesondere resultierend aus der Ausgestaltung der optischen Anordnung, kann insbesondere ein erstes Fokusprofil erzeugt werden, welches ungleich zu dem zweiten Fokusprofil ausgestaltet ist und/oder ein erstes Fokusprofil, welches ungleich zu einem Fokusprofil des Abbildungsstrahlengangs ausgestaltet ist.

**[0070]** Beispielsweise kann die Objektebene des ersten Lichtstrahls zu der Objektebene des zweiten Lichtstrahls und/oder zu der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs gekippt sein. Beispielsweise kann die erste Objektebene und/oder die zweite Objektebene nicht senkrecht zu der optischen Achse des Abbildungsstrahlengangs angeordnet sein. Beispielsweise kann die erste Objektebene und/oder die zweite Objektebene nicht senkrecht zu der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs angeordnet sein. Hierdurch kann beispielsweise der Abbildungsstrahlengang zur Bestimmung der Fokusregelungseingangsgröße mitverwendet werden, beispielsweise um eine Messgenauigkeit zu erhöhen.

**[0071]** Beispielsweise kann die Objektebene des ersten Lichtstrahls, insbesondere mittels eines gekippten Spiegels, zu der Objektebene des zweiten Lichtstrahls und/oder zu der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs versetzt und/oder verkippt sein. Eine Versetzung und/oder eine Verkipfung der Objektebene des ersten Lichtstrahls zu der Objektebene des zweiten Lichtstrahls und/oder zu der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs kann beispielsweise mittels mindestens eines optischen Elements erfolgen. Das optische Element kann ausgewählt sein aus einer Gruppe von optischen Elementen aufweisend einen verkippten Spiegel, eine verkippte Linse, eine dezentrierte Linse, eine Linse ohne Korrektur einer chromatischen Längsaberration, einer chromatisch-längs-unterkorrigierten Optik.

**[0072]** Der Winkel kann beispielsweise mittels Reflektion über einen Spiegel und Überlagerung des ersten Lichtstrahls mittels eines Strahlteilerwürfels mit dem zweiten Lichtstrahl und/oder mit dem Abbildungsstrahlengang erzeugt werden. Beispielsweise kann der Spiegel eingerichtet sein, um den Winkel einzuführen. Beispielsweise können anstelle des Spiegels ein oder mehrere gekippte und/oder dezentrierte Linsen verwendet werden. Vorteilhaft kann jedoch eine Ausbildung mit gekipptem Spiegel sein, da mittels des gekippten Spiegels ein Strahlenbündel umfassend den ersten Lichtstrahl vorzugsweise senkrecht auf der Objektebene des ersten Lichtstrahls steht. Das optische Element kann bevorzugt chromatisch-längs-unterkorrigiert sein. Das optische Element kann beispielsweise durch diffraktive und/oder polarisationsoptische Effekte chromatisch-längs-unterkorrigiert sein.

**[0073]** Beispielsweise kann die Objektebene des ersten Lichtstrahls gegenüber der Objektebene des zweiten Lichtstrahls versetzt sein. Alternativ oder zusätzlich kann die Objektebene des ersten Lichtstrahls und/oder die Objektebene des zweiten Lichtstrahls gegenüber der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs versetzt sein. Die Objektebene des ersten Lichtstrahls kann beispielsweise parallel zu der Objektebene des zweiten Lichtstrahls und/o-

der parallel zu der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs angeordnet sein. Beispielsweise kann die Objektebene des zweiten Lichtstrahls parallel zu der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs angeordnet sein. Beispielsweise kann die Objektebene des ersten Lichtstrahls und/oder die Objektebene des Abbildungsstrahlengangs derart gegenüber der Objektebene des zweiten Lichtstrahls versetzt sein, dass ein Fangbereich und/oder eine Genauigkeit auf eine Messsituation optimiert sein können.

**[0074]** Beispielsweise kann der erste Messwert und der zweite Messwert simultan erfasst werden, beispielsweise durch eine einzige Abbildung mittels des ersten Detektors. Hierdurch kann beispielsweise ein Autofokusverfahren beschleunigt werden. Weiterhin können hierdurch bei einer Relativbewegung zwischen dem Messobjekt und dem Sensor Messfehler reduziert werden.

**[0075]** Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um den ersten Messwert und den zweiten Messwert an zwei Positionen eines Bildfeldes einer Abbildung zu erfassen, insbesondere durch Erfassung eines Fokuskriteriums an zwei Positionen des Bildfeldes, beispielsweise an einem oberen Rand und an einem unteren Rand des Bildfeldes. Hiermit kann insbesondere die asymmetrische Funktion erzeugt werden.

**[0076]** Mittels des Winkels zwischen der Objektebene des ersten Lichtstrahls und/oder der Objektebene des zweiten Lichtstrahls und/oder der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs können Bildinhalte an Rändern eines Bildsensors, beispielsweise des ersten Detektors, bei unterschiedlichen Abständen, beispielsweise des Sensors zu dem Messobjekt, scharf abgebildet sein. Hierdurch kann ein Abstand, insbesondere ein Abstand zwischen dem Messobjekt und einem Teil des Sensors, als Bezugspunkt gewählt werden, bei welchem auf der optischen Achse liegende Objektpunkte die schärfste Abbildung aufweisen.

**[0077]** Mittels des Winkels können sich nacheilende oder vorseilende funktionale Verläufe für ein Fokuskriterium an einem oberen Bildrand verglichen mit einem unteren Bildrand oder verglichen mit einer Abbildung eines anderen Strahlengangs ergeben. Mittels einer Differenzbildung zwischen einem Fokuskriterium an dem oberen Bildrand und einem Fokuskriterium an dem unteren Bildrand kann beispielsweise die Fokusregelungseingangsgröße erfasst werden.

**[0078]** Beispielsweise können die Objektebene des ersten Lichtstrahls und/oder die Objektebene des zweiten Lichtstrahls und/oder die Objektebene des Abbildungsstrahlengangs einen gemeinsamen Punkt auf der optischen Achse aufweisen, beispiels-

weise um das erste Fokusprofil und/oder um das zweite Fokusprofil zu einem direkten Scharfstellen des Abbildungsstrahlengangs zu verwenden.

**[0079]** Beispielsweise können der erste Lichtstrahl und der zweite Lichtstrahl ein Lichtstrahlenbündel bilden. Das Lichtstrahlenbündel kann beispielsweise von dem Messobjekt oder von dem Referenzobjekt ausgehen. Beispielsweise können der erste Lichtstrahl und der zweite Lichtstrahl zwischen dem Messobjekt oder dem Referenzobjekt und dem ersten Detektor ein Lichtstrahlenbündel bilden. Alternativ hierzu können der erste Lichtstrahl und der zweite Lichtstrahl lediglich zwischen dem Messobjekt oder dem Referenzobjekt und einem Strahlteiler ein Lichtstrahlenbündel bilden.

**[0080]** Beispielsweise kann der erste Lichtstrahl ein Teil eines Lichtstrahlenbündels sein. Alternativ oder zusätzlich kann der zweite Lichtstrahl ein Teil eines Lichtstrahlenbündels sein. Beispielsweise kann die erste Strahlenganglinie zumindest teilweise Teil des ersten Strahlengangs sein. Die zweite Strahlenganglinie kann zumindest teilweise Teil des zweiten Strahlengangs sein. Beispielsweise kann die erste Strahlenganglinie sowohl Teil des ersten Strahlengangs sein als auch Teil des zweiten Strahlengangs sein. Beispielsweise kann der erste Strahlengang ein gemeinsamer Strahlengang für den ersten Lichtstrahl und für den zweiten Lichtstrahl sein, wobei der erste Lichtstrahl und der zweite Lichtstrahl ein Lichtstrahlenbündel bilden.

**[0081]** Durch Bildung eines Lichtstrahlenbündels aus dem zweiten Lichtstrahl und dem ersten Lichtstrahl kann der Sensor beispielsweise hinsichtlich einer Anzahl von optischen Elementen optimiert werden und Kosten und/oder Bauraum eingespart werden.

**[0082]** Die optische Anordnung kann beispielsweise eine Trennvorrichtung aufweisen. Die Trennvorrichtung kann eingerichtet sein, um den ersten Lichtstrahl von dem zweiten Lichtstrahl zu trennen. Alternativ oder zusätzlich kann die Trennvorrichtung eingerichtet sein, um den ersten Lichtstrahl und/oder den zweiten Lichtstrahl von einem Abbildungslichtstrahl zu trennen. Beispielsweise kann die Trennvorrichtung ausgestaltet sein, um Lichtstrahlen farblich zu trennen. Beispielsweise kann die Trennvorrichtung eingerichtet sein, um den ersten Lichtstrahl von dem zweiten Lichtstrahl und/oder von dem Abbildungslichtstrahl farblich sequentiell, beispielsweise mittels einer farb-gestalteten Beleuchtung, zu trennen. Die Trennvorrichtung kann beispielsweise eine Rot-Grün-Blau (RGB)-Kamera sein, beispielsweise in Verbindung mit einem RGB-X-Cube, insbesondere einem RGB-X-Cube.

**[0083]** Beispielsweise kann der Sensor ein Chip-Pattern aufweisen, beispielsweise einen RGB-Bayer-Pattern. Alternativ hierzu kann auch ein anderes Pattern anwendbar sein. Beispielsweise kann der erste Detektor ein hyperspektraler Sensor sein.

**[0084]** Die Trennvorrichtung kann beispielsweise eingerichtet sein, um eine zeitliche Trennung zu erreichen. Eine zeitliche Trennung kann beispielsweise mittels sequentieller Aufnahmen, beispielsweise mittels sequentieller Schaltung von Blenden, erzielt werden. Eine zeitliche Trennung kann insbesondere vorteilhaft sein, wenn eine Pixelzahl des ersten Detektors niedrig sein soll, beispielsweise um Kosten zu senken.

**[0085]** Beispielsweise kann eine Trennung des ersten Lichtstrahls von dem zweiten Lichtstrahl und/oder von dem Abbildungslichtstrahl erst auf dem ersten Detektor erfolgen. Der erste Detektor kann beispielsweise einen Kamerachip aufweisen. Hierdurch können beispielsweise größere Freiheiten beim Optikdesign, insbesondere beim Design der optischen Anordnung, erreicht werden und/oder geringere Lichtverluste. Beispielsweise kann hierbei ein Strahlteiler nicht nötig sein. Somit können Kosten und Bauraum eingespart werden.

**[0086]** Beispielsweise kann die Trennvorrichtung zwei getrennte Detektoren, beispielsweise den ersten Detektor und den zweiten Detektor, aufweisen. Eine Trennung kann hierbei mittels der getrennten Detektoren erzielt werden. Alternativ hierzu kann eine Trennung derart erfolgen, dass eine Hälfte des ersten Detektors, beispielsweise eines RGB-Kamera-Chips, zur Erfassung des ersten Messwerts verwendet wird und eine andere Hälfte des ersten Detektors zur Erfassung des zweiten Messwerts und/oder für die hochauflösende Abbildung. Alternativ hierzu kann eine Trennung mittels unterschiedlicher Farben, beispielsweise vollflächig auf dem ersten Detektor, erzielt werden.

**[0087]** Beispielsweise kann die Verwendung gleicher Winkel zwischen der Objektebene des ersten Lichtstrahls und/oder der Objektebene des zweiten Lichtstrahls und/oder der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs vorteilhaft sein, beispielsweise hinsichtlich einer Stabilisierung des ersten Messwerts und/oder des zweiten Messwerts gegenüber Einflüssen einer Oberfläche des Objekts.

**[0088]** Die optische Anordnung kann mindestens einen Strahlteiler aufweisen. Der Strahlteiler kann ein optisches Element sein, ausgewählt aus der Gruppe umfassend einen Strahlteilerwürfel, einen Glenn-Thompson-Polarizer, ein RGB-X-Cube, einen Strahlteiler mit grünem Bandpass, beispielsweise einem Notch-Filter, und ein Glasplättchen. Beispielsweise kann der Notch-Filter eingerichtet sein, um

eine Aufteilung von nicht-grünen Komponenten in zwei Teilstrahlen, die eine identische spektrale Zusammensetzung aufweisen, zu erzielen.

**[0089]** Die optische Anordnung kann eingerichtet sein, um mittels des Strahlteilers eine Überlagerung des ersten Lichtstrahls mit dem zweiten Lichtstrahl und/oder eine Teilung des ersten Lichtstrahls von dem zweiten Lichtstrahl zu erzielen. Beispielsweise kann die optische Anordnung eingerichtet sein, um mittels des Strahlteilers den ersten Lichtstrahl und/oder den zweiten Lichtstrahl mit dem Abbildungslichtstrahl und/oder einem dritten Lichtstrahl zu überlagern. Beispielsweise kann der erste Lichtstrahl und/oder der zweite Lichtstrahl und/oder der dritte Lichtstrahl und/oder der Abbildungslichtstrahl über eine gemeinsame Optik den ersten Detektor erreichen.

**[0090]** Der Sensor kann beispielsweise ausgestaltet sein, um mittels eines von dem Messobjekt ausgehenden dritten Lichtstrahls den dritten Messwert zu erzeugen. Der dritte Lichtstrahl kann beispielsweise der Abbildungslichtstrahl sein. Der dritte Lichtstrahl kann beispielsweise mittels des dritten Strahlengangs zu dem ersten Detektor geführt werden.

**[0091]** Der erste Strahlengang und/oder der zweite Strahlengang und/oder der dritte Strahlengang und/oder der Abbildungsstrahlengang können zumindest teilweise einen gemeinsamen Strahlengang bilden. Beispielsweise kann der zweite Strahlengang quasi-identisch zu dem dritten Strahlengang sein. Hierdurch können beispielsweise eine Transformation in eine Frequenzdomäne verwendet werden und/oder Kosten gespart werden. Beispielsweise kann hierdurch eine Auswahl, mit welcher die Fokussierung quantifiziert werden soll, möglich sein.

**[0092]** Bevorzugt können Positionen aller von dem ersten Lichtstrahl durchlaufenen Elemente relativ zu dem Messobjekt und die Position aller von dem zweiten Lichtstrahl durchlaufenen Elemente relativ zu dem Messobjekt und Positionen aller von dem dritten Lichtstrahl durchlaufenen Elemente relativ zu dem Messobjekt während der Erfassung des ersten und/oder des zweiten Messwerts identisch zu denen während der Erfassung des dritten Messwerts sein.

**[0093]** Beispielsweise kann die optische Anordnung drei Strahlengänge aufweisen, insbesondere den ersten Strahlengang und den zweiten Strahlengang und den dritten Strahlengang, welche jeweils in einem Winkel von 120° parallel und um die Achse angeordnet sein können, insbesondere parallel und um die optische Achse des Abbildungsstrahlengangs. Insbesondere kann die optische Anordnung derart ausgestaltet sein, dass möglichst wenige oder keine optischen Elemente in der Nähe der

Achse angeordnet sind, beispielsweise um eine Verdichtung durch eine Faltung der Strahlengänge erzielen zu können.

**[0094]** Beispielsweise kann eine Objektebene des dritten Strahlengangs ungleich der Objektebene des zweiten Strahlengangs und/oder der Objektebene des dritten Strahlengangs sein. Insbesondere kann eine Objektebene des dritten Lichtstrahls ungleich der Objektebene des zweiten Lichtstrahls und/oder der Objektebene des dritten Lichtstrahls sein. Die Objektebene des dritten Strahlengangs kann beispielsweise einen Winkel, insbesondere einen Winkel ungleich  $0^\circ$ , zu der Objektebene des ersten Strahlengangs und/oder zu der Objektebene des zweiten Strahlengangs und/oder zu einer Objektebene des Abbildungsstrahlengangs aufweisen. Beispielsweise kann die Objektebene des dritten Strahlengangs versetzt zu der Objektebene des zweiten Strahlengangs und/oder zu der Objektebene des dritten Strahlengangs und/oder zu der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs angeordnet sein. Beispielsweise kann die Objektebene des dritten Strahlengangs zu der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs und/oder zu der Objektebene des ersten Strahlengangs und/oder zu der Objektebene des zweiten Strahlengangs gekippt sein. Beispielsweise kann die Objektebene des ersten Strahlengangs und/oder die Objektebene des zweiten Strahlengangs und/oder die Objektebene des dritten Strahlengangs nicht senkrecht zu der optischen Achse des Abbildungsstrahlengangs, sondern gekippt, angeordnet sein, beispielsweise mittels eines gekippten Spiegels und/oder einer gekippten Linse und/oder einer dezentrierten Linse.

**[0095]** Beispielsweise kann der zweite Detektor eingerichtet sein, um mit ihm den ersten Lichtstrahl und/oder den zweiten Lichtstrahl und/oder den dritten Lichtstrahl und/oder den Abbildungslichtstrahl zu erfassen. Besonders bevorzugt kann der zweite Detektor eingerichtet sein, um die Abbildung des Abbildungsstrahlengangs, insbesondere eine scharfe Abbildung, zu erfassen.

**[0096]** Beispielsweise kann der Sensor eingerichtet sein, um mehrere erste Messwerte und/oder mehrere zweite Messwerte und/oder mehrere Fokusregelungseingangsgrößen parallel, beispielsweise simultan, zu erfassen. Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung eingerichtet sein, um auszuwählen, welcher erste Messwert und/oder welcher zweite Messwert und/oder welche Fokusregelungseingangsgröße Verwendung findet, beispielsweise welche Fokusregelungseingangsgröße zur Beaufschlagung der Vorrichtung zur Fokusveränderung verwendet wird, insbesondere um den Zielwert möglichst präzise zu erreichen. Beispielsweise können zur Bestimmung der Fokusregelungseingangs-

größe Mittelwerte der ersten Messwerte und/oder der zweiten Messwerte verwendet werden.

**[0097]** Beispielsweise kann der Sensor eingerichtet sein, um geeignete Merkmale zur Erfassung eines Fokuskriteriums auf das Messobjekt oder auf das Referenzobjekt zu projizieren. Beispielsweise können durch Einspiegelung einer Markeranordnung in die optische Anordnung, beispielsweise in den ersten Strahlengang und/oder in den zweiten Strahlengang und/oder in den dritten Strahlengang geeignete Merkmale zur Bestimmung des Fokuskriteriums auf das Messobjekt oder auf das Referenzobjekt fokussiert werden.

**[0098]** Das Referenzobjekt und/oder das Messobjekt können beispielsweise planar ausgestaltet sein. Alternativ hierzu können das Referenzobjekt und/oder das Messobjekt nicht planar ausgestaltet sein. Eine Oberfläche des Messobjekts und/oder eine Oberfläche des Referenzobjekts können beispielsweise senkrecht zu der optischen Achse angeordnet sein. Alternativ hierzu kann eine Oberfläche des Messobjekts und/oder eine Oberfläche des Referenzobjekts in einem Winkel ungleich  $90^\circ$  zu der optischen Achse angeordnet sein.

**[0099]** Der Sensor kann insbesondere für eine Fokusregelung für abbildende Systeme dienen. Der Sensor kann insbesondere eingerichtet sein, um mittels Einzelaufnahmen abbildender Systeme, beispielsweise mittels des ersten Strahlengangs und/oder des zweiten Strahlengangs, eine für eine Fokusbestimmung und/oder eine Fokusregelung geeignetes Fokusregelungseingangsgröße zu generieren. Hierdurch können beispielsweise Messabläufe deutlich beschleunigt werden. Beispielsweise kann eine Aufnahme eines sogenannten Autofokus-Bildstapels entfallen. Insbesondere kann ein dynamischer Betrieb mit beweglichem Messobjekt oder bewegtem Sensor möglich sein.

**[0100]** Die Erfindung betrifft ferner ein Koordinatenmessgerät aufweisend einen wie oben beschriebenen Sensor. Das Koordinatenmessgerät kann beispielsweise mindestens einen weiteren Sensor aufweisen, beispielsweise mindestens einen taktilen Sensor. Das Koordinatenmessgerät kann mindestens einen Tastarm aufweisen. Beispielsweise kann der Sensor in dem Tastarm integriert sein. Beispielsweise kann der Tastarm eingerichtet sein, um den Sensor relativ zu dem Messobjekt zu bewegen.

**[0101]** Das Koordinatenmessgerät kann eine Basis aufweisen, auf welcher eine Werkstückaufnahme angeordnet sein kann. Die Werkstückaufnahme kann beispielsweise ein Kreuztisch sein. Die Werkstückaufnahme kann beispielsweise eingerichtet sein, um das Messobjekt zu fixieren und/oder um das Messobjekt relativ zu der Basis zu bewegen.

**[0102]** Das Koordinatenmessgerät kann beispielsweise eine Säule aufweisen, an welcher der Tastarm verschiebbar gelagert sein kann. Der Tastarm kann einen Messkopf aufweisen. Der weitere Sensor und/oder der Sensor können beispielsweise mindestens teilweise in dem Messkopf angeordnet sein.

**[0103]** Das Koordinatenmessgerät kann eine Steuerung aufweisen. Beispielsweise kann die Auswerte- und Steuereinrichtung des Sensors zumindest teilweise in der Steuerung integriert sein. Alternativ hierzu kann die Auswerte- und Steuereinrichtung des Sensors beispielsweise in dem Messkopf integriert sein.

**[0104]** Die Erfindung betrifft weiterhin einen Bausatz zum Nachrüsten eines Sensors zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften eines Messobjekts, das in einem Objektraum angeordnet ist. Der Sensor weist eine optische Anordnung und eine Auswerte- und Steuereinrichtung auf. Die optische Anordnung weist einen ersten Detektor auf. Die optische Anordnung weist einen Abbildungsstrahlengang auf. Die optische Anordnung definiert ein erstes Fokusprofil mit einem ersten Maximum entlang des Abbildungsstrahlengangs in dem Objektraum. Die Auswerte- und Steuereinrichtung ist eingerichtet, um einen ersten Messwert des ersten Fokusprofils zu erfassen. Der Bausatz weist eine Schnittstelle zu dem Sensor auf. Der Bausatz weist eine optische Ergänzungsanordnung auf. Die optische Ergänzungsanordnung definiert ein zweites Fokusprofil mit einem zweiten Maximum entlang einer zweiten Strahlenganglinie in dem Objektraum. Die Schnittstelle zu dem Sensor ist eingerichtet, um die Auswerte- und Steuereinrichtung des Sensors mit einem zweiten Messwert des zweiten Fokusprofils zu beaufschlagen.

**[0105]** Der Bausatz zum Nachrüsten eines Sensors kann beispielsweise eine elektrische Schnittstelle und/oder eine elektronische Schnittstelle und/oder eine mechanische Schnittstelle zu dem Sensor aufweisen. Die Schnittstellen, insbesondere die mechanische Schnittstelle und/oder die elektronische Schnittstelle und/oder die elektrische Schnittstelle, können insbesondere eingerichtet sein, um mit dem Sensor zusammenzuwirken. Die Schnittstelle zu dem Sensor kann insbesondere eingerichtet sein, um die Auswerte- und Steuereinrichtung des Sensors mit einem zweiten Messwert des zweiten Fokusprofils zu beaufschlagen, insbesondere um ein Messobjekt bezüglich des Abbildungsstrahlengangs und bezüglich des ersten Detektors oder eines Abbildungsdetektors scharf zu stellen.

**[0106]** Die Auswerte- und Steuereinrichtung kann insbesondere eingerichtet sein, um aus dem ersten Messwert, welcher mittels des Sensors erfasst wird, und aus dem zweiten Messwert, welcher mittels des

Bausatzes zum Nachrüsten erfasst wird, die Fokusregelungseingangsgröße zu bestimmen, wobei das erste Fokusprofil, welches mittels des Sensors definiert wird, und das zweite Fokusprofil, welches mittels des Bausatzes zum Nachrüsten definiert wird, koexistierende Fokusprofile sind.

**[0107]** Der Vorteil bei dem Bausatz zum Nachrüsten eines Sensors kann darin gesehen werden, dass der Bausatz nachträglich einem Sensor hinzugefügt werden kann, beispielsweise um die Ausführung eines Autofokusverfahrens zu ermöglichen. Hierdurch kann ein Sensor veränderten Bedürfnissen angepasst werden, insbesondere kostengünstig und umweltschonend.

**[0108]** Mittels des Koordinatenmessgeräts oder des Sensors kann insbesondere ein Verfahren zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften eines Messobjekts durchgeführt werden, welches in sehr kurzer Zeit ausgeführt werden kann. Zum Scharfstellen des Sensors hinsichtlich des Messobjekts ist es nicht notwendig, eine optimale Lage des Sensors zu dem Messobjekt über einen längeren Zeitraum zu sichern. Das Verfahren kann insbesondere für eine Fokusregelung bei einem dynamischen Betrieb geeignet sein. Der Sensor weist insbesondere einen geringen apparativen Aufwand auf. Ein Einfluss von Oberflächeneigenschaften des Messobjekts kann bei dem neuen Sensor und dem neuen Verfahren minimiert sein.

**[0109]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

**[0110]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1A** eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels des neuen Sensors;

**Fig. 1B** Fokusprofile und eine Fokusregelungseingangsgröße in Abhängigkeit eines Abstands zu dem ersten Ausführungsbeispiel des neuen Sensors;

**Fig. 1C** Fokusregelungseingangsgrößen in Abhängigkeit eines Abstands für unterschiedliche erste Strahlenganglinien und zweite Strahlenganglinien zu dem ersten Ausführungsbeispiel;

**Fig. 1D** Fokusprofile und Fokusregelungseingangsgrößen in Abhängigkeit eines Abstands für verschieden stark auszeichnende Fokusprofile des ersten Ausführungsbeispiels;

**Fig. 2** ein zweites Ausführungsbeispiel des neuen Sensors;

**Fig. 3A** ein drittes Ausführungsbeispiel des neuen Sensors;

**Fig. 3B** eine Darstellung eines Teils des ersten Detektors des dritten Ausführungsbeispiels des neuen Sensors;

**Fig. 4** ein viertes Ausführungsbeispiel des neuen Sensors;

**Fig. 5** ein fünftes Ausführungsbeispiel des neuen Sensors; und

**Fig. 6** ein Ausführungsbeispiel des neuen Koordinatenmessgerätes.

**[0111] Fig. 1A** zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel des neuen Sensors 10. Der neue Sensor 10 dient zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften eines Messobjekts, das in einem Objektraum 17 angeordnet ist.

**[0112]** Der Sensor 10 weist eine optische Anordnung 14 und eine Auswerte- und Steuereinrichtung 16 auf. Die optische Anordnung 14 weist einen ersten Detektor 12 auf. Die optische Anordnung 14 definiert ein erstes Fokusprofil 19 mit einem ersten Maximum 39 entlang einer ersten Strahlenganglinie 18 in dem Objektraum 17. Weiterhin definiert die optische Anordnung 14 ein zweites Fokusprofil 21 mit einem zweiten Maximum 41 entlang einer zweiten Strahlenganglinie 25 in dem Objektraum 17. Die Auswerte- und Steuereinrichtung 16 ist eingerichtet, um einen ersten Messwert 22 des ersten Fokusprofils 19 und einen zweiten Messwert 28 des zweiten Fokusprofils 21 zu erfassen. Die Auswerte- und Steuereinrichtung 16 ist ferner eingerichtet, um aus dem ersten Messwert 22 und aus dem zweiten Messwert 28 eine Fokusregelungseingangsgröße 32 zu bestimmen. Das erste Fokusprofil 19 und das zweite Fokusprofil 21 sind koexistierende Fokusprofile, die die optische Anordnung 14 beispielsweise zu jedem Zeitpunkt zeitgleich definiert.

**[0113]** Die Auswerte- und Steuereinrichtung 16 ist vorzugsweise ausgestaltet, um mittels einer Differenzbildung aus dem ersten Messwert 22 und aus dem zweiten Messwert 28 die Fokusregelungseingangsgröße 32 zu bestimmen, wie beispielsweise in **Fig. 1B** dargestellt.

**[0114] Fig. 1 B** zeigt das erste Fokusprofil 19 und das zweite Fokusprofil 21 in Abhängigkeit von einem Abstand 38. Das erste Fokusprofil und das zweite Fokusprofil können beispielsweise jeweils als Fokuskriterium in Abhängigkeit von einem Abstand 38, insbesondere als Kontrast in Abhängigkeit von einem Abstand 38, dargestellt sein. **Fig. 1B** zeigt insbesondere die Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38,

erhalten aus einer Differenzbildung aus ersten Messwerten 22 und aus zweiten Messwerten 28. Die Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von dem Abstand 38 bildet aufgrund der Differenzbildung typischerweise eine asymmetrische Funktion. **Fig. 1D** zeigt drei erste Fokusprofile 19 und drei zweite Fokusprofile 21, sowie die Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 für die drei zugehörigen ersten Fokusprofile 19 und zweiten Fokusprofile 21.

**[0115]** Die optische Anordnung 14 des ersten Ausführungsbeispiels bildet einen Abbildungsstrahlengang 34 und kann eine Vorrichtung zur Fokusveränderung 36 aufweisen. In dem ersten Ausführungsbeispiel kann die Vorrichtung zur Fokusveränderung 36 mindestens eine entlang einer optischen Achse 60 verschiebbare Linse aufweisen. Die Auswerte- und Steuereinrichtung 16 ist vorzugsweise ausgebildet, um mittels der Fokusregelungseingangsgröße 32 den Abbildungsstrahlengang 34 hinsichtlich des Messobjekts scharf zu stellen.

**[0116]** Die Vorrichtung zur Fokusveränderung 36 kann eingerichtet sein, um den Abbildungsstrahlengang 34 hinsichtlich des Messobjekts scharf zu stellen. Die erste Strahlenganglinie 18 des ersten Ausführungsbeispiels ist zumindest teilweise Teil des Abbildungsstrahlengangs 34.

**[0117]** In den **Fig. 1 B** und **Fig. 1D** sind exemplarisch erste Fokusprofile 19 und zweite Fokusprofile 21 in Abhängigkeit von einer senkrechten Projektion auf eine Achse 60 dargestellt. Die optische Anordnung 14 kann insbesondere derart eingerichtet sein, dass das erste Maximum 39 eine erste Halbwertsbreite 40 aufweist und dass das zweite Maximum 41 eine zweite Halbwertsbreite 42 aufweist.

**[0118]** Bei unterschiedlichen Abständen zwischen dem ersten Maximum 39 und dem zweiten Maximum 41 können sich unterschiedliche Funktionen der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 ergeben, wie beispielsweise in **Fig. 1C** dargestellt. **Fig. 1C** zeigt drei verschiedene Funktionen der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38, insbesondere in Abhängigkeit von einer senkrechten Projektion auf die Achse 60. Die Funktionen der Fokusregelungseingangsgröße 32 könnten beispielsweise aus ersten Messwerten 22 und zweiten Messwerten 28 bestimmt werden. Bei im Vergleich zu der ersten Halbwertsbreite 40 und/oder zu der zweiten Halbwertsbreite 42 großem Abstand zwischen dem ersten Maximum 39 und dem zweiten Maximum 41 kann eine Funktion der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 zu einem optimalen Fokuspunkt in der Nähe des optimalen Fokuspunkts lediglich eine geringe Steilheit aufweisen, was eine Regelung auf den optimalen

Fokuspunkt erschweren kann und/oder eine Genauigkeit der Regelung auf den optimalen Fokuspunkt verschlechtern kann, allerdings kann ein Fangbereich groß sein. Bei im Vergleich zu der ersten Halbwertsbreite 40 und/oder zu der zweiten Halbwertsbreite 42 kleinem Abstand zwischen dem ersten Maximum 39 und dem zweiten Maximum 41 kann eine Funktion der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 zu einem optimalen Fokuspunkt in der Nähe des optimalen Fokuspunkts zwar eine höhere Steilheit aufweisen, allerdings kann der Fangbereich dann sehr klein sein. Als Fangbereich kann ein Bereich angesehen werden, bei welchem eindeutig aus der Fokusregelungseingangsgröße 32 auf den Abstand und die Richtung zu dem optimalen Fokuspunkt geschlossen werden kann. Als Fangbereich kann ein Bereich zwischen dem ersten Maximum 39 und dem zweiten Maximum 41 betrachtet werden.

**[0119]** Eine Distanz 24 zwischen dem ersten Maximum 39 und dem zweiten Maximum 41 kann beispielsweise ein 0,1- bis 4-faches, bevorzugt ein 0,5- bis 2,5-faches, besonders bevorzugt ein 1,0- bis 1,7-faches des Mittelwerts der ersten Halbwertsbreite 40 und der zweiten Halbwertsbreite 42 betragen.

**[0120]** Der erste Detektor 12 kann eingerichtet sein, um den ersten Messwert 22 mittels eines von einem Objekt ausgehenden ersten Lichtstrahls 20 zu erfassen. Die optische Anordnung 14 kann eingerichtet sein, um den ersten Lichtstrahl 20 entlang der ersten Strahlenganglinie 18 von dem Objekt zu dem ersten Detektor 12 zu führen, wie beispielsweise in **Fig. 1A** dargestellt. Der erste Detektor 12 kann eingerichtet sein, um den zweiten Messwert 28 mittels eines von dem Objekt ausgehenden zweiten Lichtstrahls 26 zu erfassen. Die optische Anordnung 14 kann eingerichtet sein, um den zweiten Lichtstrahl 26 entlang der zweiten Strahlenganglinie 25 von dem Objekt zu dem ersten Detektor 12 zu führen, wie ebenfalls in **Fig. 1A** dargestellt.

**[0121]** Eine Objektebene 44 des ersten Lichtstrahls ist hier ungleich einer Objektebene 46 des zweiten Lichtstrahls. Die Objektebene 44 des ersten Lichtstrahls liegt unter einem Winkel 48 zu der Objektebene 46 des zweiten Lichtstrahls, wie in **Fig. 1A** dargestellt ist. Der erste Lichtstrahl 20 und der zweite Lichtstrahl 26 können, wie in **Fig. 1A** dargestellt, ein Lichtstrahlenbündel 50 bilden, das von dem Messobjekt ausgeht.

**[0122]** Beispielsweise kann die optische Anordnung 14 eine Trennvorrichtung 58 aufweisen. Die Trennvorrichtung 58 kann eingerichtet sein, um den ersten Lichtstrahl 20 von dem zweiten Lichtstrahl 26 zu trennen.

**[0123]** Die optische Anordnung 14 kann einen Strahlteiler 52 aufweisen, wie beispielsweise in **Fig. 1A** dargestellt. Die optische Anordnung 14 kann eingerichtet sein, um mittels des Strahlteilers 52 eine Überlagerung des ersten Lichtstrahls 20 mit dem zweiten Lichtstrahl 26 oder eine Teilung des ersten Lichtstrahls 20 von dem zweiten Lichtstrahl 26 zu erzielen. Beispielsweise kann, wie in **Fig. 1A** dargestellt, die optische Anordnung 14 eingerichtet sein, um mittels des Strahlteilers 52 eine Überlagerung des ersten Lichtstrahls 20 und des zweiten Lichtstrahls 26 mit dem Abbildungsstrahlengang 34 zu erzielen.

**[0124]** Die in den Figuren dargestellten Sensoren 10 weisen einen Abbildungsstrahlengang 34 auf. Mittels des Abbildungsstrahlengangs 34 kann eine Abbildung, insbesondere das eigentliche Messbild, auf dem ersten Detektor 12, bevorzugt einer Kamera, generiert werden. Der Abbildungsstrahlengang 34 kann bevorzugt telezentrisch ausgelegt werden, beispielsweise um einen Einfluss etwaiger Defokussierungen auf das Ergebnis von Messungen zu minimieren, insbesondere bei Messungen, bei denen eine Lateralausdehnung von Messobjekten in der Abbildung ermittelt bzw. ausgewertet werden soll. Die optische Anordnung 14 kann einen ersten Strahlengang 96 und einen zweiten Strahlengang 98 aufweisen. Der erste Strahlengang 96 kann die erste Strahlenganglinie 18 aufweisen und eingerichtet sein, um den ersten Lichtstrahl 20 zu führen. Der zweite Strahlengang 98 kann die zweite Strahlenganglinie 25 aufweisen und eingerichtet sein, um den zweiten Lichtstrahl 26 zu führen. Mittels des ersten Strahlengangs 96 und/oder mittels des zweiten Strahlengangs 98 kann insbesondere ein Abstand des Sensors zu dem Messobjekt erfasst werden.

**[0125]** Die **Fig. 1A**, **Fig. 2**, **Fig. 3A**, **Fig. 4** und **Fig. 5** zeigen insbesondere Schnitte optisch abbildender Systeme, welche eine oder mehrere rechts liegende Objektebenen auf eine oder mehrere links liegende Bildebenen abbilden. Bei den in den **Fig. 1A**, **Fig. 2**, **Fig. 3A**, **Fig. 4**, und **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispielen liegt in der Bildebene vorzugsweise eine Einrichtung zur ortsauflösenden Registratur von einfallenden Photonen, bevorzugt der erste Detektor 12. Insbesondere befindet sich der erste Detektor 12 bei Einstellung auf den besten Fokusabstand innerhalb der Bildebene des Abbildungsstrahlengangs 34. Beispielsweise kann es sich bei dem ersten Detektor 12 um einen Matrixsensor handeln.

**[0126]** Die Darstellung nach **Fig. 1A** weist zur grafischen Vereinfachung und/oder Veranschaulichung Eigenschaften auf, welche bei einer apparativen Realisierung nicht vorteilhaft sind und deshalb geändert werden können. Zur Erläuterung des Prinzips kann die gewählte Darstellung beispielsweise eine Darstellung mit versetzten Bildebenen des Abbil-

dungsstrahlengangs 34 zu den Bildebenen des ersten Strahlengangs 96 und/oder des zweiten Strahlengangs 98 sein.

**[0127]** Der erste Strahlengang 96 und/oder der zweite Strahlengang 98 können insbesondere Objektebenen aufweisen, welche nicht senkrecht zur optischen Achse 60 des Systems, also zu der optischen Achse 60 des Abbildungsstrahlengangs 34, angeordnet sind. Insbesondere kann die Objektebene 44 des ersten Lichtstrahls und/oder die Objektebene 46 des zweiten Lichtstrahls gegenüber der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs 34 geneigt sein, beispielsweise um den Winkel 48, wie in **Fig. 1A** dargestellt. Der Winkel 48 kann, wie in **Fig. 1A** dargestellt, dadurch erzeugt werden, dass der über den Strahlteiler 52 mit dem Abbildungsstrahlengang 34 überlagerte erste Lichtstrahl 20 und der zweite Lichtstrahl 26 über einen Spiegel 53 reflektiert werden. Der Spiegel 53 kann insbesondere eingerichtet sein, um einen entsprechenden Winkel 48 einzuführen.

**[0128]** Alternativ zu dem Spiegel 53 können gekippte und/oder dezentrierte Linsen zum gleichen Zweck eingesetzt werden. Vorteilhaft kann jedoch die gewählte Ausgestaltung mit gekipptem Spiegel 53 sein, da in diesem Fall das Strahlenbündel, umfassend den ersten Lichtstrahl 20 und den zweiten Lichtstrahl 26, senkrecht auf der Objektebene steht. Ein Abstand der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs 34 zu der Objektebene 44 des ersten Lichtstrahls und/oder zu der Objektebene 46 des zweiten Lichtstrahls kann wie in **Fig. 1A** dargestellt ausgebildet sein, kann jedoch auch durch eine entsprechende Wahl der Auslegung und Positionierung des ersten Strahlengangs 96 und/oder des zweiten Strahlengangs 98 andersartig ausgebildet sein. Beispielsweise kann die Objektebene des Abbildungsstrahlengangs 34 auf gleicher Höhe der optischen Achse 60 angeordnet sein, wie die Objektebene des ersten Lichtstrahls 44 und/oder die Objektebene des zweiten Lichtstrahls 46.

**[0129]** **Fig. 1 B** zeigt in jeweils willkürlichen Einheiten drei Verläufe eines Fokuskriteriums, insbesondere drei Fokusprofile, als Funktion eines Abstandes 38 des Messobjekts von der Bildebene des Abbildungsstrahlengangs 34, also von der optimalen Fokusslage. Bei den Fokuskriterien kann es sich insbesondere um Größen handeln, welche mittels des ersten Detektors 12, beispielsweise mittels einer Abbildung auf einer Kamera, erfasst werden können. Das Messobjekt oder ein Referenzobjekt kann beispielsweise derart angeordnet sein, dass die Oberfläche, von welchem der erste Lichtstrahl 20 und/oder der zweite Lichtstrahl 26 ausgehen, senkrecht zu der optischen Achse 60 des Abbildungsstrahlengangs 34 angeordnet ist. Alternativ hierzu kann

diese Oberfläche auch in einem Winkel ungleich  $90^\circ$  zu der optischen Achse 60 angeordnet sein.

**[0130]** Aufgrund eines Winkels der Objektebene des ersten Lichtstrahls 44 und/oder der Objektebene des zweiten Lichtstrahls 46 und/oder der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs 34 zu der Oberfläche können Bildinhalte an Rändern des Bildfeldes und auf einer Achse 60 des Bildfeldes bei unterschiedlichen Abständen des Sensors 10 zu dem Messobjekt scharf abgebildet werden.

**[0131]** Im Fall von **Fig. 1B** ist der Abstand, bei dem sich die schärfste Abbildung für auf der optischen Achse 60 liegende Objektpunkte befindet, als Bezugspunkt gewählt, so dass die Abszisse einen Abstand 38 von der optimalen Fokusslage angibt. Durch eine geneigte Objektebene des ersten Lichtstrahls 44 und/oder des zweiten Lichtstrahls 46 zu der Oberfläche können sich nacheilende und/oder voreilende funktionale Verläufe für das auf der Ordinate aufgetragene Fokuskriterium ergeben. Beispielsweise kann eine erste Strahlenganglinie 18 ausgehend von einem oberen Bildrand einer Abbildung einen nacheilenden oder voraueilenden Verlauf eines ersten Fokusprofils 19 aufweisen im Vergleich zu einem zweiten Fokusprofil 21, welches zu einer zweiten Strahlenganglinie 25 ausgehend von einem unteren Bildrand einer Abbildung gehört.

**[0132]** Durch eine Differenzbildung zwischen dem ersten Messwert 22, also beispielsweise einem Fokuskriterium an dem oberen Bildrand, und dem zweiten Messwert 28, also einem Fokuskriterium an dem unteren Bildrand, kann beispielsweise die ebenfalls in **Fig. 1B** dargestellte Fokusregelungseingangsgröße 32 bestimmt werden. Die funktionale Abhängigkeit der Fokusregelungseingangsgröße 32 von dem Abstand 38 von der besten Fokusslage kann zur Autofokussierung verwendet werden.

**[0133]** Die dargestellte Funktion der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 weist für die Durchführung eines Autofokusverfahrens im Vergleich zu dem ebenfalls dargestellten Verlauf des Fokuskriteriums für den Abbildungsstrahlengang 34, insbesondere als dritter Messwert 56 dargestellt, zahlreiche Vorteile auf.

**[0134]** Die Funktion der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 ist insbesondere asymmetrisch bezüglich des Bezugspunktes, also bezüglich des Regelziels. Mittels der durch mathematische Operationen aus dem ersten Messwert 22 und dem zweiten Messwert 28 erhaltenen Funktion der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 kann nicht nur ein Betrag, sondern auch eine Richtung zur Einstellung des Regelziels bestimmt werden. An dem Regelziel kann bevorzugt eine Steigung der Funktion

der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 maximal sein, insbesondere derart, dass Abweichungen von dem Regelziel mit größtmöglicher Sensitivität festgestellt werden können.

**[0135]** Beispielsweise kann die erste Funktion der Fokusregelungseingangsgröße in Abhängigkeit von dem Abstand 72 der **Fig. 1C** aus eng beieinanderliegender erster Strahlenganglinie 18 und zweiter Strahlenganglinie 25 resultieren, beispielsweise aus achsnaher erster Strahlenganglinie 18 und achsnaher zweiter Strahlenganglinie 25. Die zweite Funktion der Fokusregelungseingangsgröße in Abhängigkeit von dem Abstand 74 resultiert ebenfalls aus ersten Messwerten 22 und zweiten Messwerten 28, allerdings können die Ausgangspunkte des ersten Lichtstrahls 20 und des zweiten Lichtstrahls 26 weiter voneinander entfernt liegen, insbesondere in der Ebene des Winkels. **Fig. 1C** zeigt weiterhin eine dritte Funktion der Fokusregelungseingangsgröße in Abhängigkeit von dem Abstand 76. Die dritte Funktion 76 resultiert ebenfalls aus ersten Messwerten 22 und zweiten Messwerten 28, allerdings können die Ausgangspunkte des ersten Lichtstrahls 20 und des zweiten Lichtstrahls 26 weiter voneinander entfernt liegen, insbesondere in der Ebene des Winkels., verglichen zu den Funktionen 74 und 72.

**[0136]** **Fig. 1C** zeigt insbesondere Unterschiede bei Funktionen der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38, welche sich dadurch ergeben können, dass in einem Fall achsnahe Bildbereiche für eine Ermittlung der ersten Messwerte 22 und der zweiten Messwerte 28 herangezogen werden und im anderen Fall Bildbereiche an gegenüberliegenden Rändern eines Blickfeldes verwendet werden. Deutlich erkennbar ist, dass die gezeigten Funktionen sich unterschiedlich gut zur Regelung und/oder Messung eines Abstandes 38 zu dem Regelziel eignen. Die Fokusregelungseingangsgrößen 32 der Ränder der Abbildung können einen größeren Fangbereich aufweisen, wie beispielsweise in Funktion 76 dargestellt, insbesondere im Vergleich zu den anderen beiden Funktionen 72 und 74. Allerdings ist die dritte Funktion 76 um das Regelziel nicht sehr scharf ausgezeichnet, so dass sich unter Verwendung der dritten Funktion 76 keine besonders stabile und/oder genaue Fokusregelung realisieren ließe. Wird eine stabilere Fokusregelung mit geringerem Fangbereich benötigt, könnte die zweite Funktion 74 besser geeignet sein, da diese bei dem Nulldurchgang steiler ist. Die erste Funktion 72, also mit den achsnah generierten Fokusregelungseingangsgrößen 32, ist in jeder Hinsicht nachteilig, da diese weder einen großen Fangbereich noch eine scharfe Auszeichnung aufweist. In regeltechnischer Hinsicht kann somit die dritte Funktion 76 gut geeignet sein für ein langsames Nachführen bei großen Abweichungen von dem Regelziel

und die zweite Funktion 74 könnte optimal sein für eine schnellere Ausregelung bei kleineren Abweichungen von dem Regelziel.

**[0137]** Wie in der dritten Funktion 76 der **Fig. 1C** dargestellt, kann es bei scharf ausgezeichneten Fokuskriterien, also bei scharf ausgezeichneten Fokusprofilen, und/oder bei einem großen Abstand der Objektebenen dazu kommen, dass die Fokusregelungseingangsgröße 32 das Regelziel nicht mehr scharf auszeichnet. In solchen Fällen könnte beispielsweise die optische Anordnung 14 derart modifiziert werden, dass sich im Nulldurchgang keine Wendepunkte der Funktion der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 mehr ergeben. Alternativ oder zusätzlich könnte eine numerische Apertur, beispielsweise des ersten Strahlengangs 96 und/oder des zweiten Strahlengangs 98, durch verstellbare Blenden verändert werden. Dies könnte es erlauben, eine Schärfentiefe jeweils so anzupassen, dass in einem gewählten Bereich des Blickfelds stets ein für die Fokusregelung optimiertes Signal generiert werden kann.

**[0138]** Anstelle einer Anpassung der Schärfentiefe mittels einer Veränderung der optischen Anordnung 14 kann beispielsweise auch softwareseitig mittels der Auswerte- und Steuereinrichtung 16 ein feldpositionsabhängig unterschiedlich scharf auszeichnendes Fokuskriterium gewählt werden. Auch hierdurch könnte die Gestalt der Funktion der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 zur Fokusregelung optimiert werden. Prinzipiell sind für eine Optimierung der Funktion der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 sowohl Hardware-Ansätze als auch Software-Ansätze denkbar.

**[0139]** **Fig. 1D** zeigt drei Funktionen des ersten Messwerts 22 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 sowie drei Funktionen des zweiten Messwerts 28 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 und weiterhin drei Funktionen der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38.

**[0140]** Die vierte Funktion 78 zeigt erste Messwerte 22 von einem unteren Rand, wobei die vierte Funktion 78 eine mittelmäßige Auszeichnung aufweist. Die fünfte Funktion 80 zeigt zweite Messwerte 28 von einem oberen Rand einer Abbildung, wobei die fünfte Funktion 80 eine mittelmäßige Auszeichnung aufweist. Die sechste Funktion 82 zeigt die Fokusregelungseingangsgrößen 32, welche sich aus den ersten Messwerten 22 der vierten Funktion 78 und den zweiten Messwerten 28 der fünften Funktion 80 ergeben.

**[0141]** Eine siebte Funktion 84 zeigt erste Messwerte 22 von einem unteren Rand einer Abbildung,

wobei die siebte Funktion 84 eine scharfe Auszeichnung, insbesondere verglichen mit der vierten Funktion 78, aufweist. Eine achte Funktion 86 zeigt zweite Messwerte 28 von einem oberen Rand einer Abbildung, wobei die achte Funktion 86 eine scharfe Auszeichnung, insbesondere im Vergleich zu der fünften Funktion 80, aufweist. Die neunte Funktion 88 zeigt die Fokusregelungseingangsgrößen 32, welche sich mittels der ersten Messwerte 22 der siebten Funktion 84 und der zweiten Messwerte 28 der achten Funktion 86 ergeben. Die neunte Funktion 88 weist eine scharfe Auszeichnung, beispielsweise im Vergleich zu der sechsten Funktion 82 auf.

**[0142]** Eine zehnte Funktion 90 zeigt erste Messwerte 22 eines unteren Rands einer Abbildung, wobei die zehnte Funktion 90 eine schwache Auszeichnung aufweist, insbesondere im Vergleich zur siebten Funktion 84 und zur vierten Funktion 78. Eine elfte Funktion 92 zeigt zweite Messwerte 28 von einem oberen Rand einer Abbildung, wobei die elfte Funktion 92 eine schwache Auszeichnung aufweist, insbesondere im Vergleich zu der achten Funktion 86 und/oder zu der fünften Funktion 80. Eine zwölfte Funktion 94 zeigt Fokusregelungseingangsgrößen 32, welche sich aus der zehnten Funktion 90 und aus der elften Funktion 92 ergeben. Die zwölfte Funktion 94 weist eine schwache Auszeichnung auf, insbesondere im Vergleich zu der neunten Funktion 88 und zu der sechsten Funktion 82. Die zwölfte Funktion 94 kann zur Autofokussierung am vorteilhaftesten sein, im Vergleich zur neunten Funktion 88 und zur sechsten Funktion 82, da die zwölfte Funktion 94 im Vergleich zu der neunten Funktion 88 und zu der sechsten Funktion 82 die größte Steigung um das Regelziel aufweist.

**[0143]** Das in **Fig. 2** dargestellte zweite Ausführungsbeispiel kann prinzipiell ebenfalls wie das erste Ausführungsbeispiel wie in **Fig. 1A** dargestellt ausgestaltet sein. Das zweite Ausführungsbeispiel weist mehrere erste Strahlengänge 18 und mehrere zweite Strahlengänge 25 auf. Bei dem in **Fig. 2** dargestellten Ausführungsbeispiel wurde, insbesondere zur Veranschaulichung, wiederum ein unterschiedlicher Abstand der Objektebenen des Abbildungsstrahlengangs 34 und der Objektebenen 44, 46 der ersten Strahlengänge und der zweiten Strahlengänge gewählt.

**[0144]** Eine Trennung des Abbildungsstrahlengangs 34 von den ersten Strahlengängen 18 und den zweiten Strahlengängen 25 ist hier beispielsweise als spektrale Trennung ausgestaltet. Der Strahlteiler 52 kann beispielsweise als RGB-X-Cube ausgestaltet sein und kann bevorzugt kombiniert sein mit einer RGB-Kamera als erstem Detektor 12. Alternativ zu der spektralen Trennung der Strahlengänge wäre aber auch eine zeitliche Trennung denkbar, beispielsweise mittels einer sequentiellen Aufnahme

von Bildern der Objektebene 44 des ersten Lichtstrahls, der Objektebene 46 des zweiten Lichtstrahls und der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs 34, beispielsweise mittels schaltender Blenden. Dies kann beispielsweise sinnvoll sein, wenn eine Pixelzahl des ersten Detektors 12 niedrig gehalten werden soll, so dass eine RGB-Ausführung des Sensors 10 zu geringe Pixeldichten für ein hinreichend dichtes Abtasten des Objektraums 17 aufweisen würde.

**[0145]** Beispielsweise kann der Abbildungsstrahlengang 34 des in **Fig. 2** dargestellten Ausführungsbeispiels eingerichtet sein, um eine Abbildung mittels grünem Licht auf dem ersten Detektor 12 scharfzustellen. Bei dem Abbildungsstrahlengang 34 kann es sich beispielsweise um einen hochauflösenden und zur lateralen Vermessung von Messobjekten geeigneten Strahlengang handeln. Beispielsweise können die ersten Strahlengänge 18 und die zweiten Strahlengänge 25 eingerichtet sein, um rotes und/oder blaues Licht zur Ermittlung der Abstände der Objektebenen 44 des ersten Lichtstrahls und der Objektebenen 46 des zweiten Lichtstrahls von einem Teil des Sensors 10 oder von einem Referenzpunkt zu nutzen. Beispielsweise können sowohl mittels eines roten Lichtstrahls als auch mittels eines blauen Lichtstrahls orts aufgelöst Fokuskriterien, beispielsweise erste Messwerte 22 und/oder zweite Messwerte 28, ermittelt werden.

**[0146]** Mittels einer Differenzbildung aus ersten Messwerten 22 und zweiten Messwerten 28 kann eine ortsabhängige Fokusregelungseingangsgröße erfasst werden. Beispielsweise kann es vorteilhaft sein, wenn die Objektebene des Abbildungsstrahlengangs 34 und die Objektebene 44 des ersten Lichtstrahls und die Objektebene 46 des zweiten Lichtstrahls einen gemeinsamen Punkt auf der optischen Achse 60, insbesondere auf der optischen Achse 60 des Abbildungsstrahlengangs 34, haben, beispielsweise derart, dass der Abbildungsstrahlengang 34 und/oder der erste Strahlengang 96 und/oder der zweite Strahlengang 98 zu einem direkten Scharfstellen des Abbildungsstrahlengangs 34 verwendet werden können.

**[0147]** Um eine Funktion der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 zu optimieren oder zu verändern, sind mehrere Möglichkeiten denkbar, insbesondere um ein Verhältnis zwischen dem Fangbereich und der Steilheit bei dem Regelziel für eine jeweilige Anwendung zu optimieren. Beispielsweise kann, um eine Änderung der Funktion der Fokusregelungseingangsgröße 32 in Abhängigkeit von einem Abstand 38 zu erzielen, eine Änderung der optischen Anordnung 14 durchgeführt werden und/oder eine Änderung des verwendeten Fokuskriteriums. Eine Größe des Fangbereichs zur Fokusregelung hängt beispielsweise von

einem Abstand der Objektebene des ersten Lichtstrahls 44 zu der Objektebene des zweiten Lichtstrahls 46 ab, beispielsweise von einem Abstand von parallelen Objektebenen. Weiterhin kann die Größe des Fangbereichs von einem Winkel abhängen, um den die Objektebenen gegeneinander geneigt sind.

**[0148]** Das in den **Fig. 3A** und **Fig. 3B** dargestellte dritte Ausführungsbeispiel des neuen Sensors 10 kann ebenfalls grundsätzlich wie das Ausführungsbeispiel der **Fig. 1A** und **Fig. 1B** ausgestaltet sein. Allerdings kann das in **Fig. 3A** dargestellte Ausführungsbeispiel anstelle des RGB-X-Cube einen Strahlteiler 52 aufweisen, welcher mit einem grünen Bandpass, beispielsweise einem Notch-Filter beschichtet sein kann. Beispielsweise kann der Strahlteiler 52 derart ausgestaltet sein, dass er Nicht-Grün-Komponenten in zwei Lichtstrahlen aufteilt, welche dann eine identische spektrale Zusammensetzung aufweisen. Insbesondere kann der Strahlteiler 52 derart ausgestaltet sein, dass er den Strahl in den ersten Lichtstrahl 20 und den zweiten Lichtstrahl 26 aufteilen oder vereinigen kann.

**[0149]** Beispielsweise kann die optische Anordnung 14 des dritten Ausführungsbeispiels des neuen Sensors 10 chromatisch-längs-unterkorrigierte Optiken aufweisen. Beispielsweise kann der Sensor 10 um einen chromatischen Längsfehler gegeneinander versetzte geneigte Objektebenen 44, 46 des ersten Lichtstrahls und des zweiten Lichtstrahls aufweisen. Insbesondere kann die Objektebene eines ersten Strahlengangs 96 gegenüber einer Objektebene eines zweiten Strahlengangs 98 versetzt und geneigt sein. Die Fokusregelungseingangsgröße kann beispielsweise mittels einer ersten Strahlenganglinie 18 des ersten Strahlengangs 96 und einer zweiten Strahlenganglinie 25 des ersten Strahlengangs 96 oder mittels einer ersten Strahlenganglinie 18 und einer zweiten Strahlenganglinie 25 des zweiten Strahlengangs 98 bestimmt werden, insbesondere unter Ausnutzung zueinander parallel versetzter Objektebenen. Alternativ hierzu kann die Fokusregelungseingangsgröße mittels einer ersten Strahlenganglinie 18 des ersten Strahlengangs 96 und einer zweiten Strahlenganglinie 25 des zweiten Strahlengangs 98 erfasst werden, insbesondere unter Ausnutzung zueinander geneigter Objektebenen. Eine Abbildung von zwei zueinander geneigten Objektebenen kann beispielsweise auf jeweils einem Teil, beispielsweise einer Hälfte, des ersten Detektors 12, insbesondere eines RGB-Kamera-Chips, erfolgen. Beispielsweise kann eine Abbildung der Objektebene des Abbildungsstrahlengangs 34 auf dem ersten Detektor 12 vollständig bezüglich grünem Licht erfolgen. Insbesondere kann eine Verwendung von grünem Licht für den Abbildungsstrahlengang 34 eine Ausnutzung der kompletten Detektoroberfläche ermöglichen.

**[0150]** **Fig. 3B** zeigt ein Chip-Pattern des ersten Detektors 12 des in **Fig. 3A** gezeigten Ausführungsbeispiels des neuen Sensors 10. Das Chip-Pattern ist exemplarisch als RGB-Bayer-Pattern dargestellt. Beispielsweise können auch andere Pattern zum Einsatz kommen, insbesondere sogenannte hyperspektrale Sensoren, mit welchen beispielsweise mehrere chromatisch gegeneinander verschobene geneigte Objektebenen aufgenommen werden können. Das in **Fig. 3A** und **Fig. 3B** dargestellte Ausführungsbeispiel zeigt exemplarisch eine Ausführungsform, bei welcher an jedem Ort der gegeneinander geneigten Objektebenen farbusabhängig der gleiche Einfallswinkel vorliegt. Hierdurch kann beispielsweise eine Stabilisierung von Messergebnissen gegenüber Einflüssen der Oberfläche des Messobjekts oder des Referenzobjekts erzielt werden. Beispielsweise kann auch bei dem in **Fig. 3A** dargestellten Ausführungsbeispiel ein zweiter Detektor zum Einsatz kommen. Auch ein Einsatz weiterer Detektoren wäre möglich.

**[0151]** In den **Fig. 4** und **Fig. 5** sind Ausführungsbeispiele des Sensors 10 dargestellt, bei welchen die optische Anordnung 14 derart ausgestaltet ist, dass eine Überlagerung des ersten Lichtstrahls 20 mit dem zweiten Lichtstrahl 26 und mit dem Abbildungsstrahlengang 34 erst auf dem ersten Detektor 12, insbesondere auf dem Kamerachip des ersten Detektors 12, erfolgt. Dies kann beispielsweise größere Freiheiten bei einem Design der optischen Anordnung 14 ermöglichen und kann beispielsweise Lichtverluste verringern, beispielsweise da kein Strahlteiler durchlaufen wird.

**[0152]** Die in den **Fig. 4** und **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispiele können prinzipiell wie das erste Ausführungsbeispiel angeordnet sein. Die in den **Fig. 4** und **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispiele können vorteilhaft bei einer Realisierung von drei Strahlengängen mit zueinander geneigten Objektebenen sein. Die drei Strahlengänge können beispielsweise um jeweils  $120^\circ$  versetzt um die optische Achse 60 des Abbildungsstrahlengangs 34 angeordnet sein. Dies kann insbesondere bei dem in **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispiel leicht realisierbar sein, da hier keine achsnahen Optikelemente benötigt werden. Das in **Fig. 5** dargestellte Ausführungsbeispiel kann beispielsweise bezüglich einer Verdichtung durch Faltung der Strahlengänge vorteilhaft sein, beispielsweise da der erste Detektor 12 achsnah positioniert sein kann.

**[0153]** Bei allen dargestellten Ausführungsbeispielen können beispielsweise für einen Fall, bei welchem das Messobjekt weniger oder keine Merkmale auf seiner Oberfläche aufweist, geeignete Merkmale auf die zu fokussierende Oberfläche des Messobjekts projiziert werden, beispielsweise durch Einspiegelung in ohnehin vorhandene Strahlengänge, ins-

besondere in den ersten Strahlengang 96 und/oder in den zweiten Strahlengang 98 und/oder in den Abbildungsstrahlengang 34, und/oder über zusätzliche Strahlengänge.

**[0154] Fig. 6** zeigt ein Ausführungsbeispiel des neuen Koordinatenmessgerätes 61, aufweisend einen der beschriebenen neuen Sensoren 10. Das Koordinatenmessgerät 61 kann beispielsweise einen Tastarm 62 aufweisen. Weiterhin kann das Koordinatenmessgerät 61 einen Messkopf 64 aufweisen. Beispielsweise kann der Messkopf 64 den Sensor 10 aufweisen. Weiterhin kann das Koordinatenmessgerät 61 eine Säule 66 aufweisen. Beispielsweise kann das Koordinatenmessgerät 61 eine Werkstückaufnahme 68 sowie eine Basis 70 aufweisen. Beispielsweise kann die Säule 66 relativ zu dem Messobjekt bewegt werden, beispielsweise mittels der Vorrichtung zur Fokusveränderung 36. Alternativ hierzu kann das Messobjekt zu dem Messkopf 64 bewegbar sein, beispielsweise mittels einer bewegbaren Werkstückaufnahme 68. Das Koordinatenmessgerät 61 kann weitere Sensoren aufweisen. Beispielsweise kann das Koordinatenmessgerät 61 ein Multisensorik-Koordinatenmessgerät sein. Mittels des neuen Sensors 10 oder des neuen Bausatzes kann beispielsweise das Koordinatenmessgerät 61 bezüglich des Messobjekts scharf gestellt werden. Beispielsweise kann der Abstand eines Sensors zu dem Messobjekt so eingestellt werden, dass eine messtechnischen Ansprüchen genügende Abbildungsgüte erreicht werden kann.

### Patentansprüche

1. Sensor zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften eines Messobjekts, das in einem Objektraum (17) angeordnet ist, wobei der Sensor (10) eine optische Anordnung (14) und eine Auswerte- und Steuereinrichtung (16) aufweist, wobei die optische Anordnung (14) einen ersten Detektor (12) aufweist und ein erstes Fokusprofil (19) mit einem ersten Maximum (39) entlang einer ersten Strahlenganglinie (18) in dem Objektraum (17) definiert, wobei die optische Anordnung (14) ein zweites Fokusprofil (21) mit einem zweiten Maximum (41) entlang einer zweiten Strahlenganglinie (25) in dem Objektraum (17) definiert, wobei das erste Fokusprofil (19) und das zweite Fokusprofil (21) koexistierende Fokusprofile sind, wobei die Auswerte- und Steuereinrichtung (16) eingerichtet ist, um aus einem ersten Messwert (22) des ersten Fokusprofils (19) und einen zweiten Messwert (28) des zweiten Fokusprofils (21) eine Fokusregelungseingangsgröße (32) zu bestimmen, wobei der erste Detektor (12) eingerichtet ist, um den ersten Messwert (22) mittels eines von einem Objekt ausgehenden ersten Lichtstrahls (20) zu erfassen, und wobei die optische Anordnung (14) eingerichtet ist, um den ersten Lichtstrahl (20) entlang der ersten Strahlen-

ganglinie (18) von dem Objekt zu dem ersten Detektor (12) zu führen, wobei der erste Detektor (12) ferner eingerichtet ist, um den zweiten Messwert (28) mittels eines von dem Objekt ausgehenden zweiten Lichtstrahls (26) zu erfassen, wobei die optische Anordnung (14) eingerichtet ist, um den zweiten Lichtstrahl (26) entlang der zweiten Strahlenganglinie (25) von dem Objekt zu dem ersten Detektor (12) zu führen, und wobei die optische Anordnung (14) derart eingerichtet ist, dass eine Objektebene (44) des ersten Lichtstrahls ungleich einer Objektebene (46) des zweiten Lichtstrahls ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Objektebene (44) des ersten Lichtstrahls einen Winkel (48) zu der Objektebene (46) des zweiten Lichtstrahls aufweist.

2. Sensor nach Anspruch 1, wobei die Auswerte- und Steuereinrichtung (16) ausgestaltet ist, um mittels einer Differenzbildung aus dem ersten Messwert (22) und aus dem zweiten Messwert (28) die Fokusregelungseingangsgröße (32) zu bestimmen.

3. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die optische Anordnung (14) einen Abbildungsstrahlengang (34) aufweist, wobei die optische Anordnung (14) eine Vorrichtung zur Fokusveränderung (36) aufweist, wobei die Auswerte- und Steuereinrichtung (16) ausgebildet ist, um mittels der Fokusregelungseingangsgröße (32) den Abbildungsstrahlengang (34) hinsichtlich des Messobjekts scharf zu stellen.

4. Sensor nach Anspruch 3, wobei die Vorrichtung zur Fokusveränderung (36) eingerichtet ist, um mit einem einzigen Schritt den Abbildungsstrahlengang (34) hinsichtlich des Messobjekts scharf zu stellen.

5. Sensor nach einem der Ansprüche 3 oder 4, wobei die erste Strahlenganglinie (18) zumindest teilweise Teil des Abbildungsstrahlengangs (34) ist.

6. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die optische Anordnung (14) derart eingerichtet ist, dass das erste Maximum (39) eine erste Halbwertsbreite (40) aufweist und dass das zweite Maximum (41) eine zweite Halbwertsbreite (42) aufweist, wobei bei Darstellung des ersten Fokusprofils (19) und des zweiten Fokusprofils (21) in Abhängigkeit von einer senkrechten Projektion auf eine Achse (60) eine Distanz (24) zwischen dem ersten Maximum (39) und dem zweiten Maximum (41) ein 0,1- bis 4-faches, bevorzugt ein 0,5- bis 2,5-faches, besonders bevorzugt ein 1,0- bis 1,7-faches des Mittelwerts der ersten Halbwertsbreite (40) und der zweiten Halbwertsbreite (42) beträgt.

7. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Objektebene des ersten Licht-

strahls (44) gegenüber der Objektebene des zweiten Lichtstrahls (46) versetzt ist.

8. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Lichtstrahl (20) und der zweite Lichtstrahl (26) ein Lichtstrahlenbündel (50) bilden, das von dem Messobjekt ausgeht.

9. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die optische Anordnung (14) eine Trennvorrichtung (58) aufweist, wobei die Trennvorrichtung (58) eingerichtet ist, um den ersten Lichtstrahl (20) von dem zweiten Lichtstrahl (26) zu trennen.

10. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die optische Anordnung (14) einen Strahlteiler (52) aufweist, wobei die optische Anordnung (14) eingerichtet ist, um mittels des Strahlteilers (52) eine Überlagerung des ersten Lichtstrahls (20) mit dem zweiten Lichtstrahl (26) oder eine Teilung des ersten Lichtstrahls (20) von dem zweiten Lichtstrahl (26) zu erzielen.

11. Koordinatenmessgerät aufweisend einen Sensor (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

12. Bausatz zum Nachrüsten eines Sensors zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften eines Messobjekts, das in einem Objektraum (17) angeordnet ist, wobei der Sensor eine optische Anordnung (14) und eine Auswerte- und Steuereinrichtung (16) aufweist, wobei die optische Anordnung (14) einen ersten Detektor (12) aufweist, wobei die optische Anordnung (14) einen Abbildungsstrahlengang (34) aufweist, wobei die optische Anordnung (14) ein erstes Fokusprofil (19) mit einem ersten Maximum (39) entlang des Abbildungsstrahlengangs (34) in dem Objektraum (17) definiert, wobei die Auswerte- und Steuereinrichtung (16) eingerichtet ist, um einen ersten Messwert (22) des ersten Fokusprofils (19) zu erfassen, wobei der Bausatz eine Schnittstelle zu dem Sensor aufweist, wobei der Bausatz eine optische Ergänzungsanordnung aufweist, wobei die optische Ergänzungsanordnung ein zweites Fokusprofil (21) mit einem zweiten Maximum (41) entlang einer zweiten Strahlenganglinie (25) in dem Objektraum (17) definiert, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schnittstelle zu dem Sensor eingerichtet ist, um die Auswerte- und Steuereinrichtung (16) des Sensors mit einem zweiten Messwert (28) des zweiten Fokusprofils (21) zu beaufschlagen.

13. Verfahren zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften eines Messobjekts, mit den Schritten:

- Bereitstellen eines Sensors (10) mit einer optischen Anordnung (14) und einer Auswerte- und

Steuereinrichtung (16), wobei die optische Anordnung (14) einen ersten Detektor (12) aufweist und ein erstes Fokusprofil (19) mit einem ersten Maximum (39) entlang einer ersten Strahlenganglinie (18) in dem Objektraum (17) definiert, wobei die optische Anordnung (14) ein zweites Fokusprofil (21) mit einem zweiten Maximum (41) entlang einer zweiten Strahlenganglinie (25) in dem Objektraum (17) definiert, wobei das erste Fokusprofil (19) und das zweite Fokusprofil (21) koexistierende Fokusprofile sind,

- Erfassung eines ersten Messwerts (22) des ersten Fokusprofils (19) mittels eines von einem Objekt ausgehenden ersten Lichtstrahls (20) und des ersten Detektors (12), wobei die optische Anordnung (14) eingerichtet ist, um den ersten Lichtstrahl (20) entlang der ersten Strahlenganglinie (18) von dem Objekt zu dem ersten Detektor (12) zu führen,

- Erfassung eines zweiten Messwerts (28) des zweiten Fokusprofils (21) mittels eines von dem Objekt ausgehenden zweiten Lichtstrahls (26) und des ersten Detektors (12), wobei die optische Anordnung (14) eingerichtet ist, um den zweiten Lichtstrahl (26) entlang der zweiten Strahlenganglinie (25) von dem Objekt zu dem ersten Detektor (12) zu führen, und

- Bestimmung einer Fokusregelungseingangsgröße (32) aus dem ersten Messwert (22) und aus dem zweiten Messwert (28) mittels der Auswerte- und Steuereinrichtung (16), wobei die optische Anordnung (14) derart eingerichtet ist, dass eine Objektebene (44) des ersten Lichtstrahls ungleich einer Objektebene (46) des zweiten Lichtstrahls ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Objektebene (44) des ersten Lichtstrahls einen Winkel (48) zu der Objektebene (46) des zweiten Lichtstrahls aufweist.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1A

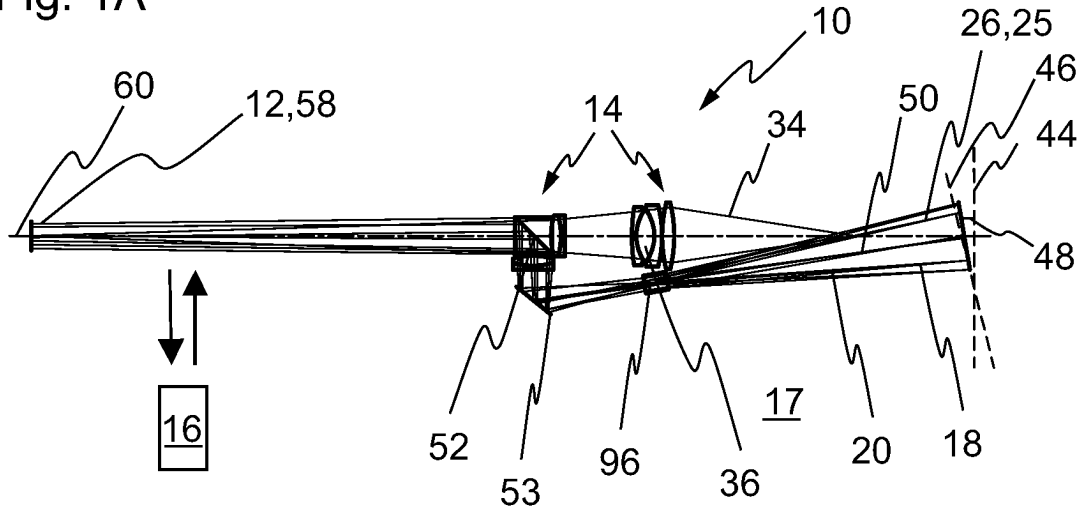


Fig. 1B

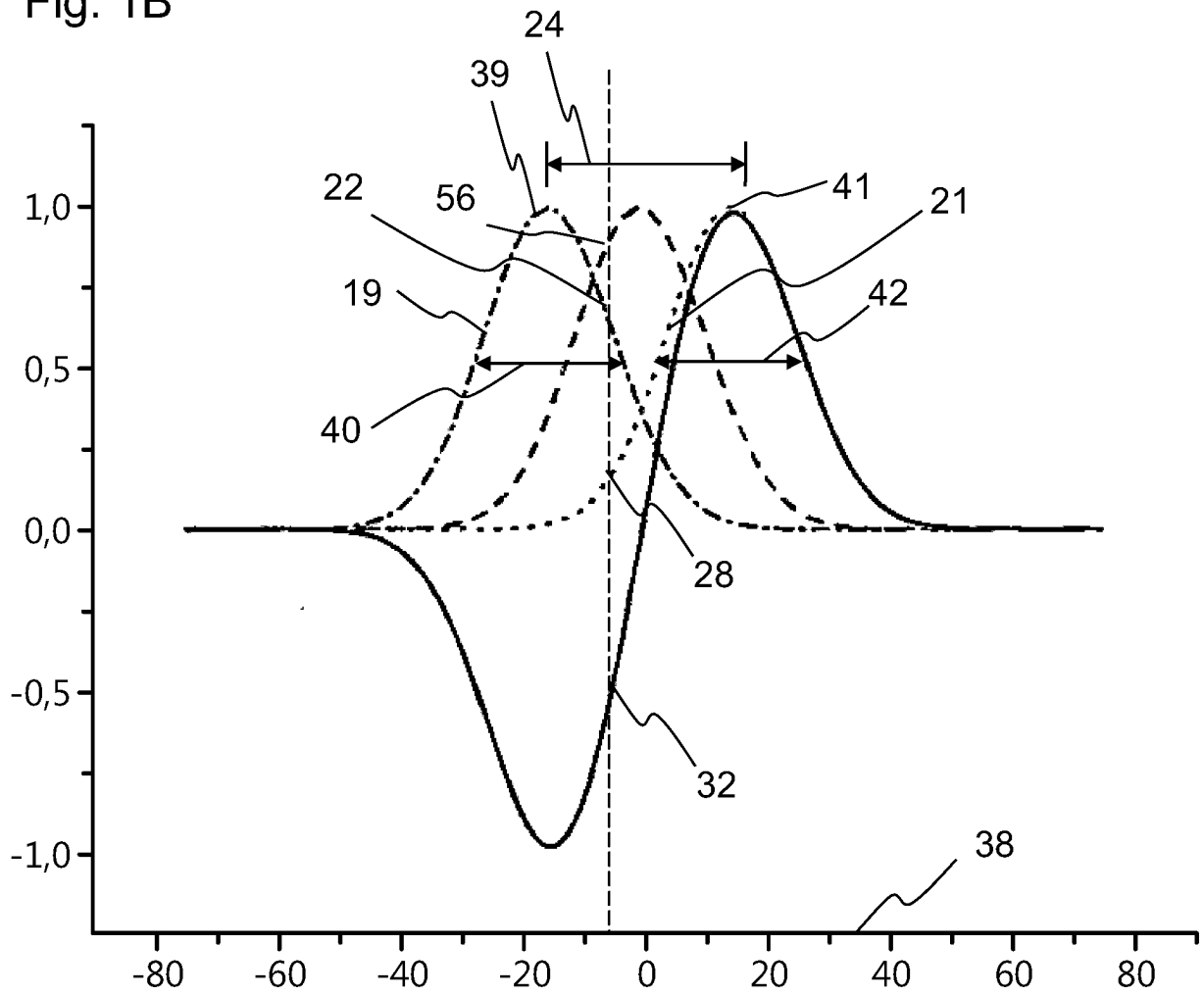


Fig. 1C

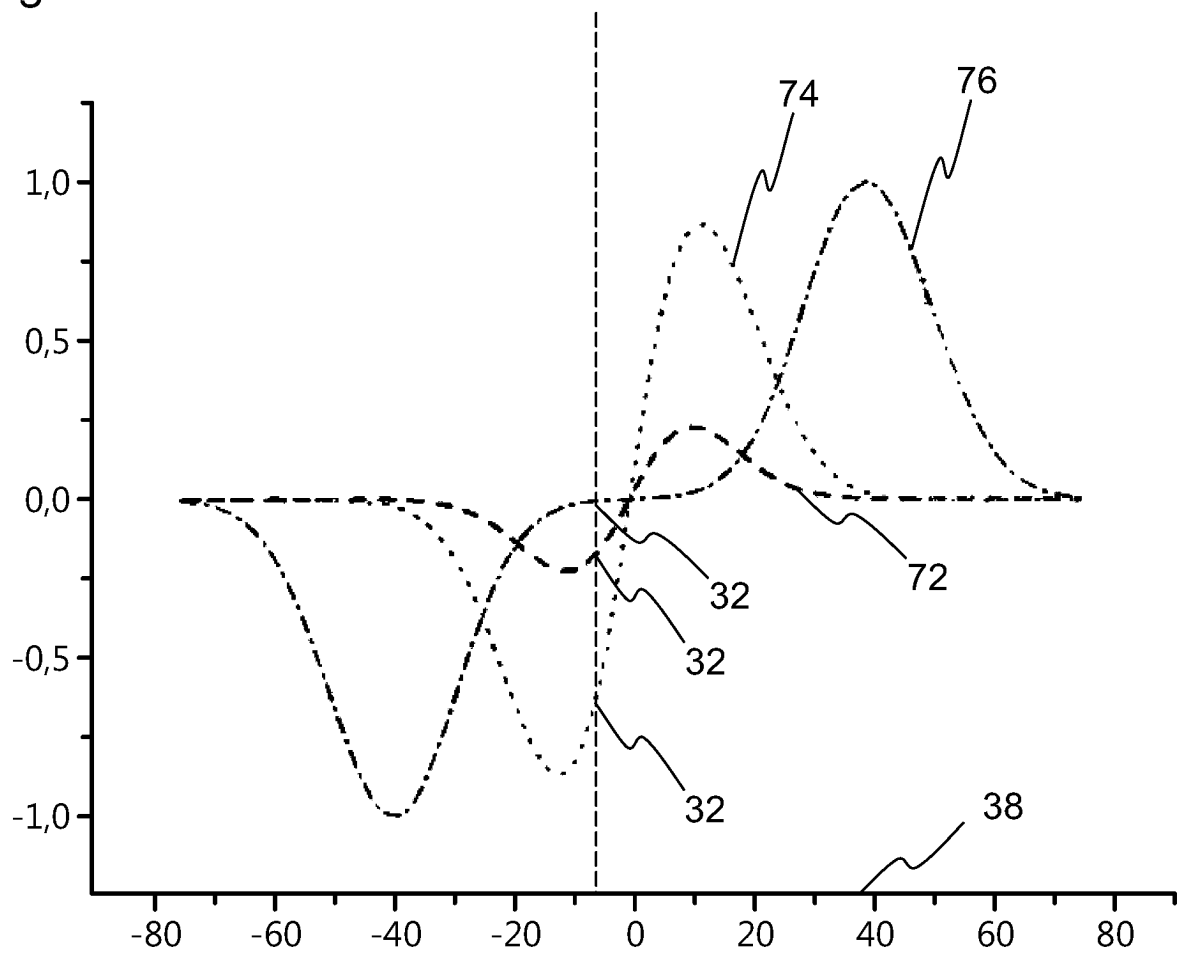




Fig. 2

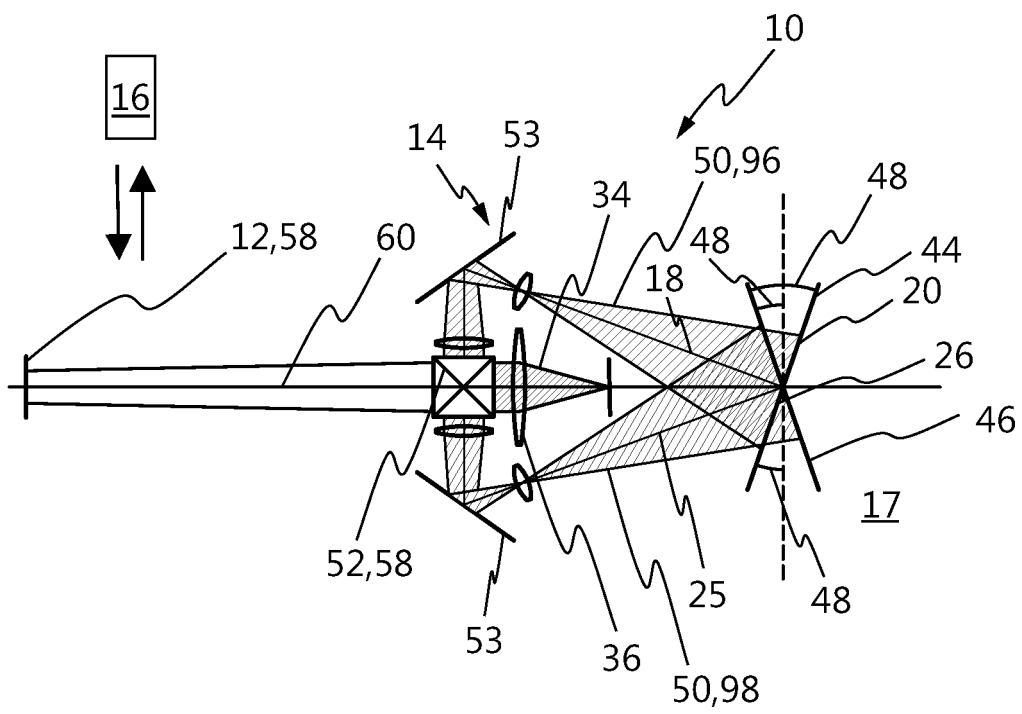


Fig. 3A

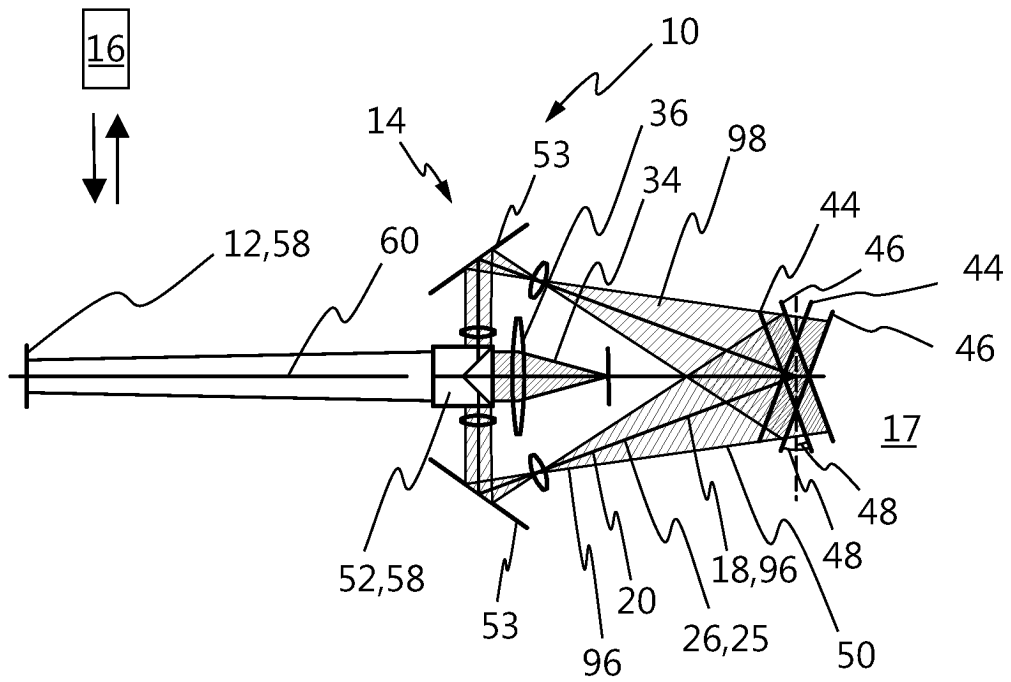


Fig. 3B

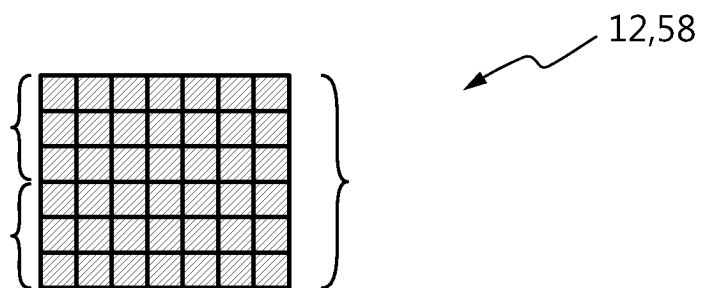


Fig. 4

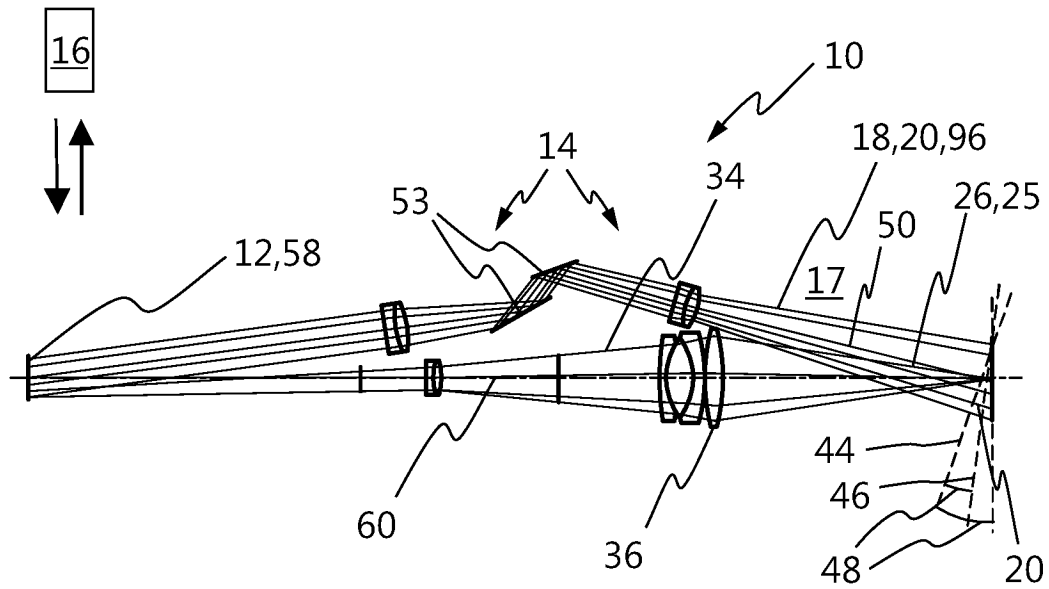


Fig. 5

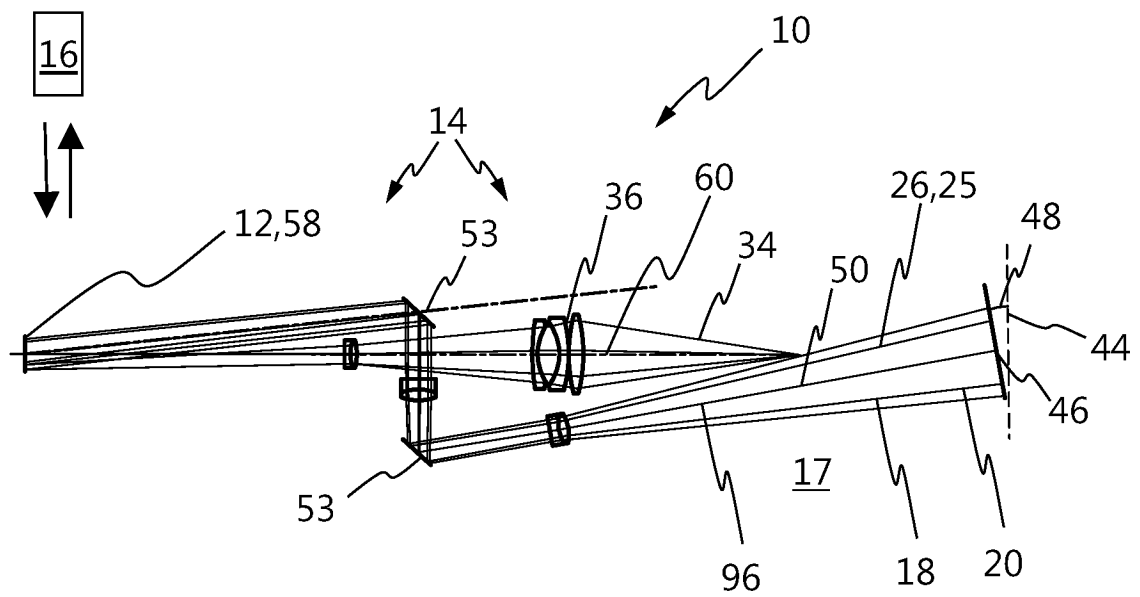


Fig. 6

