



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 016 274.8**
(22) Anmeldetag: **16.12.2015**
(43) Offenlegungstag: **22.06.2017**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **19.10.2023**

(51) Int Cl.: **G02B 27/62 (2006.01)**
G02B 26/08 (2006.01)
G01B 11/26 (2006.01)
G02B 27/30 (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:
**MBDA Deutschland GmbH, 86529
Schrobenhausen, DE**

(74) Vertreter:
**isarpatent - Patent- und Rechtsanwälte Barth
Hassa Peckmann und Partner mbB, 80801
München, DE**

(72) Erfinder:
**Senft, Christoph, Dr., 80333 München, DE;
Schneider, Michael, 85229 Markt Indersdorf, DE;
Mohring, Bernd, Dr., 86529 Schrobenhausen, DE;
Tassini, Leonardo, Dr., 80796 München, DE;
Theobald, Christian, Dr., 86153 Augsburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

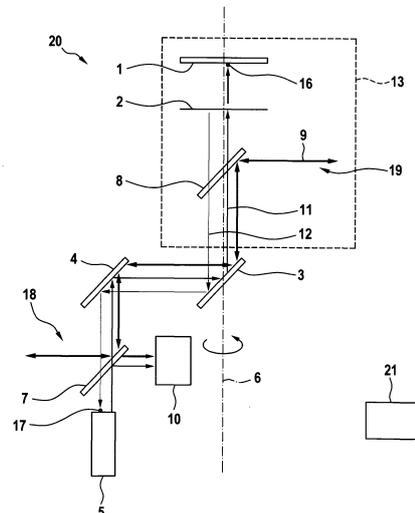
(54) Bezeichnung: **Optisches System und Verfahren zum Justieren eines Signalstrahls**

(57) Hauptanspruch: Optisches System (20), umfassend

- einen Signaleingang (18) zum Aufnehmen eines Signalstrahls (9),
- einen Signalausgang (19) zum Ausgeben des Signalstrahls (9),
- eine Hilfslichtquelle zum Aussenden eines Hilfsstrahls (11), wobei der Hilfsstrahl (11) in Winkel und Position zu dem Signalstrahl (9) synchron ist,
- ein Rotationssystem (13), wobei das Rotationssystem (13) um eine Rotationsachse (6) rotierbar ist, und
- einen Achseinkoppelspiegel (3) zum Einkoppeln des Signalstrahls (9) und des Hilfsstrahls (11) in das Rotationssystem (13),
- wobei das Rotationssystem (13) aufweist:
 - o einen Signalauskoppelspiegel (8) zum Auskoppeln des Signalstrahls (9) aus dem Rotationssystem (13), und
 - o einen Referenzspiegel (2),
- wobei der Signalstrahl (9) von dem Signaleingang (18) über den Achseinkoppelspiegel (3) zu dem Signalauskoppelspiegel (8) lenkbar ist, und der Hilfsstrahl (11) über den Achseinkoppelspiegel (3) durch den Achsauskoppelspiegel (8) auf den Referenzspiegel (2) lenkbar ist, wobei von dem Referenzspiegel (2) der Hilfsstrahl (11) zumindest teilweise zu einem Reflexionshilfsstrahls (12) rückreflektierbar ist,
- wobei das optische System (20) ferner einen Winkelsensor umfasst, über den eine Winkelabweichung zwischen dem Hilfsstrahl (11) und dem Reflexionshilfsstrahl (12) erfassbar ist, und
- wobei der Achseinkoppelspiegel (3) und der Referenzspiegel (2) verkipptbar sind, um anhand der gemessenen Winkelabweichung den Signalstrahl (9) parallel zu der

Rotationsachse (6) auszurichten;

- weiterhin umfassend eine Reflexionshilfsstrahlprojektion (17), welche auf dem Winkelsensor eine erste Kreisbahn beschreibt, wenn das Rotationssystem (13) rotiert, wobei durch ein Verkippen des Referenzspiegels (2) ein erster Radius (α_x) der ersten Kreisbahn und durch Verkippen des Achseinkoppelspiegels (3) erste Mittelpunktkoordinaten (α_x, α_y) der ersten Kreisbahn beeinflussbar sind,
- weiterhin umfassend einen Rotationseinkoppelspiegel (4), wobei der Signalstrahl (9) und der Hilfsstrahl (10) über den Rotationseinkoppelspiegel (4) in das Rotationssystem (13) ...



(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	25 36 903	A1
DE	39 42 922	A1
US	4 108 551	A
US	3 918 813	A
US	4 902 128	A

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein optisches System. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Justieren eines optischen Strahls, insbesondere eines Signalstrahls, wobei bevorzugt ein derartiges optisches System verwendet wird. Mit dem erfindungsgemäßen optischen System und dem erfindungsgemäßen Verfahren ist insbesondere ein Signalstrahl räumlich, insbesondere in Winkel und Position, stabilisierbar.

[0002] Wird ein optischer Strahl über eine rotierbare Anordnung geführt, so erfährt der Strahl eine Rotation um die momentane reale mechanische Rotationsachse. Eine solche rotierbare Anordnung kann insbesondere ein Coude-Strahlengang sein. Der optische Strahl kann insbesondere ein Laserstrahl oder ein abbildender Strahl sein.

[0003] Um eine Abbildung in einem derartigen rotierenden System zu stabilisieren oder um einen rotationssymmetrischen Strahl ortsfest zu stabilisieren, muss der Strahl exakt auf die reale mechanische Rotationsachse justiert werden. Außerdem darf der Strahl besagte Rotationsachse auch während der Rotation nicht verlassen. In vorhandenen optischen Systemen können diese Voraussetzungen nicht oder nur bedingt eingehalten werden.

[0004] Die Druckschrift DE 39 429 22 A1 beschreibt eine Vorrichtung zum optischen Messen von Winkeln, welche einen drehbaren Tragarm mit zwei in einem variablen Abstand angeordneten und um drei Achsen einstellbaren Strahlenteilern enthält.

[0005] Die Druckschrift US 4 108 551 A beschreibt ein periskopisches Gerät mit einem außerhalb des Fahrzeugs angeordneten, stabilisierten panoramischen Zielfernrohr und einem entsprechenden, innerhalb des Fahrzeugs angeordneten Sichtrohr mit mindestens einem Augenstück.

[0006] Die Druckschrift DE 25 36 903 A1 beschreibt einen Kollimator, der über ein optisches System mit drei Streifen verfügt, dessen Länge ausreicht, um den Abstand zwischen dem optischen System des Senders und anderen optischen Systemen, wie etwa Empfänger, Visiereinrichtung und eventuell Kameratubus, zu überbrücken.

[0007] Die Druckschrift US 4 902 128 A beschreibt eine Vorrichtung zur Harmonisierung der optischen/optronischen Achsen eines Zielgeräts, das aus einem Tagsichtkanal und einem kombinierten Wärmebild-/Laserempfangskanal mit einem eigenständigen Lasersender besteht, auf eine gemeinsame Bezugsachse.

[0008] Die Druckschrift US 3 918 813 A beschreibt eine optische Sichtausrichtungseinheit, die einen Kollimator auf einem Hauptkörper enthält, der optisch auf einen Strahlenteilerwürfel gerichtet ist, der sich in einem optischen Sichtsystem befindet, wobei die dem Kollimator gegenüberliegende Fläche des Würfels reflektierend ist und der Kollimator eine beleuchtete Strichplatte enthält, wodurch der Kollimator ein Bezugsbild der Strichplatte erzeugt, das durch das gleiche optische Sichtsystem wie das Bild gerichtet ist.

[0009] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein optisches System bereitzustellen, das bei einfacher und kostengünstiger Herstellung und Montage eine sichere und zuverlässige Stabilisierung eines Signalstrahls auf der Rotationsachse eines rotierbaren Systems ermöglicht. Es ist außerdem Aufgabe der Erfindung, ein entsprechendes Verfahren anzugeben.

[0010] Gelöst wird die Aufgabe durch die Merkmale der nebengeordneten Ansprüche. Somit wird die Aufgabe gelöst durch ein optisches System, das einen Signaleingang, einen Signalausgang, eine Hilfslichtquelle und ein Rotationssystem umfasst. An dem Signaleingang ist ein Signalstrahl aufnehmbar. An dem Signalausgang ist der Signalstrahl ausgebbar. Bei dem Signalstrahl kann es sich um einen abbildenden Strahl handeln. Alternativ oder zusätzlich kann der Signalstrahl ein hochenergetischer Strahl, wie insbesondere ein Laserstrahl, sein. Mit der Hilfslichtquelle ist ein Hilfslichtstrahl aussendbar. Dabei ist vorgesehen, dass der Hilfslichtstrahl in Winkel und Position zu dem Signalstrahl synchron ist. Alternativ kann der Hilfslichtstrahl aus dem Signalstrahl ausgekoppelt werden. Das Rotationssystem ist um eine Rotationsachse rotierbar und weist einen Signalauskoppelspiegel und einen Referenzspiegel auf. Außerdem weist das optische System einen Achseinkoppelspiegel auf. Mit dem Achseinkoppelspiegel sind der Signalstrahl und der Hilfsstrahl in das Rotationssystem einkoppelbar. Mit dem Signalauskoppelspiegel wiederum ist der Signalstrahl aus dem Rotationssystem auskoppelbar. Besonders vorteilhaft ist vorgesehen, dass der Signalstrahl von dem Signalauskoppelspiegel unmittelbar zu dem Signalausgang leitbar ist. Dazu erfolgt vorteilhafter Weise keine Beeinflussung des Signalstrahls.

[0011] Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Rotationsachse den Achseinkoppelspiegel, den Signalauskoppelspiegel und den Referenzspiegel schneidet. Weiterhin ist vorgesehen, dass der Signalstrahl von dem Signaleingang über den Achseinkoppelspiegel zu dem Signalauskoppelspiegel lenkbar ist. Der Hilfsstrahl wiederum ist über den Achseinkoppelspiegel und durch den Achsauskoppelspiegel hindurch auf den Referenzspiegel lenkbar. Von dem

Referenzspiegel ist der Hilfsstrahl zumindest teilweise zu einem Reflexionshilfsstrahl rückreflektierbar. Somit verläuft der Reflexionshilfsstrahl insbesondere durch den Achsauskoppelspiegel hindurch und über den Achseinkoppelspiegel zurück zu der Hilfslichtquelle. Weiterhin ist vorgesehen, dass das optische System einen Winkelsensor umfasst. Mit dem Winkelsensor ist eine Winkelabweichung zwischen dem Hilfsstrahl und dem Reflexionshilfsstrahl erfassbar. Es ist ersichtlich, dass bei Nichtrotieren des Rotationssystems eine derartige Winkelabweichung nur dann vorhanden ist, wenn der Referenzspiegel inkorrekt eingestellt ist. Somit kann durch Verkippen des Referenzspiegels die Winkelabweichung beeinflusst werden. Sollte bei rotierendem Rotationssystem eine Winkelabweichung vorhanden sein, so sind der Signalstrahl und der Hilfsstrahl nicht auf die Rotationsachse ausgerichtet. Somit ist durch Verkippen des Achseinkoppelspiegels die Winkelabweichung beeinflussbar. Das optische System ermöglicht daher durch Verkippen des Achseinkoppelspiegels den Signalstrahl unter Bestimmung der Winkelabweichung parallel zu der Rotationsachse auszurichten, wobei insbesondere ein zusätzliches Verkippen des Referenzspiegels zum Ausrichten des Reflexionshilfsstrahls erfolgt.

[0012] Besonders vorteilhaft eignet sich das optische System für verschiedene Arten von Signalstrahlen. So kann der Signalstrahl ein abbildender Strahl oder ein Laserstrahl sein. Durch das synchrone Einkoppeln des Hilfsstrahls, bedingt eine Ausrichtung des Hilfsstrahls parallel zu der Rotationsachse, dass auch der Signalstrahl zwingend parallel zu der Rotationsachse ausgerichtet ist. Der Hilfsstrahl lässt sich über den Referenzspiegel leicht reflektieren, sodass eine Messung von Winkelabweichungen ermöglicht ist. Die Winkelabweichungen gelten daher sowohl für den Hilfsstrahl als auch für den Signalstrahl.

[0013] Erfindungsgemäß beschreibt eine Reflexionshilfsstrahlprojektion des Reflexionshilfsstrahls auf dem Winkelsensor eine erste Kreisbahn, wenn das Rotationssystem rotiert. Dabei ist durch Verkippen des Referenzspiegels ein erster Radius der ersten Kreisbahn beeinflussbar. Durch Verkippen des Achseinkoppelspiegels sind erste Mittelpunktkoordinaten der ersten Kreisbahn beeinflussbar. Es ist somit ersichtlich, dass die Winkelabweichung durch Verkippen des Achseinkoppelspiegels und des Referenzspiegels beeinflussbar sind. Insbesondere sind die Beeinflussungen der Winkelabweichung durch Referenzspiegel und Achseinkoppelspiegel unabhängig voneinander. So kann der Hilfsstrahl und damit der Signalstrahl durch Verkippen des Achseinkoppelspiegels parallel zu der Rotationsachse des Rotationssystems ausgerichtet werden, wobei insbesondere ein Verkippen des Referenzspiegels zum Ausrichten des Reflexionshilfsstrahls erfolgt.

[0014] Erfindungsgemäß weist das optische System einen Rotationseinkoppelspiegel auf. Der Signalstrahl und der Hilfsstrahl sind über den Rotationseinkoppelspiegel in vorteilhafter Weise in das Rotationssystem einkoppelbar. Insbesondere sind der Hilfsstrahl und der Signalstrahl über den Rotationseinkoppelspiegel auf den Achseinkoppelspiegel lenkbar. Der Rotationseinkoppelspiegel ist vorteilhafter Weise verkipfbar, um eine Position des Signalstrahls und des Hilfsstrahls einzustellen.

[0015] Erfindungsgemäß weist das Rotationssystem einen Positionsdetektor auf. Mit dem Positionsdetektor ist eine Hilfsstrahlprojektion des Hilfsstrahls detektierbar. Besonders vorteilhaft ist der Positionsdetektor derart angeordnet, dass die Rotationsachse des Rotationssystems den Positionsdetektor schneidet. Der Hilfsstrahl ist durch den Referenzspiegel teilweise zu dem Reflexionshilfsstrahl rückreflektierbar und teilweise durch den Referenzspiegel hindurch zur Abbildung der Hilfsstrahlprojektion auf den Positionsdetektor leitbar. Durch eine derartige Anordnung beschreibt die Hilfsstrahlprojektion eine zweite Kreisbahn auf dem Positionsdetektor, wenn der Hilfsstrahl parallel zu der Rotationsachse ausgerichtet ist und die Rotationsvorrichtung rotiert. Die Kreisbahn erstreckt sich dabei um einen Mittelpunkt, wobei der Mittelpunkt demjenigen Punkt entspricht, an dem die Rotationsachse den Positionsdetektor schneidet. Es ist vorgesehen, dass durch Verkippen des Rotationseinkoppelspiegels der zweite Radius der zweiten Kreisbahn beeinflussbar ist.

[0016] Erfindungsgemäß weist das optische System eine Steuerungsvorrichtung auf. Die Steuerungsvorrichtung ist dabei eingerichtet, den Referenzspiegel zu verkippen, bis der erste Radius der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion auf dem Winkelsensor den Wert 0 ergibt. Auf diese Weise ist der Referenzspiegel derart ausgerichtet, dass die Rotationsachse den Referenzspiegel unter einem Winkel von 90° schneidet. Weiterhin ist die Steuerungsvorrichtung ausgebildet, den Achseinkoppelspiegel zu verkippen, bis die ersten Mittelpunktkoordinaten der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion auf dem Winkelsensor denjenigen Winkelkoordinaten entsprechen, aus denen der Hilfsstrahl ausgesandt worden ist. Insbesondere entsprechen diejenigen Winkelkoordinaten, aus denen der Hilfsstrahl ausgesandt worden ist, den Ursprungskoordinaten eines Koordinatensystems, in dem die erste Kreisbahn bestimmbar ist. Auf diese Weise ist keine Winkelabweichung zwischen dem Hilfsstrahl und dem Reflexionshilfsstrahl vorhanden. Dies bedeutet, dass der Hilfsstrahl und damit auch der Reflexionshilfsstrahl sowie der Signalstrahl parallel zu der Rotationsachse ausgerichtet sind. Zusätzlich ist die Steuerungsvorrichtung eingerichtet, den Rotationseinkoppelspiegel und den Achseinkoppelspiegel kombiniert zu verkippen, bis der zweite Radius der

zweiten Kreisbahn den Wert 0 ergibt. In diesem Fall sind der Hilfsstrahl und damit auch der Reflexionshilfsstrahl sowie der Signalstrahl auf die Rotationsachse verschoben. Somit ist der Signalstrahl auf der Rotationsachse stabilisiert, sodass eine Rotation des Rotationssystems, mit Ausnahme einer Drehung um sich selbst, nicht zu einer Beeinflussung des Signalstrahls führt.

[0017] Die Unteransprüche haben bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung zum Inhalt.

[0018] Vorteilhafter Weise ist der Winkelsensor und die Hilfslichtquelle in einer einzigen Vorrichtung zusammengefasst. Bei dieser einzigen Vorrichtung handelt es sich vorteilhafter Weise um einen Autokollimator. Somit ist feststellbar, unter welchem Winkel der Reflexionshilfsstrahl auf dem Autokollimator auftrifft. Dies ist vergleichbar mit dem Hilfsstrahl, sodass eine Winkelabweichung zwischen Reflexionshilfsstrahl und Hilfsstrahl erfassbar ist. Da die Hilfslichtquelle und der Winkelsensor in dem Autokollimator zusammengefasst sind, und da der Reflexionshilfsstrahl aufgrund der Rückreflexion durch den Referenzspiegel denselben optischen Weg wie der Hilfsstrahl zurücklegt, sind keine zusätzlichen optischen Systeme notwendig, um den Reflexionshilfsstrahl umzulenken. Die Bestimmung der Winkelabweichung durch den Autokollimator erfolgt daher auf sehr einfache und dennoch zuverlässige Art und Weise.

[0019] Das optische System weist bevorzugt einen Signaleinkoppelspiegel auf. Dazu ist vorgesehen, dass der Signalstrahl von dem Signaleingang teilweise über den Signaleinkoppelspiegel zu dem Achseinkoppelspiegel und teilweise über den Signaleinkoppelspiegel zu einem optischen Sensor leitbar ist. Besonders vorteilhaft ist derjenige Anteil des Signalstrahls, der zu dem Achseinkoppelspiegel leitbar ist, größer als derjenige Anteil des Signalstrahls, der zu dem optischen Sensor leitbar ist. Durch den Signaleinkoppelspiegel ist außerdem der Hilfsstrahl von der Hilfslichtquelle teilweise zu dem Achseinkoppelspiegel und teilweise zu dem optischen Sensor leitbar. Somit ist von dem optischen Sensor sowohl der Signalstrahl als auch der Hilfsstrahl erfassbar. Anhand von Messdaten des optischen Sensors sind somit der Signalstrahl und der Hilfsstrahl in Winkel und Position synchronisierbar. Dies führt vorteilhafter Weise dazu, dass jede Beeinflussung des Hilfsstrahls gleichbedeutend ist mit einer Beeinflussung des Signalstrahls. Da eine Winkelabweichung des Hilfsstrahls gegenüber dem Reflexionshilfsstrahl durch den Winkelsensor, insbesondere durch den Autokollimator, sehr einfach bestimmbar ist, lässt sich somit auch die Winkelabweichung des Signalstrahls auf sehr einfache Art und Weise bestimmen. Somit ist die Ausrichtung des Signalstrahls parallel zu der Rotationsachse sehr einfach möglich.

[0020] Außerdem ist besonders vorteilhaft vorgesehen, dass durch gemeinsames Verkippen des Rotationseinkoppelspiegels und des Achseinkoppelspiegels der Hilfsstrahl und damit auch der Signalstrahl parallel zu der Rotationsachse verschiebbar ist.

[0021] Die Hilfslichtquelle ist bevorzugt eine Laserlichtquelle. Somit ist besonders vorteilhaft vorgesehen, dass ein Autokollimator vorhanden ist, der einerseits ein Laserlicht aussendet, andererseits zur Detektion einer Rückreflexion dieses Laserlichts ausgebildet ist. Dabei ist das Laserlicht einfach und zuverlässig handhabbar, sodass sichere und zuverlässige Messungen erfolgen.

[0022] Zusätzlich kann vorgesehen sein, dass die Steuerungsvorrichtung eingerichtet ist, das Rotationssystem zum Rotieren um die Rotationsachse anzusteuern. Weiterhin ist die Steuerungsvorrichtung eingerichtet, die ersten Mittelpunktskoordinaten der ersten Kreisbahn zu bestimmen. Aus den ersten Mittelpunktskoordinaten der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion lässt sich eine notwendige Verkipfung für den Achseinkoppelspiegel bestimmen. Die notwendige Verkipfung des Achseinkoppelspiegels führt dazu, dass die Mittelpunktskoordinaten der ersten Kreisbahn auf diejenigen Koordinaten verschoben werden, von denen aus der Hilfsstrahl ausgesandt worden ist. Somit ist eine Verkipfung des Referenzspiegels nicht notwendig. Die Steuerungsvorrichtung ist weiterhin eingerichtet, den Achseinkoppelspiegel um die notwendige Verkipfung zu verkippen. Schließlich ist die Steuerungsvorrichtung eingerichtet, den Rotationseinkoppelspiegel und den Achseinkoppelspiegel kombiniert zu verkippen, bis der zweite Radius der zweiten Kreisbahn den Wert 0 ergibt.

[0023] Das optische System ist alternativ oder zusätzlich derart mit einer Steuerungsvorrichtung ausgebildet, dass die Steuerungsvorrichtung zum Ansteuern des Rotationssystems zum Rotieren um die Rotationsachse ausgebildet ist. Weiterhin ist die Steuerungsvorrichtung ausgebildet, die ersten Mittelpunktskoordinaten der ersten Kreisbahn sowie den zweiten Radius der zweiten Kreisbahn zu bestimmen. Außerdem ist die Steuerungsvorrichtung ausgebildet, eine notwendige Verkipfung für den Achseinkoppelspiegel und den Rotationseinkoppelspiegel zu bestimmen, damit die ersten Mittelpunktskoordinaten der Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion auf dem Winkelsensor denjenigen Koordinaten entsprechen, von denen aus der Hilfsstrahl ausgesandt worden ist und der zweite Radius zu 0 wird. Es ist ersichtlich, dass sich eine erste Formel aufstellen lässt, in der die Auswirkung einer Verkipfung des Achseinkoppelspiegels auf die ersten Mittelpunktskoordinaten dargestellt ist. Weiterhin lässt sich eine zweite Formel aufstellen, in der die Auswirkung einer Verkip-

pung des Rotationseinkoppelspiegels auf die Mittelpunktswinkelkoordinaten sowie auf die ersten Mittelpunktswinkelkoordinaten sowie auf den zweiten Radius darstellbar ist. Zusammen mit dem zweiten Radius sowie den ersten Mittelpunktswinkelkoordinaten ist somit ein mathematisches Gleichungssystem mit zwei Gleichungen und zwei Unbekannten vorhanden. Somit existiert genau eine Lösung, nämlich die genannten notwendigen Verkippungen von Achseinkoppelspiegel und Rotationseinkoppelspiegel. Die Steuerungsvorrichtung ist schließlich eingerichtet, den Achseinkoppelspiegel und den Rotationseinkoppelspiegel um die zuvor bestimmten notwendigen Verkippungen zu verkippeln. Auf diese Weise erfolgt die Verkippung der einzelnen Spiegel nicht sequenziell, sondern parallel, wodurch ein schnelles und sicheres Ausrichten des Hilfsstrahls und damit auch des Signalstrahls auf die Rotationsachse des Rotationssystems ermöglicht ist.

[0024] Besonders vorteilhaft ist die Steuerungsvorrichtung eine Regelvorrichtung, um den Hilfsstrahl auf der Rotationsachse zu halten. Somit ist insbesondere vorgesehen, dass fortlaufend zumindest die ersten Mittelpunktswinkelkoordinaten und der zweite Radius bestimmt wird, wobei die Steuerungsvorrichtung eingerichtet ist, eine Verkippung von Achseinkoppelspiegel und Rotationseinkoppelspiegel, sowie insbesondere des Referenzspiegels, fortwährend einer Veränderung der ersten Mittelpunktswinkelkoordinaten und/oder des zweiten Radius anzupassen.

[0025] Das optische System zeichnet sich vorteilhafterweise dadurch aus, dass das Rotationssystem ein Azimut-Rotationssystem und ein Elevations-Rotationssystem umfasst. Dabei ist das Azimut-Rotationssystem um eine Azimut-Rotationsachse rotierbar, während das Elevations-Rotationssystem um eine, insbesondere zur Azimut-Rotationsachse senkrechten, Elevations-Rotationsachse rotierbar ist. Bevorzugt ist das Azimut-Rotationssystem Teil des Elevations-Rotationssystems, so dass das Azimut-Rotationssystem als Ganzes um die Elevations-Rotationsachse rotierbar ist. Alternativ ist das Elevations-Rotationssystem bevorzugt Teil des Azimut-Rotationssystems, so dass das Elevations-Rotationssystem als Ganzes um die Azimut-Rotationsachse rotierbar ist. Der Achseinkoppelspiegel umfasst einen Azimut-Achseinkoppelspiegel zum Einkoppeln des Signalstrahls und des Hilfsstrahls in das Azimut-Rotationssystem und einen Elevations-Achseinkoppelspiegel zum Einkoppeln des Signalstrahls und des Hilfsstrahls in das Elevations-Rotationssystem. Außerdem ist vorgesehen, dass das Azimut-Rotationssystem einen Azimut-Signalaus-koppelspiegel zum Auskoppeln des Signalstrahls aus dem Azimut-Rotationssystem, und insbesondere einen Azimut-Referenzspiegel, umfasst wobei die Azimut-Rotationsachse den Azimut-Achseinkoppelspiegel, den Azimut-Signalaus-koppelspiegel und

den Azimut-Referenzspiegel vorteilhafterweise schneidet. Ebenso ist vorgesehen, dass das Elevations-Rotationssystem einen Elevations-Signalaus-koppelspiegel zum Auskoppeln des Signalstrahls aus dem Elevations-Rotationssystem und insbesondere einen Elevations-Referenzspiegel aufweist, wobei die Elevations-Rotationsachse den Elevations-Achseinkoppelspiegel, den Elevations-Signalaus-koppelspiegel und den Elevations-Referenzspiegel vorteilhafterweise schneidet. Somit lässt sich der Signalstrahl vorteilhafterweise auf zwei senkrecht zueinander stehende Achse, die Azimut-Rotationsachse und die Elevations-Rotationsachse, stabilisieren.

[0026] Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zum Justieren eines Signalstrahls. Insbesondere wird das Verfahren mit dem optischen System wie zuvor beschrieben ausgeführt. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die folgenden Schritte: zunächst erfolgt ein Verkippeln des Referenzspiegels, bis der erste Radius der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion auf die Winkelsensoren den Wert 0 ergibt. Auf diese Weise wird der Referenzspiegel derart ausgerichtet, dass die Rotationsachse des Rotationssystems zu dem Referenzspiegel einen Winkel von 90° einnimmt.

[0027] Anschließend erfolgt eine Verkippung des Achseinkoppelspiegels, bis die ersten Mittelpunktswinkelkoordinaten der Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion auf dem Winkelsensor diejenigen Koordinaten entsprechen, von denen aus der Hilfsstrahl ausgesandt worden ist. Somit ist eine Winkelabweichung zwischen Hilfsstrahl und Reflexionshilfsstrahl nicht mehr vorhanden, wodurch der Hilfsstrahl und damit auch der Reflexionshilfsstrahl sowie der Signalstrahl parallel zu der Rotationsachse des Rotationssystems ausgerichtet sind. Danach werden der Rotationseinkoppelspiegel und der Achseinkoppelspiegel kombiniert verkippelt, bis der zweite Radius der zweiten Kreisbahn den Wert 0 ergibt. Somit erfolgt eine Verschiebung des Hilfsstrahls und damit auch des Signalstrahls auf die Rotationsachse. Eine Rotation des Rotationssystems führt damit bis auf eine Rotation um sich selbst nicht mehr zu einer Veränderung des Signalstrahls. Somit ist der Signalstrahl auf der Rotationsachse stabilisiert.

[0028] Alternativ oder zusätzlich umfasst das Verfahren die folgenden Schritte: Zunächst erfolgt ein Rotieren des Rotationssystems um die Rotationsachse. Anschließend erfolgt ein Bestimmen der ersten Mittelpunktswinkelkoordinaten der ersten Kreisbahn. Danach wird die notwendige Verkippung für den Achseinkoppelspiegel bestimmt, um die ersten Mittelpunktswinkelkoordinaten der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion auf dem Winkelsensor auf diejenigen Koordinaten abzubilden, von denen aus der Hilfsstrahl ausgesandt worden ist. Somit erfolgt

ein Ausrichten des Hilfsstrahls parallel zu der Rotationsachse des Rotationssystems, wobei eine Ausrichtung des Referenzspiegels nicht notwendig ist. Anschließend wird der Achseinkoppelspiegel um die zuvor bestimmte notwendige Verkippung verkippt. Schließlich erfolgt ein kombiniertes Verkappen des Rotationseinkoppelspiegels sowie des Achseinkoppelspiegels, bis der Radius der zweiten Kreisbahn den Wert 0 ergibt.

[0029] Schließlich ist bevorzugt vorgesehen, dass das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Wiederum erfolgt zunächst ein Rotieren des Rotationssystem um die Rotationsachse. Anschließend werden die ersten Mittelpunktkoordinaten der ersten Kreisbahn sowie der zweite Radius der zweiten Kreisbahn bestimmt. Aus diesen Parametern lässt sich eine notwendige Verkippung für den Achseinkoppelspiegel und für den Rotationseinkoppelspiegel bestimmen. Bei der notwendigen Verkippung erfolgt ein Verschieben der ersten Mittelpunktkoordinaten der Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion auf den Winkelsensor auf diejenigen Winkelkoordinaten, aus denen der Hilfsstrahl ausgesandt worden ist. Weiterhin wird der zweite Radius zu 0 gesetzt. Die notwendige Verkippung von Achseinkoppelspiegel und Rotationseinkoppelspiegel, um die genannten Auswirkungen auf die ersten Mittelpunktkoordinaten und auf den zweiten Radius zu erreichen, ist insbesondere wie zuvor beschrieben berechenbar. Als letzter Schritt erfolgt ein Verkappen des Achseinkoppelspiegels und des Rotationseinkoppelspiegels um die bestimmte notwendige Verkippung.

[0030] Die Erfindung wird nun anhand eines Ausführungsbeispiels unter Berücksichtigung der beigefügten Zeichnungen im Detail beschrieben. In den Zeichnungen ist:

Fig. 1 eine schematische Abbildung des optischen Systems gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 2 eine schematische Abbildung einer Messung des Winkelsensors des optischen Systems gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 3 eine schematische Abbildung der Messung des Positionsdetektors des optischen Systems gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung, und

Fig. 4 eine schematische Abbildung des optischen Systems gemäß einem alternativen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0031] Fig. 1 zeigt schematisch ein optisches System 20 gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Das optische System 20 umfasst ein Rotationssystem 13, wobei das Rotationssystem 13 um eine Rotationsachse 6 rotierbar ist. Es ist Ziel des

optischen Systems 20 einen Signalstrahl 9 gerade so über das Rotationssystem 13 zu führen, dass kein lateraler Versatz und kein Winkelfehler bezüglich der Rotationsachse 6 auftreten. Zu diesem Zweck muss der Signalstrahl 9 genau auf der realen, mechanischen Rotationsachse 6 justiert sein. Zum Justieren des Signalstrahls 9 auf die Rotationsachse 6 weist das optische System eine Vielzahl von Spiegeln auf, deren Funktion nachfolgend erklärt wird.

[0032] Außerdem ist vorgesehen, dass sich der Signalstrahl 9 von einem Signaleingang 18 des optischen Systems 20 zu einem Signalausgang 19 des optischen Systems 20 erstreckt. Der Signalstrahl 9 kann eine unterschiedliche Art von Strahl sein, insbesondere ein abbildender Strahl oder ein hochenergetischer Strahl, insbesondere ein Laserstrahl.

[0033] Von dem Signaleingang 18 gelangt der Signalstrahl 9 auf einen Signaleinkoppelspiegel 7. Der Signaleinkoppelspiegel 7 ist teildurchlässig, wobei ein größerer Anteil des Signalstrahls 9 von dem Signaleinkoppelspiegel 7 auf einen Rotationseinkoppelspiegel 4 gelenkt wird. Gleichzeitig wird ein geringerer Teil des Signalstrahls 9 durch den Signaleinkoppelspiegel 7 hindurchgeleitet und trifft auf einen optischen Sensor 10.

[0034] Weiterhin ist ein Autokollimator 5 vorhanden, wobei der Autokollimator eine Hilfslichtquelle und einen Winkelsensor umfasst. Mit dem Autokollimator als Hilfslichtquelle ist ein Hilfsstrahl 11 aussendbar. Der Hilfsstrahl 11 ist insbesondere ein Laserstrahl. Wiederum ist der Hilfsstrahl 11 teilweise von dem Signaleinkoppelspiegel 7 reflektierbar, sodass ein Teil des Hilfsstrahls 11 auf den optischen Sensor 10 gelangt. Ein weiterer Teil des Hilfsstrahls 11 gelangt durch den Signaleinkoppelspiegel 7 hindurch und verläuft zu dem Rotationseinkoppelspiegel 4.

[0035] Über den optischen Sensor 10 lassen sich der Signalstrahl 9 und der Hilfsstrahl 11 vergleichen. Auf diese Weise ist ermöglicht, den Hilfsstrahl 11 in Winkel und Position mit dem Signalstrahl 9 zu synchronisieren. Dies bedeutet, dass in dem Fall, in dem der Hilfsstrahl 11 auf die Rotationsachse 6 justiert wird, der Signalstrahl 9 ebenfalls auf der Rotationsachse 6 justiert ist. Somit funktioniert das Justieren des Signalstrahls 9 unabhängig von der Art des Signalstrahls 9.

[0036] Der Rotationseinkoppelspiegel 4 ist verkippbar angeordnet. Somit lässt sich der weitere Verlauf des Signalstrahls 9 und des Hilfsstrahls 11 durch den Rotationseinkoppelspiegel 4 beeinflussen. Von dem Rotationseinkoppelspiegel 4 ist der Signalstrahl 9 und der Hilfsstrahl 11 auf einen Achseinkoppelspiegel 3 leitbar. Der Achseinkoppelspiegel 3 ist wiederum verkipptbar angeordnet, sodass ein weiterer Ver-

lauf des Hilfsstrahls 11 und des Signalstrahls 9 von dem Achseinkoppelspiegel 3 beeinflussbar ist.

[0037] Von dem Achseinkoppelspiegel 3 sind Signalstrahl 9 und Hilfsstrahl 11 auf einen Signalauskopplungsspiegel 8 leitbar. Der Signalauskopplungsspiegel 8 reflektiert den Signalstrahl 9, während der Hilfsstrahl 11 durch den Signalauskopplungsspiegel 8 hindurchgeleitet wird. Von dem Signalauskopplungsspiegel 8 gelangt der Signalstrahl 9 zu dem Signalausgang 19 des optischen Systems 20. Der Hilfsstrahl 11 gelangt zu einem Referenzspiegel 2, wobei der Referenzspiegel 2 einen Teil des Hilfsstrahls 11 rückreflektiert. Auf diese Weise entsteht der Reflektionshilfsstrahl 12, der aufgrund der Rückreflektion über den gleichen optischen Weg wie der Hilfsstrahl 11 verläuft. Somit gelangt der Reflexionshilfsstrahl 12 auf den Autokollimator 5, insbesondere auf den Winkelsensor des Autokollimators 5. Auf dem Winkelsensor entsteht daher die Reflexionshilfsstrahlprojektion 17, die nachfolgend mit Bezug auf **Fig. 2** erklärt wird.

[0038] Der Teil des Hilfsstrahls 11, der von dem Referenzspiegel 2 nicht rückreflektiert wird, gelangt durch den Referenzspiegel 2 auf einen Positionsdetektor 1. Auf dem Positionsdetektor 1 entsteht somit eine Hilfsstrahlprojektion 16 des Hilfsstrahls 11.

[0039] Das Rotationssystem 13 umfasst den Signalauskopplungsspiegel 8, den Referenzspiegel 2 und den Positionsdetektor 1. Alle diese Komponenten werden von der Rotationsachse 6 geschnitten. Auch sind alle diese Komponenten rotierbar um die Rotationsachse 6 angeordnet.

[0040] Anhand des Winkelsensors des Autokollimators 5 lässt sich eine Winkelabweichung zwischen dem Hilfsstrahl 11 und dem Reflexionshilfsstrahl 12 bestimmen. Eine erste Messabbildung 14 des Winkelsensors des Autokollimators 5 ist in **Fig. 2** dargestellt. In der ersten Messabbildung 14 ist eine erste Kreisbahn dargestellt, die Reflexionshilfsstrahlprojektion 17 auf dem Winkelsensor des Autokollimators 5 ausführt, wenn das Rotationssystem 13 rotiert wird. Die erste Kreisbahn weist einen ersten Radius α_r sowie erste Mittelpunktskoordinaten α_x , α_y auf. Der erste Radius α_r der ersten Kreisbahn kommt dadurch zustande, dass der Referenzspiegel 2 nicht exakt senkrecht zu der Rotationsachse 6 ausgerichtet ist. Somit kann durch eine Verkippung des Referenzspiegels 2 der erste Radius α_r beeinflusst werden. Die erste Mittelpunktskoordinaten α_x , α_y des Mittelpunkts der Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion 17 lassen sich durch den Achseinkoppelspiegel 3 beeinflussen. In dem in **Fig. 2** gezeigten ersten Messfeld 14 deuten die Ursprungskoordinaten auf denjenigen Punkt hin, von dem der Hilfsstrahl 11 ausgesandt wurde. Werden der Referenzspiegel 2 und der Achseinkoppelspiegel 3 solange verkippert, bis der

erste Radius α_r den Wert 0 ergibt und die ersten Mittelpunktskoordinaten α_x , α_y bei der ersten Kreisbahn in den Ursprung des ersten Messfelds 14 liegen, so ist der Hilfsstrahl 11 und damit auch der Signalstrahl 9 parallel zu der Rotationsachse 6 ausgerichtet. Dabei ist vorteilhaft, dass der erste Radius α_r der ersten Kreisbahn und nur durch eine Verkippung des Referenzspiegels 2 beeinflussbar ist, während die ersten Mittelpunktskoordinaten α_x , α_y der ersten Kreisbahn nur durch Verkippung des Achseinkoppelspiegels 3 beeinflussbar sind. Somit sind diese Parameter unabhängig voneinander einstellbar.

[0041] Wurde der Signalstrahl 9 und der Hilfsstrahl 11 wie zuvor beschrieben eingestellt, so ergibt sich eine Messung wie in dem zweiten Messfeld 15 in **Fig. 3** dargestellt ist. Das zweite Messfeld 15 zeigt den Verlauf der Hilfsstrahlprojektion 16 des Hilfsstrahls 11 auf den Positionsdetektor 1, wenn das Rotationssystem 13 rotiert wird. Befindet sich der Hilfsstrahl 11 und damit der Signalstrahl 9 nicht unmittelbar auf der Rotationsachse 6, so beschreibt die Hilfsstrahlprojektion 16 eine zweite Kreisbahn, um die Rotationsachse 6. Die zweite Kreisbahn weist einen zweiten Radius r sowie zweite Mittelpunktskoordinaten x , y auf. Über gemeinsames Verkippfen des Rotationseinkoppelspiegels 4 und des Achseinkoppelspiegels 3 ist der zweite Radius r der zweiten Kreisbahn beeinflussbar. Somit lässt sich durch gemeinsames Verkippfen von Achseinkoppelspiegel 3 und Rotationseinkoppelspiegel 4 der Hilfsstrahl 11 und damit der Signalstrahl 9 parallel zu der Rotationsachse 6 verschieben. Auf diese Weise ist der Signalstrahl 9 auf die Rotationsachse 6 justierbar.

[0042] Das optische System 20 weist bevorzugt außerdem eine Steuerungsvorrichtung 21 auf. Die Steuerungsvorrichtung 21 ist insbesondere eine Regelvorrichtung, die fortlaufend die Winkelabweichung zwischen Hilfsstrahl 11 und Reflexionshilfsstrahl 12 mittels des Autokollimators 5 sowie die Position der Hilfsstrahlprojektion 16 mittels des Positionssensors 1 bestimmt und eine Verkippung von Achseinkoppelspiegel 3 und Rotationseinkoppelspiegel 4, sowie insbesondere des Referenzspiegels 2, anpasst, um den Hilfsstrahl 11 und damit den Signalstrahl 9 auf der Rotationsachse 6 zu halten.

[0043] Zuvor wurde beschrieben, wie die Verkippung von Referenzspiegel 2, Achseinkoppelspiegel 3 und Rotationseinkoppelspiegel 4 sequenziell erfolgt. Vorteilhafterweise können die Verkippungen dieser Spiegel zusammengefasst werden, sodass ein zumindest teilweises paralleles Justieren des Hilfsstrahls 11 und damit des Signalstrahls 9 auf der Rotationsachse 6 erfolgt.

[0044] So kann das Rotationssystem 13 um die Rotationsachse 6 rotiert werden, um die in **Fig. 2** dar-

gestellte Messung zu erhalten. Anhand der ersten Mittelpunktskoordinaten α_x , α_y lässt sich eine notwendige Verkippung des Achseinkoppelspiegels 3 berechnen, bei der sich der erste Kreismittelpunkt auf den Ursprung der in **Fig. 2** gezeigten ersten Messabbildung 14 verschiebt. Somit lässt sich eine Verkippung des Achseinkoppelspiegels 3 bestimmen, ohne dass zuvor der Referenzspiegel 2 exakt ausgerichtet werden muss, das bedeutet ohne dass der Referenzspiegel 2 senkrecht zu der Rotationsachse 6 stehen muss, wodurch der erste Radius α_r zu 0 werden würde. Die gemeinsame Einstellung von Achseinkoppelspiegel 3 und Rotationseinkoppelspiegel 4 zur Verschiebung des Hilfsstrahls 11 und des Signalstrahls 9 parallel zur Rotationsachse 6 erfolgt analog wie oben beschrieben.

[0045] In einer weiteren besonderen Ansteuerungsmöglichkeit lässt sich nach einer Rotation des Rotationssystems 13, bei der die in **Fig. 2** und **Fig. 3** abgebildeten Messungabbildungen 14, 15 entstehen, der zweite Radius r der zweiten Kreisbahn sowie die ersten Mittelpunktskoordinaten α_x , α_y der ersten Kreisbahn bestimmen. Außerdem lässt sich jeweils eine Formel aufstellen, welchen Einfluss auf die ersten Mittelpunktskoordinaten α_x , α_y und l oder auf den zweiten Radius r eine Verkippung entweder des Achseinkoppelspiegels 3 oder des Rotationseinkoppelspiegels 4 hat. Zusammen mit den ersten Mittelpunktskoordinaten α_x , α_y sowie dem zweiten Radius r ist somit ein Gleichungssystem mit zwei Gleichungen und mit zwei Unbekannten vorhanden. Dieses Gleichungssystem lässt sich mathematisch eindeutig lösen, wodurch die notwendige Verkippung von dem Achseinkoppelspiegel 3 und dem Rotationseinkoppelspiegel 4 berechenbar ist. Somit kann ein Verkippen von Achseinkoppelspiegel 3 und Rotationseinkoppelspiegel 4 parallel erfolgen. Auf diese Weise ist insbesondere vorgesehen, dass der Hilfsstrahl 11 und damit der Signalstrahl 9 fortwährend nachgeführt werden, sodass der Hilfsstrahl 11 und damit der Signalstrahl 9 fortwährend auf der Rotationsachse 6 gehalten werden. Somit ist keine Abweichung des Signalstrahls 9 vorhanden, obwohl dieser durch das Rotationssystem 13 geleitet wird.

[0046] **Fig. 4** zeigt schließlich ein alternatives Ausführungsbeispiel des optischen Systems 20. Dabei zeigen Elemente mit denselben Bezugszeichen wie in **Fig. 1** äquivalente Bauteile wie in **Fig. 1**.

[0047] In dem alternativen Ausführungsbeispiel weist das optische System 20 ein Azimut-Rotationssystem 13' und ein Elevations-Rotationssystem 13'' auf. Dabei ist eine Azimut-Rotationsachse 6' des Azimut-Rotationssystems 13' senkrecht zu einer Elevations-Rotationsachse 6'' des Elevations-Rotationssystems 13'' orientiert. Somit umfasst das optische System 20 in vorteilhafter Weise einen Coude-Strahlengang. Der Signalstrahl 9 ist somit in zwei Raum-

richtungen unabhängig voneinander richtbar und dabei über bezüglich beider Rotationsachsen stabilisierbar.

[0048] Das Azimut-Rotationssystem 13' weist einen Azimut-Signalauskopplungsspiegel 8' und einen Azimut-Referenzspiegel 2' auf. Somit ist das Azimut-Rotationssystem 13' identisch wie das Rotationssystem 13 aufgebaut. Ebenso weist das Elevations-Rotationssystem 13'' einen Elevations-Signalauskopplungsspiegel 8'' und einen Elevations-Referenzspiegel 2'' auf. Somit ist das auch das Elevations-Rotationssystem 13'' identisch wie das Rotationssystem 13 aufgebaut. Über einen Azimut-Achseinkoppelspiegel 3' ist der Signalstrahl 9 in das Azimut-Rotationssystem 13' einkoppelbar, während der Signalstrahl 9 über einen Elevations-Achseinkoppelspiegel 3'' in das Elevations-Rotationssystem 13'' einkoppelbar ist. Dabei ist vorgesehen, dass der Signalstrahl 9 von dem Azimut-Signalauskopplungsspiegel 8' auf einen Umlenkspiegel 22 lenkbar ist, wobei der Signalstrahl 9 von dem Umlenkspiegel 22 auf den Elevations-Achseinkoppelspiegel 3'' lenkbar ist. Der Elevations-Achseinkoppelspiegel 8'' lenkt den Signalstrahl auf den Signalausgang 19, der in **Fig. 2** als weiteres optisches System dargestellt ist.

[0049] Insbesondere sind alle Elemente außerhalb des Azimut-Rotationssystems 13' und des Elevations-Rotationssystems 13'' identisch zu dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel. Es wird lediglich auf den Rotationseinkoppelspiegel 4 verzichtet. Außerdem sind in **Fig. 4** die jeweiligen Rückreflektionen des Hilfsstrahls 11 durch den Azimut-Referenzspiegel 2' und den Elevations-Referenzspiegel 2'' nicht gezeigt.

[0050] Das in **Fig. 4** dargestellte optische System erlaubt somit eine Stabilisierung des Signalstrahls 9 sowohl bezüglich der Azimut-Rotationsachse 6' als auch der Elevations-Rotationsachse 6''. Dabei erfolgt die jeweilige Stabilisierung analog zu der beschriebenen Stabilisierung durch das Rotationssystem 13.

[0051] In dem in **Fig. 4** dargestellten Ausführungsbeispiel ist sowohl ein Azimut-Referenzspiegel 2' als auch ein Elevations-Referenzspiegel 2'' vorhanden. Dabei ist insbesondere vorgesehen, dass sowohl dem Azimut-Referenzspiegel 2' als auch dem Elevations-Referenzspiegel 2'' jeweils ein Positionssensor (nicht gezeigt) zugeordnet ist. Somit lässt sich eine Stabilisierung in Azimut und Elevation unabhängig voneinander ausführen. Alternativ sind bevorzugt nur ein einziger Referenzspiegel und ein einziger Positionssensor vorhanden. Diese sind insbesondere Teil desjenigen Rotationssystems, das der Signalstrahl 9 als letztes erreicht, in dem in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsbeispiel somit des Elevations-Rotationssystems 13''.

[0052] Soll eine Justierung des Signalstrahls 9 sowohl auf die Azimut-Rotationsachse 6' als auch auf die Elevations-Rotationsachse 6'' erfolgen, so ist bei Verwendung von lediglich einem Referenzspiegel und Positionssensor jeweils eines der Rotationssysteme festzustellen. Die Justage erfolgt dann bezüglich der rotierten Achse durch Verkappen der zugehörigen Achseinkoppel-, Signaleinkoppel- bzw. Rotationseinkoppelspiegel.

[0053] Soll die Stabilisierung des Signalstrahls 9 in Echtzeit bei gleichzeitiger Rotation um beide Achsen erfolgen, so entstehen durch Nutzung nur eines Referenzspiegels und nur einem Positionsdetektor am Ende der Rotationskette lediglich bei den einzelnen Rotationsachsen Abweichungen. Der Signalstrahl 9 ist aber nach Verlassen des Elevations-Rotationssystems 13'', d.h. nach der Reflektion durch den Elevations-Signalauskopplungsspiegel 8'', präzise auf die sich aus dem momentanen Azimutdrehwinkel und dem momentanen Elevationsdrehwinkel ergebene Ausgangsachse stabilisiert. Damit ist der Signalstrahl nach dem Signalauskopplungsspiegel 8'' in Winkel und Position bezüglich beider Rotationsachsen stabilisiert. Dabei können entweder die Einkoppelspiegel vor dem Azimutsystem, d.h. Signaleinkoppelspiegel 7 und Achseinkoppelspiegel 3' oder die Einkoppelspiegel vor dem Elevationssystem, d.h. Umlenkspiegel 22 und Elevationsachseinkoppelspiegel 3'' für die Stabilisierung verwendet werden.

[0054] In einer alternativen Ausführungsform ist außerdem vorgesehen, dass zumindest drei Rotationssysteme vorhanden sind. Dabei sind die Rotationssysteme analog zu dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel ineinander verschachtelt. Dabei ist vorgesehen, dass entweder jedes Rotationssystem einen eigenen Referenzspiegel sowie einen eigenen Positionssensor aufweist, oder alternativ ein einziger Referenzspiegel 2 und einziger Positionssensor 1 vorhanden ist. In letzterem Fall ist insbesondere vorgesehen, dass sich der Referenzspiegel 2 und der Positionssensor 1 hinter dem letzten Rotationssystem befindet, das der Signalstrahl 9 durchläuft, bevor der Signalstrahl das optische System 20 verlässt.

[0055] Sind zumindest drei Rotationssysteme vorhanden, so werden Korrekturen vorteilhafterweise durch das Verkappen der jeweiligen Einkoppelspiegel der ersten beiden Rotationssysteme vorgenommen, die der Signalstrahl 9 beim Durchqueren des optischen Systems 20 durchläuft. Alternativ können die Korrekturen durch beliebige Einkoppelspiegel der einzelnen Rotationssysteme erfolgen. In diesem Fall wird lediglich der Summenfehler am Ende der Rotationssysteme ausgeglichen, so dass der Signalstrahl 9 lediglich nach Verlassen des optischen Systems 20 stabilisiert ist, nicht jedoch bezüglich der einzelnen Achsen der Rotationssysteme.

[0056] Werden mindestens drei Rotationssysteme verwendet, so ergeben sich folgende Abweichungen zu den zuvor beschriebenen Ausführungsformen:

- der Referenzspiegel 2 und der Positionssensor 1 werden nicht mehr von der jeweiligen Rotationsachse 6 geschnitten;

- der Referenzspiegel 2 und der Positionssensor 1 stehen nach einer möglichen Verkippung des Referenzspiegels 2, um, wie zuvor beschrieben, den Radius der ersten Kreisbahn α eher zu Null zu justieren, nicht notwendigerweise senkrecht zu der entsprechenden Rotationsachse 6. Dennoch ist durch die Justage der Summenfehler aller vorherigen Rotationsachsen 6 ausgeglichen;

- analog gilt für den Positionsdetektor, dass in dem Fall, in dem der Radius der ersten Kreisbahn α eher zu Null geregelt ist, der Summenpositionsfehler aller vorherigen Rotationsachsen 6 Null ergibt.

[0057] Die Erfindung beschreibt somit ein einfaches und schnelles Verfahren sowie eine Vorrichtung, mit der einfach und schnell ein optischer Strahlengang auf eine mechanische Rotationsachse justiert und/oder stabilisiert werden kann. Ein besonderer Vorzug der Erfindung ist, dass keine externen Referenzen notwendig sind, sodass keines der verwendeten Elemente hochpräzise vorpositioniert werden muss. Auch muss die reale mechanische Rotationsachse nicht genau bekannt sein. Ein weiterer Vorteil besteht in der Möglichkeit, dass diese Justage zur Stabilisierung in Echtzeit geregelt ausgeführt werden kann, womit insbesondere mechanische Ungenauigkeiten wirksam ausgeglichen werden können.

[0058] Neben der vorstehenden schriftlichen Beschreibung der Erfindung wird zu deren ergänzender Offenbarung hiermit explizit auf die zeichnerische Darstellung der Erfindung in den **Fig. 1** bis **Fig. 3** Bezug genommen.

Bezugszeichenliste

1	Positionssensor
2	Referenzspiegel
2'	Azimut-Referenzspiegel
2''	Elevations-Referenzspiegel
3	Achseinkoppelspiegel
3'	Azimut-Achseinkoppelspiegel
3''	Elevations-Achseinkoppelspiegel
4	Rotationseinkoppelspiegel
5	Autokollimator
6	Rotationsachse

6'	Azimut-Rotationsachse	des Signalstrahls (9) aus dem Rotationssystem (13), und
6"	Elevations-Rotationsachse	o einen Referenzspiegel (2),
7	Signaleinkoppelspiegel	- wobei der Signalstrahl (9) von dem Signaleingang (18) über den Achseinkoppelspiegel (3) zu dem Signalauskopplungsspiegel (8) lenkbar ist, und der Hilfsstrahl (11) über den Achseinkoppelspiegel (3) durch den Achsauskopplungsspiegel (8) auf den Referenzspiegel (2) lenkbar ist, wobei von dem Referenzspiegel (2) der Hilfsstrahl (11) zumindest teilweise zu einem Reflexionshilfsstrahl (12) rückreflektierbar ist,
8	Signalauskopplungsspiegel	
8'	Azimut-Signalauskopplungsspiegel	
8"	Elevations-Signalauskopplungsspiegel	
9	Signalstrahl	
10	Optischer Sensor	
11	Hilfsstrahl	- wobei das optische System (20) ferner einen Winkelsensor umfasst, über den eine Winkelabweichung zwischen dem Hilfsstrahl (11) und dem Reflexionshilfsstrahl (12) erfassbar ist, und
12	Reflexionshilfsstrahl	
13	Rotationssystem	- wobei der Achseinkoppelspiegel (3) und der Referenzspiegel (2) verkippbar sind, um anhand der gemessenen Winkelabweichung den Signalstrahl (9) parallel zu der Rotationsachse (6) auszurichten;
13'	Azimut-Rotationssystem	
13"	Elevations-Rotationssystem	
14	Erste Messabbildung	- weiterhin umfassend eine Reflexionshilfsstrahlprojektion (17), welche auf dem Winkelsensor eine erste Kreisbahn beschreibt, wenn das Rotationssystem (13) rotiert, wobei durch ein Verkippen des Referenzspiegels (2) ein erster Radius (α_r) der ersten Kreisbahn und durch Verkippen des Achseinkoppelspiegels (3) erste Mittelpunktkoordinaten (α_x , α_y) der ersten Kreisbahn beeinflussbar sind,
15	Zweite Messabbildung	
16	Hilfsstrahlprojektion	- weiterhin umfassend einen Rotationseinkoppelspiegel (4), wobei der Signalstrahl (9) und der Hilfsstrahl (10) über den Rotationseinkoppelspiegel (4) in das Rotationssystem (13) einkopplbar und auf den Achseinkoppelspiegel (3) lenkbar sind,
17	Reflexionshilfsstrahlprojektion	
18	Signaleingang	
19	Signalausgang	
20	Optisches System	
21	Steuerungsvorrichtung	- wobei das Rotationssystem (13) einen Positionsdetektor (1) zum Detektieren einer Hilfsstrahlprojektion (16) des Hilfsstrahls (11) aufweist,
22	Umlenkspiegel	- wobei von dem Referenzspiegel (2) der Hilfsstrahl (11) teilweise zu dem Reflexionshilfsstrahl (12) rückreflektierbar ist und teilweise durch den Referenzspiegel (2) zur Abbildung der Hilfsstrahlprojektion (16) auf den Positionsdetektor (1) leitbar ist,
α_x , α_y	Mittelpunktkoordinaten der ersten Kreisbahn	- wobei die Hilfsstrahlprojektion (16) eine zweite Kreisbahn beschreibt, wenn der Hilfsstrahl (11) parallel zu der Rotationsachse (6) ausgerichtet ist und die Rotationsvorrichtung (13) rotiert,
α_r	Radius der ersten Kreisbahn	- wobei durch Verkippen des Rotationseinkoppelspiegels (4) ein zweiter Radius (r) der zweiten Kreisbahn beeinflussbar ist,
x, y	zweite Mittelpunktkoordinaten der zweiten Kreisbahn	- weiterhin umfassend eine Steuerungsvorrichtung (21), wobei die Steuerungsvorrichtung (21) eingerichtet ist,
r	zweiter Radius der zweiten Kreisbahn	- den Referenzspiegel (2) zu verkippen, bis der erste Radius (α_r) der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion (17) auf dem Winkelsensor den Wert Null ergibt,

Patentansprüche

- Optisches System (20), umfassend
 - einen Signaleingang (18) zum Aufnehmen eines Signalstrahls (9),
 - einen Signalausgang (19) zum Ausgeben des Signalstrahls (9),
 - eine Hilfslichtquelle zum Aussenden eines Hilfsstrahls (11), wobei der Hilfsstrahl (11) in Winkel und Position zu dem Signalstrahl (9) synchron ist,
 - ein Rotationssystem (13), wobei das Rotationssystem (13) um eine Rotationsachse (6) rotierbar ist, und
 - einen Achseinkoppelspiegel (3) zum Einkoppeln des Signalstrahls (9) und des Hilfsstrahls (11) in das Rotationssystem (13),
 - wobei das Rotationssystem (13) aufweist:
 - o einen Signalauskopplungsspiegel (8) zum Auskopplern

- wobei die Hilfsstrahlprojektion (16) eine zweite Kreisbahn beschreibt, wenn der Hilfsstrahl (11) parallel zu der Rotationsachse (6) ausgerichtet ist und die Rotationsvorrichtung (13) rotiert,
- wobei durch Verkippen des Rotationseinkoppelspiegels (4) ein zweiter Radius (r) der zweiten Kreisbahn beeinflussbar ist,
- weiterhin umfassend eine Steuerungsvorrichtung (21), wobei die Steuerungsvorrichtung (21) eingerichtet ist,
- den Referenzspiegel (2) zu verkippen, bis der erste Radius (α_r) der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion (17) auf dem Winkelsensor den Wert Null ergibt,
- den Achseinkoppelspiegel (3) zu verkippen, bis die ersten Mittelpunktkoordinaten (α_x , α_y) der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion (17) auf dem Winkelsensor denjenigen Koordinaten entsprechen, von denen aus der Hilfsstrahl (11) ausgeht

sandt worden ist, und

- den Rotationseinkoppelspiegel (4) und den Achseinkoppelspiegel (3) kombiniert zu verkippen, bis der zweite Radius (r) der zweiten Kreisbahn den Wert Null ergibt.

2. Optisches System (20) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Winkelsensor und die Hilfslichtquelle in einer Vorrichtung, welche ein Autokollimator (5) ist, zusammengefasst sind.

3. Optisches System (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** einen Signaleinkoppelspiegel (7),

- wobei der Signalstrahl (9) von dem Signaleingang (18) teilweise über den Signaleinkoppelspiegel (7) zu dem Achseinkoppelspiegel (3) und teilweise durch den Signaleinkoppelspiegel (7) hindurch zu einem optischen Sensor (10) leitbar ist, und
 - wobei der Hilfsstrahl (11) von der Hilfslichtquelle teilweise über den Signaleinkoppelspiegel (7) zu dem optischen Sensor (10) und teilweise durch den Signaleinkoppelspiegel (7) hindurch zu dem Achseinkoppelspiegel (3) leitbar ist, und
 - wobei anhand von Messdaten des optischen Sensors (10) der Hilfsstrahl (11) und der Signalstrahl (9) in Winkel und Position synchronisierbar sind.

4. Optisches System (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Hilfslichtquelle eine Laserlichtquelle ist.

5. Optisches System (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass die Steuerungsvorrichtung (21) eingerichtet ist,

- das Rotationssystem (13) zum Rotieren um die Rotationsachse (6) anzusteuern,
 - die ersten Mittelpunktkoordinaten (α_x , α_y) der ersten Kreisbahn zu bestimmen,
 - eine notwendigen Verkipfung für den Achseinkoppelspiegel (3) zu bestimmen, damit die Mittelpunktkoordinaten (α_x , α_y) der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion (17) auf dem Winkelsensor denjenigen Koordinaten entsprechen, von denen aus der Hilfsstrahl (11) ausgesandt worden ist,
 - den Achseinkoppelspiegel (3) um die notwendigen Verkipfung zu verkippen, und
 - den Rotationseinkoppelspiegel (4) und den Achseinkoppelspiegel (3) kombiniert zu verkippen, bis der zweite Radius (r) der zweiten Kreisbahn den Wert Null ergibt.

6. Optisches System (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass die Steuerungsvorrichtung (21) eingerichtet ist,

- das Rotationssystem (13) zum Rotieren um die Rotationsachse (6) anzusteuern,
 - die ersten Mittelpunktkoordinaten (α_x , α_y) der ersten Kreisbahn, sowie den zweiten Radius (r) der zweiten Kreisbahn zu bestimmen,

- eine notwendigen Verkipfung für den Achseinkoppelspiegel (3) und den Rotationseinkoppelspiegel (4) zu bestimmen, damit die ersten Mittelpunktkoordinaten (α_x , α_y) der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion (17) auf dem Winkelsensor denjenigen Koordinaten entsprechen, von denen aus der Hilfsstrahl (11) ausgesandt worden ist und der zweite Radius (r) zu null wird, und

- den Achseinkoppelspiegel (3) und den Rotationseinkoppelspiegel (4) um die notwendigen Verkipfung zu verkippen.

7. Optisches System (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass die Steuerungsvorrichtung (21) eine Regelvorrichtung ist, um den Hilfsstrahl (11) auf der Rotationsachse (6) zu halten.

8. Optisches System (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Rotationssystem (13) ein Azimut-Rotationssystem (13') und ein Elevations-Rotationssystem (13'') umfasst,

- wobei das Azimut-Rotationssystem (13') um eine Azimut-Rotationsachse (6') rotierbar ist,
 - wobei das Elevations-Rotationssystem (13'') um eine, insbesondere zur Azimut-Rotationsachse (6') senkrechten, Elevations-Rotationsachse (6'') rotierbar ist,
 - wobei der Achseinkoppelspiegel (3) einen Azimut-Achseinkoppelspiegel (3') zum Einkoppeln des Signalstrahls (9) und des Hilfsstrahls (11) in das Azimut-Rotationssystem (13') und einen Elevations-Achseinkoppelspiegel (3'') zum Einkoppeln des Signalstrahls (9) und des Hilfsstrahls (11) in das Elevations-Rotationssystem (13'') umfasst,
 - wobei das Azimut-Rotationssystem (13') aufweist:
 o einen Azimut-Signalauskopplungsspiegel (8') zum Auskopplern des Signalstrahls (9) aus dem Azimut-Rotationssystem (13'), und
 - wobei das Elevations-Rotationssystem (13'') aufweist:
 o einen Elevations-Signalauskopplungsspiegel (8'') zum Auskopplern des Signalstrahls (9) aus dem Elevations-Rotationssystem (13'').

9. Verfahren zum Justieren eines Signalstrahls (9) mit einem optischen System (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

- Verkippen des Referenzspiegels (2), bis der erste Radius (α_r) der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion (17) auf dem Winkelsensor den Wert Null ergibt,
 - Verkippen des Achseinkoppelspiegels (3), bis die ersten Mittelpunktkoordinaten (α_x , α_y) der Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion (17) auf dem Winkelsensor denjenigen Koordinaten entsprechen, von denen aus der Hilfsstrahl (11) ausgesandt worden ist, und

- kombiniertes Verkappen des Rotationseinkoppelspiegels (4) und des Achseinkoppelspiegels (3), bis der zweite Radius (r) der zweiten Kreisbahn den Wert Null ergibt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

- Rotieren des Rotationssystems (13) um die Rotationsachse (6),
- Bestimmen der ersten Mittelpunktkoordinaten (α_x , α_y) der ersten Kreisbahn,
- Bestimmen einer notwendigen Verkippung für den Achseinkoppelspiegel (3), damit die ersten Mittelpunktkoordinaten (α_x , α_y) der ersten Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion (17) auf dem Winkelsensor denjenigen Koordinaten entsprechen, von denen aus der Hilfsstrahl (11) ausgesandt worden ist,
- Verkappen des Achseinkoppelspiegels (3) um die notwendigen Verkippung, und
- kombiniertes Verkappen des Rotationseinkoppelspiegels (4) und des Achseinkoppelspiegels (3), bis der zweite Radius (r) der zweiten Kreisbahn den Wert Null ergibt.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

- Rotieren des Rotationssystems (13) um die Rotationsachse (6),
- Bestimmen der ersten Mittelpunktkoordinaten (α_x , α_y) der ersten Kreisbahn, sowie des zweiten Radius (r) der zweiten Kreisbahn,
- Bestimmen einer notwendigen Verkippung für den Achseinkoppelspiegel (3) und den Rotationseinkoppelspiegel (4), damit die ersten Mittelpunktkoordinaten (α_x , α_y) der Kreisbahn der Reflexionshilfsstrahlprojektion (17) auf dem Winkelsensor denjenigen Koordinaten entsprechen, von denen aus der Hilfsstrahl (11) ausgesandt worden ist und der zweite Radius (r) zu null wird, und
- Verkappen des Achseinkoppelspiegels (3) und des Rotationseinkoppelspiegels (4) um die notwendige Verkippung.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

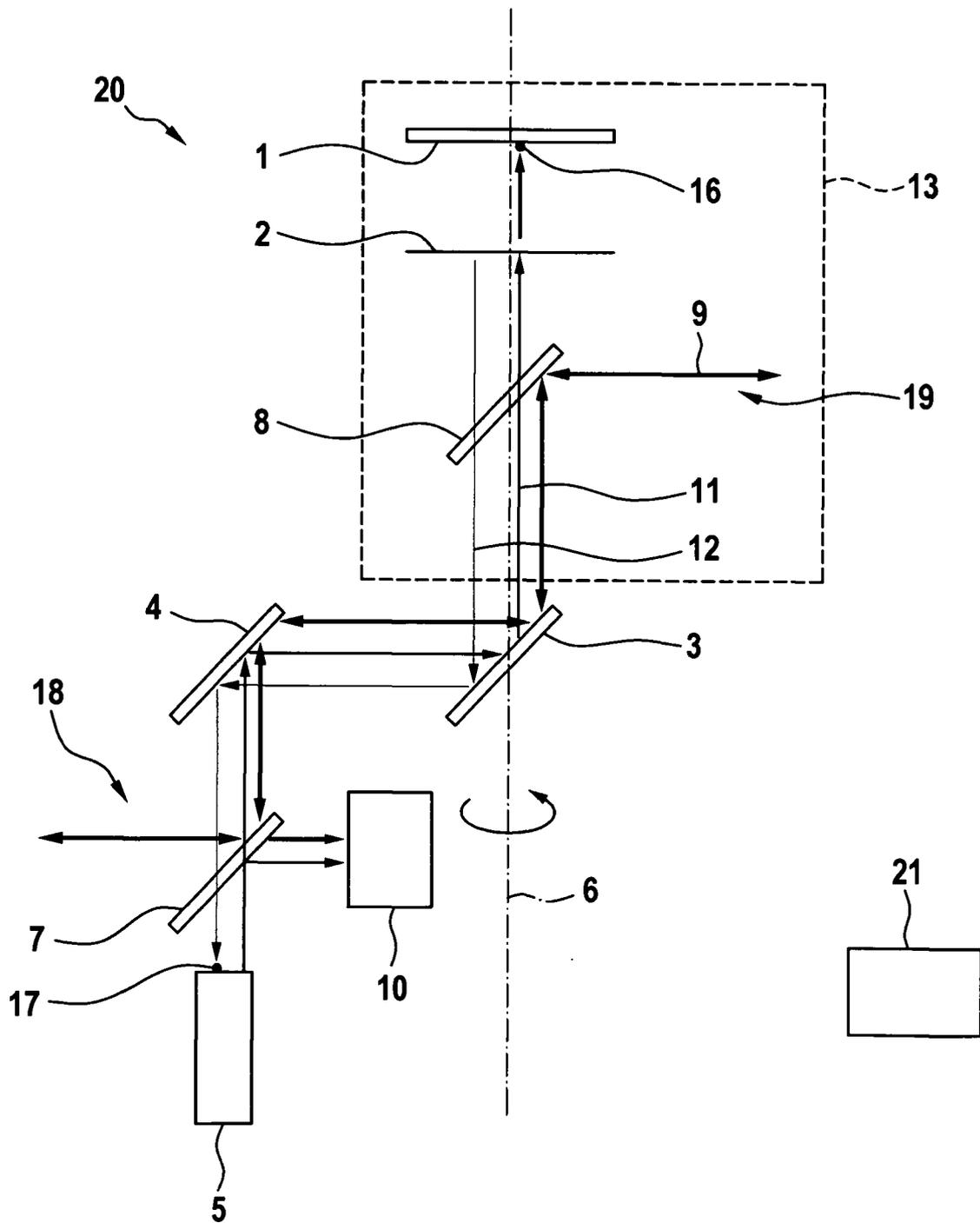


Fig. 2

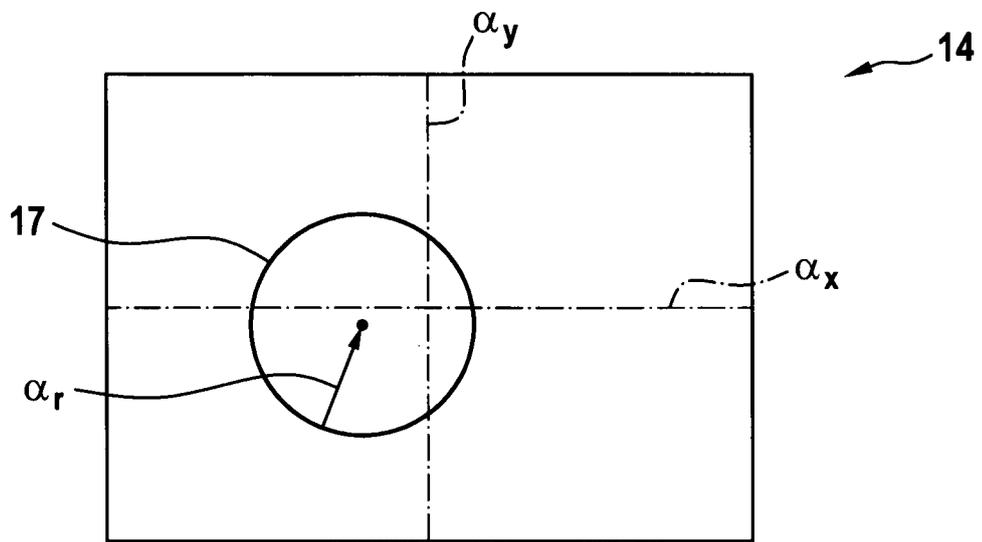


Fig. 3

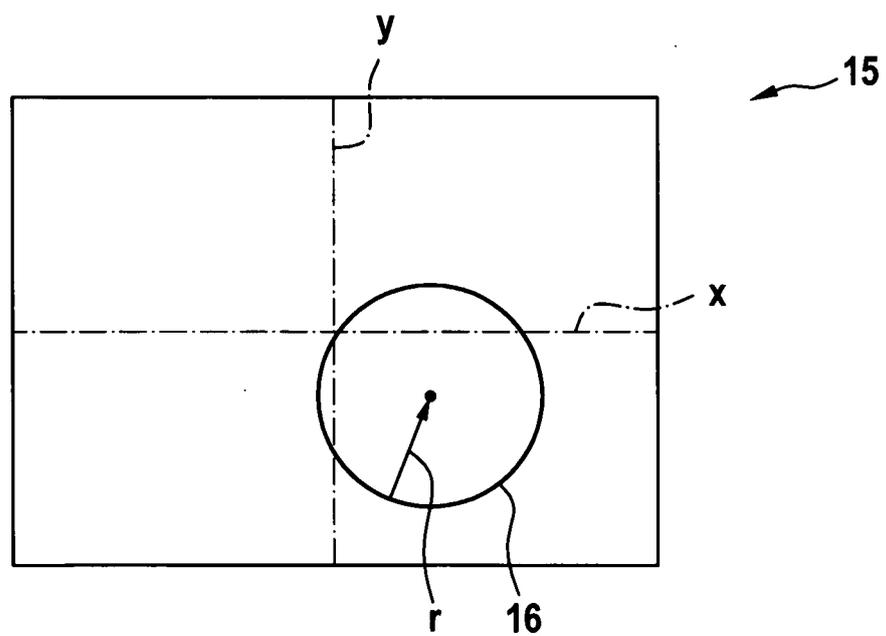


Fig. 4

