



(10) **DE 10 2012 211 549 B3** 2013.07.04

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 211 549.8**  
(22) Anmeldetag: **03.07.2012**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **04.07.2013**

(51) Int Cl.: **G01B 9/02 (2012.01)**

Innerhalb von drei 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:  
**Polytec GmbH, 76337, Waldbronn, DE**

(74) Vertreter:  
**Lemcke, Brommer & Partner, Patentanwälte,  
76133, Karlsruhe, DE**

(72) Erfinder:  
**Dräbenstedt, Alexander, Dr., 76275, Ettlingen,  
DE; Boedecker, Sebastian, 76137, Karlsruhe, DE;  
Rembe, Christian, Dr., 76337, Waldbronn, DE;  
Schüssler, Matthias, 76337, Waldbronn, DE; Xu,  
Thian-Hua, Dr., 76307, Karlsbad, DE**

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

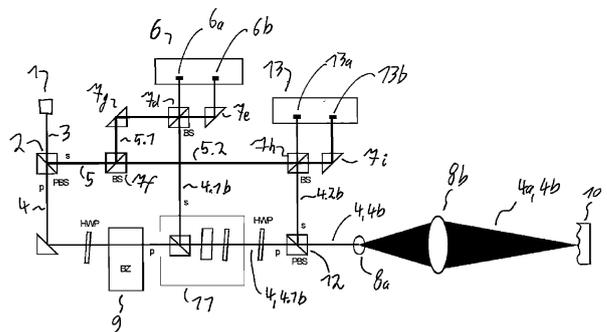
<b>GB</b>	<b>2 485 202</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>2005 / 0 213 103</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2007 / 0 236 700</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur interferometrischen Vermessung eines Objekts**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur interferometrischen Vermessung eines Objekts, umfassend eine Strahlungsquelle zur Erzeugung eines Ausgangsstrahls, eine Strahlteilverrichtung zur Aufteilung des Ausgangsstrahls in einen Mess- und einen Referenzstrahl, eine optische Überlagerungsvorrichtung und einen ersten Detektor, wobei Überlagerungsvorrichtung und erster Detektor derart zusammenwirkend ausgestaltet sind, dass der von dem Objekt zumindest teilweise reflektierte Messstrahl als Empfangsstrahl und der Referenzstrahl auf mindestens einer Detektorfläche des ersten Detektors zumindest teilweise überlagert sind

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlteilverrichtung ausgebildet ist zur Aufteilung des Ausgangsstrahls in einen Messstrahl, einen ersten Referenzstrahl und mindestens einen zweiten Referenzstrahl und zur Aufteilung des Empfangsstrahls in einen ersten Empfangsteilstrahl und mindestens einen zweiten Empfangsteilstrahl, dass die Vorrichtung mindestens einen zweiten Detektor aufweist und derart ausgebildet ist, dass der erste Empfangsteilstrahl mit dem ersten Referenzteilstrahl auf einer Detektionsfläche des ersten Detektors und der zweite Empfangsteilstrahl mit dem zweiten Referenzteilstrahl auf einer Detektionsfläche des zweiten Detektors überlagert sind, jeweils unter Ausbildung einer optischen Interferenz, und dass die Vorrichtung eine Auswerteeinheit zur Auswertung der Messsignale des ersten und des zweiten Detektors aufweist, welche ausgebildet ist, die Mess-

signale der beiden Detektoren nach dem Prinzip der Empfangs-Diversität auszuwerten.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur interferometrischen Vermessung eines Objekts gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zur interferometrischen Vermessung eines Objekts gemäß Oberbegriff des Anspruchs 10.

**[0002]** Vorrichtungen und Verfahren zur interferometrischen Vermessung eines Objekts sind in verschiedenen Ausgestaltungen bekannt: So ist beispielsweise ein typischer Aufbau als Lase-Doppler Vibrometer bekannt, welcher einen Laser als Strahlungsquelle zur Erzeugung eines Ausgangsstrahls umfasst, eine Strahlteilverrichtung zur Aufteilung des Ausgangsstrahls in einem Mess- und einen Referenzstrahl, eine optische Überlagerungsvorrichtung und einen ersten Detektor.

**[0003]** Der Messstrahl wird auf einen Messpunkt auf dem Objekt geleitet und der zumindest teilweise reflektierte Messstrahl („Empfangsstrahl“ genannt) wird zusammen mit dem Referenzstrahl auf einer Detektorfläche des Detektors überlagert, sodass durch Auswertung des Interferenzsignals, beispielsweise auf eine Bewegung der Objektfläche am Messpunkt in Richtung der optischen Achse des Messstrahls rückgeschlossen werden kann.

**[0004]** Beispielsweise ist aus der GB 2485202 ein Demodulator bekannt, in welchem ein Referenzstrahl mit einem ersten Strahl auf einem ersten Detektor und mit einem zweiten Strahl mit einer zum ersten Strahl unterschiedlichen Polarisierung auf einem zweiten Detektor überlagert wird, wobei erster und zweiter Strahl mittels eines polarisierenden Strahlteilers aus einem Eingangsstrahl aufgeteilt sind und optisch gleiche Weglängen aufweisen.

**[0005]** Ebenso ist aus der US 2007 0236700 A1 eine Vorrichtung bekannt, in welcher ein Referenzstrahl und ein Messstrahl mit modulierter Polarisierung überlagert werden.

**[0006]** Weiterhin ist aus der US 2005 0213103 A1 eine Vorrichtung bekannt, in welcher ein Referenzstrahl und ein Messstrahl überlagert werden, wobei sowohl im Strahlengang des Messstrahls als auch des Referenzstrahls ein Polarisationsmodulator angeordnet ist.

**[0007]** Darüber hinaus sind Anordnungen bekannt, welche einen heterodyn Aufbau aufweisen. Hierbei wird typischerweise mittels einer Braggzelle eine Frequenzverschiebung zwischen Referenz- und Messstrahl bewirkt. Grundsätzlich entsteht durch die Interferenz der überlagerten Mess- und Referenzstrahlen eine Intensitätsmodulation mit der Frequenz der Differenzfrequenz der beiden Strahlen. Bei einem heterodyn Aufbau setzt sich die Differenzfrequenz auf

der mit der Braggzelle eingebrachten Frequenzverschiebung und der Dopplerverschiebung durch Bewegung des Objekts zusammen. Die bei dem heterodyn Aufbau eingebrachte Frequenzverschiebung dient im elektrotechnischen Sinne als Trägerfrequenz, welche durch die Geschwindigkeit des Objekts frequenzmoduliert wird bzw. durch Entfernungsänderungen des Objekts phasenmoduliert wird.

**[0008]** Durch Phasendemodulation des modulierten Trägersignals lässt sich die Bewegung des Objekts somit in der Entfernungskoordinate zurückgewinnen. Durch Frequenzdemodulation des modulierten Trägersignals lässt sich die Geschwindigkeit des Objekts zurückgewinnen.

**[0009]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Anwendungsbereiche der vorbekannten Vorrichtungen und Verfahren zu erweitern und/oder die Messgenauigkeit und/oder Zuverlässigkeit zu erhöhen.

**[0010]** Gelöst ist die Aufgabe durch eine Vorrichtung zur interferometrischen Vermessung eines Objekts gemäß Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren zur interferometrischen Vermessung eines Objekts gemäß Anspruch 10. Vorzugsweise Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung finden sich in den Ansprüchen 2 bis 9; vorzugsweise Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens finden sich in den Ansprüchen 11 bis 14. Hiermit wird der Wortlaut sämtlicher Ansprüche explizit per Referenz in die Beschreibung einbezogen.

**[0011]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur interferometrischen Vermessung eines Objekts umfasst eine Strahlungsquelle zur Erzeugung eines Ausgangsstrahls, eine Strahlteilverrichtung zur Aufteilung des Ausgangsstrahls in einen Mess- und einen Referenzstrahl, eine optische Überlagerungsvorrichtung und einen ersten Detektor.

**[0012]** Die Überlagerungsvorrichtung und der erste Detektor sind derart zusammenwirkend ausgebildet, dass der von dem Objekt zumindest teilweise reflektierte Messstrahl (als Empfangsstrahl) und der erste Referenzstrahl auf mindestens einer Detektorfläche des ersten Detektors überlagert sind.

**[0013]** Hinsichtlich dieses Grundaufbaus entspricht die erfindungsgemäße Vorrichtung somit vorbekannten Interferometern, insbesondere weisen typische, aus dem Stand der Technik bekannte, Laser-Doppler-Vibrometer solch einen Aufbau auf.

**[0014]** Wesentlich ist, dass bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung die Strahlteilverrichtung ausgebildet ist zur Aufteilung des Ausgangsstrahls in einen Messstrahl, einen ersten Referenzteilstrahl und mindestens einen zweiten Referenzteilstrahl und dass

die Strahlteilervorrichtung ausgebildet ist zur Aufteilung des Empfangsstrahls in einen ersten Empfangsteilstrahl und mindestens einen zweiten Empfangsteilstrahl. Im Gegensatz zu vorbekannten Vorrichtungen werden somit Empfangsstrahl und Referenzstrahl jeweils zumindest in zwei Teilstrahlen aufgeteilt.

**[0015]** Weiterhin umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung mindestens einen zweiten Detektor und ist derart ausgebildet, dass der erste Empfangsstrahl mit dem ersten Referenzteilstrahl auf einer Detektionsfläche des ersten Detektors und der zweite Empfangsteilstrahl mit dem zweiten Referenzteilstrahl auf einer Detektionsfläche des zweiten Detektors überlagert wird, jeweils unter Ausbildung einer optischen Interferenz.

**[0016]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist weiterhin eine Auswerteeinheit zur Auswertung der Messsignale des ersten und des zweiten Detektors auf, welche Auswerteeinheit ausgebildet ist, die Messsignale der beiden Detektoren nach dem Prinzip der Empfangs-Diversität auszuwerten.

**[0017]** Die Erfindung ist in der Erkenntnis des Anmelders begründet, dass häufig Objektoberflächen den Messstrahl derart beeinflussen, dass eine Verringerung der Messgenauigkeit oder sogar ein Messausfall resultiert:

Der breiten Verwendbarkeit von Vorrichtungen zu interferometrischen Vermessungen eines Objekts und insbesondere Vibrometern ist es geschuldet, dass diese Vorrichtungen nicht nur zur Vermessung von Objekten mit einer als ideal anzusehenden optisch spiegelnden Oberfläche Anwendung finden, sondern auch zur Vermessung von Objekten mit unkooperativen und insbesondere rauen Oberflächen eingesetzt werden. Von einer rauen Oberfläche wird der Messstrahl typischerweise diffus gestreut und die Intensitätsverteilung des Empfangsstrahls ist daher von Speckle geprägt. Die Speckle rühren daher, dass die Phasenunterschiede des Messstrahls, der aufgrund der Rauigkeit der Oberfläche des Messobjekts an verschiedenen zu der Vorrichtung beabstandeten Objektpunkten gestreut wird, dazu führen, dass sich in jeder Richtung unabhängig die resultierende Gesamtintensität zu stark voneinander abweichenden Werten ergibt. Je nach Beschaffenheit und Ausrichtung der vermessenen Oberfläche kann somit eine sehr hohe Gesamtintensität resultieren; ebenso ist es jedoch möglich, dass sich aufgrund der Phasenunterschiede eine sehr geringe oder sogar eine Intensität 0 ergibt. Auch auf der Detektorfläche des Detektors führt die Interferenz vieler gestreuter Lichtbeiträge mit unterschiedlicher Phase dazu, dass die Gesamtintensität stark schwankt.

**[0018]** Da der Rauschpegel der auf dem Objekt zu messenden Position oder Geschwindigkeit mit sin-

kender Signalstärke ansteigt, ist die Qualität der Messung somit von dem Speckle-Muster abhängig. Das Speckle-Muster ist jedoch veränderlich und schwankt insbesondere abhängig von dem aktuellen Messpunkt und Ausrichtung der Oberfläche des Objekts.

**[0019]** Darüber hinaus werden die vorgenannten Phasenunterschiede zwischen den Speckles als scheinbare Bewegung gemessen: Aufgrund der Phasenunterschiede zwischen den Speckles können tiefe Einbrüche in der Stärke des Messsignals entstehen (sogenannte „Dropouts“), da sich die Lichtbeiträge gegenseitig vollständig aufheben können. Die Auswertung der Messsignale des Detektors ergibt dann einen scheinbaren Sprung in der Position der vermessenen Oberfläche des Objekts, wobei der Sprung etwa einem Viertel der verwendeten Wellenlänge des Messstrahls entspricht. Hieraus resultiert entsprechend ein hoher Peak, beispielsweise in der ausgewerteten Geschwindigkeit, der jedoch keine Entsprechung in der realen Bewegung des Objekts findet.

**[0020]** Wenn darüber hinaus eine scannende Messung durchgeführt wird, bei welcher der Messstrahl über eine Vielzahl von Messpunkten auf dem Objekt bewegt wird und/oder wenn die Strahlungsquelle der Vorrichtung und die Oberfläche des Objekts nicht optimal zueinander fixiert sind und/oder wenn sich durch atmosphärische Schlieren-Effekte eine Ablenkung des Messstrahls ergibt, ändert sich das empfangene Speckle-Muster und das auswertbare Signal wird verfälscht und insbesondere zeitweise tiefe Signaleinbrüche aufweisen.

**[0021]** Die Erfindung nutzt nun die Erkenntnis, dass die vorgenannten Signaleinbrüche typischerweise zufällig (aber dennoch statistisch beschreibbar) auftreten und bei üblichen Messbedingungen nur einen niedrigen Prozentsatz der Messzeit bzw. der zu vermessenden Messpunkte auf der Oberfläche des Objekts betreffen. Wenn nun zwei oder mehrere unabhängige Rohsignale zu unterschiedlichen Zeiten die vorgenannten Dropouts aufweisen und die Rohsignale statistisch unabhängig oder zumindest in etwa oder bevorzugt im Wesentlichen statistisch unabhängig sind, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei zwei Messkanälen gleichzeitig ein Einbruch auftritt, das Produkt der Wahrscheinlichkeit dessen für jeden einzelnen Kanal. Diese kombinierte Wahrscheinlichkeit ist sehr viel geringer als für einen einzelnen Kanal. Dies bedeutet somit, dass die Wahrscheinlichkeit der vorgenannten Dropouts erheblich verringert werden kann.

**[0022]** Das Prinzip der Empfangs-Diversität ist auf dem technischen Gebiet der Funkübertragung bekannt und wird dort auch als Antennen-Diversität bezeichnet. Bei einer Antennen-Diversität weist ein Empfangsgerät für Funktionssignale mindestens

zwei Antennen auf, deren Signale jeweils hinsichtlich des Pegels oder besten Rauschabstandes bewertet werden und anhand dieser Bewertung wird eines der Signale zur Auswertung verwendet.

**[0023]** Die vorliegende Erfindung überträgt nun erstmals das Prinzip der Empfangs-Diversität auf die interferometrische Vermessung eines Objekts:

Durch die Aufteilung des Referenzstrahls in ersten und zweiten Referenzteilstrahl sowie des Empfangsstrahls in ersten und zweiten Empfangsteilstrahl und die entsprechende Überlagerung wie vorhergehend beschrieben auf den Detektionsflächen des ersten und zweiten Detektors stehen somit separate Messsignale von mindestens zwei Detektoren zur Verfügung, welche in Analogie mit den beiden Empfängern bei der Antennen-Diversität verglichen werden können.

**[0024]** Auch bei der vorliegenden Erfindung ist wesentlich, dass anhand eines Gütekriteriums, welches eine Bewertung der Güte der Messdaten des ersten Detektors im Vergleich mit der Güte der Messdaten des zweiten Detektors ermöglicht, eine Auswertung erfolgt, welche abhängig von den jeweils ermittelten Gütewerten aus entweder lediglich einem Messsignal von einem der beiden Detektoren oder einem kombinierten Messsignal beider Detektoren besteht, wobei auch vorgenannte Kombination eine Wichtung abhängig von der angelegten Güte beinhalten kann.

**[0025]** Wesentlich für die vorliegende Erfindung ist somit nicht nur, dass eine Auswertung von Daten des Empfangsstrahls mittels zweier Detektoren erfolgt, sondern dass mittels der beiden Detektoren der Empfangsstrahl hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien ausgewertet wird. Mittels des ersten Detektors wird somit zumindest teilweise eine andere in dem Empfangsstrahl enthaltene Information ausgewertet, verglichen mit der (zumindest teilweise) mittels des zweiten Detektors ausgewerteten Information des Empfangsstrahls.

**[0026]** Untersuchungen des Anmelders haben ergeben, dass die vorgenannte Informationstrennung der im Empfangsstrahl enthaltenen Informationen und Zuordnung einerseits zu dem ersten Detektor und andererseits zu dem zweiten Detektor bevorzugt hinsichtlich mindestens eines der folgenden Kriterien durchgeführt wird:

#### a) Trennung hinsichtlich der Polarisierung

**[0027]** Hierbei werden unterschiedliche Polarisationsanteile des Empfangsstrahls auf den ersten und zweiten Detektor abgebildet. Dies ist insbesondere bei zu vermessenden Objekten, welche eine diffus streuende Oberfläche aufweisen, vorteilhaft. Insbesondere nichtmetallische Oberflächen sind typischerweise diffus streuende Flächen. Es ist bekannt, dass

Licht, welches an nichtmetallischen Oberflächen diffus gestreut wird, seine vorher definierte Polarisation verliert und somit zufällig polarisiert ist, siehe Goodman, Joseph W., „Speckle phenomena in optics“, Seite 47 ff, 2007 Roberts and Company Publishers.

**[0028]** Insbesondere bei solchen diffus streuenden Oberflächen bietet eine Auftrennung hinsichtlich der Polarisation somit eine kostengünstig realisierbare Möglichkeit, an den ersten und zweiten Detektor Messsignale zu erzeugen, wobei die Signaleinbrüche der Messsignale des ersten Messdetektors statistisch unabhängig oder zumindest im Wesentlichen statistisch unabhängig zu den Signaleinbrüchen der Messsignale des zweiten Messdetektors sind.

#### b) Räumliche Trennung

**[0029]** Hierbei wird der Empfangsstrahl in mindestens einen ersten und einen zweiten Unterbereich des Strahlquerschnitts räumlich aufgeteilt und der erste Unterbereich zu dem ersten Detektor und der zweite Unterbereich zu dem zweiten Detektor weitergeleitet.

**[0030]** Es erfolgt somit eine räumliche Aufteilung, indem Unterbereiche des Strahlquerschnitts entweder zu Detektor **1** oder zu Detektor **2** weitergeleitet werden. In einer vorzugsweisen Ausführungsform wird der Empfangsstrahl in eine rechte Hälfte als ersten Unterbereich und eine linke Hälfte als zweiten Unterbereich aufgeteilt, d. h. der Strahlquerschnitt wird hälftig dem ersten und hälftig dem zweiten Unterbereich zugeordnet.

**[0031]** Bei dieser Variante erfolgt somit eine Aufteilung der räumlichen Information des Empfangsstrahls. Untersuchungen des Anmelders haben ergeben, dass insbesondere bei metallischen Oberflächen eine solche räumliche Auftrennung des Empfangsstrahls ebenfalls die gewünschte statistische Unabhängigkeit oder zumindest im Wesentlichen statistische Unabhängigkeit der Signaleinbrüche der Signale des ersten Detektors zu den Signaleinbrüchen der Messsignale des zweiten Detektors bewirkt.

#### c) Modenaufteilung

**[0032]** Hierbei erfolgt eine Aufteilung des Empfangsstrahls derart, dass zu dem Detektor **1** zumindest teilweise unterschiedliche Strahlmoden, insbesondere Strahl-Transversalmoden geleitet werden, gegenüber Detektor **2**. Beispielsweise kann zu Detektor **1** lediglich eine Gauß-Grundmode des Empfangsstrahls geleitet werden und auf den Detektor **2** lediglich weitere Anteile des Empfangsstrahls, insbesondere höhere Strahlmoden ohne Gauß-Grundmode.

**[0033]** Auch die Aufteilung hinsichtlich verschiedener Strahlmoden des Empfangsstrahls bewirkt, dass

die Signaleinbrüche der Messsignale des ersten Detektors statistisch unabhängig oder zumindest näherungsweise statistisch unabhängig zu den Signaleinbrüchen der Messsignale des zweiten Detektors sind.

**[0034]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung verbindet somit erstmals eine Vorrichtung zur interferometrischen Vermessung eines Objekts mit einer Auswertung nach dem Prinzip der Empfangs-Diversität. Hierzu weist die erfindungsgemäße Vorrichtung zumindest zwei Detektoren auf, auf denen jeweils ein Empfangsteilstrahl mit einem Referenzteilstrahl überlagert wird.

**[0035]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur interferometrischen Vermessung eines Objekts umfasst die Verfahrensschritte:

- Erzeugen eines Ausgangsstrahls mittels einer Strahlungsquelle;
- Aufspalten des Ausgangsstrahls in mindestens einen Mess- und mindestens einen Referenzstrahl;
- Beaufschlagen mindestens eines Messpunktes auf dem Objekt mit dem Messstrahl als Sendestrahl und
- Überlagern des von dem Objekt zumindest teilweise reflektierten und/oder gestreuten Messstrahls als Empfangsstrahl mit dem Referenzstrahl auf einer Detektionsfläche eines ersten Detektors unter Ausbildung einer optischen Interferenz.

**[0036]** Diese Referenzschritte sind bei dem aus dem Stand der Technik bekannten Messverfahren, insbesondere dem Vibrometer-Messverfahren, bekannt.

**[0037]** Wesentlich ist, dass der Ausgangsstrahl in einen Messstrahl, einen ersten Referenzteilstrahl und mindestens einen zweiten Referenzteilstrahl und der Empfangsstrahl in einen ersten Empfangsteilstrahl und mindestens einen zweiten Empfangsteilstrahl aufgeteilt wird. Der erste Empfangsteilstrahl wird mit dem ersten Referenzteilstrahl auf der Detektionsfläche des ersten Detektors und der zweite Empfangsteilstrahl wird mit dem zweiten Referenzteilstrahl auf einer Detektionsfläche eines zweiten Detektors überlagert, jeweils unter Ausbildung einer optischen Interferenz. Die Messsignale des ersten und den zweiten Detektors werden nach dem Prinzip der Empfangs-Diversität ausgewertet.

**[0038]** Das erfindungsgemäße Verfahren weist somit die vorhergehend bei Beschreibung der erfindungsgemäßen Vorrichtung genannten Vorteile auf.

**[0039]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist vorzugsweise zur Durchführung mittels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. einer vorteilhaften Ausgestaltung hiervon ausgebildet. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist vorzugsweise zur Durchführung des

erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. einer vorteilhaften Ausgestaltung hiervon ausgebildet.

**[0040]** Insbesondere erfolgt bevorzugt bei dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Aufteilung des Empfangsstrahls hinsichtlich mindestens eines der Kriterien a) Polarisierung, b) räumliche Aufteilung und c) Aufteilung hinsichtlich Strahlmoden wie vorhergehend beschrieben.

**[0041]** Die Vorrichtung umfasst vorzugsweise mindestens ein optisches Strahlteilmittel, welches im Strahlengang des Empfangsstrahls und/oder des ersten und/oder des zweiten Empfangsteilstrahls angeordnet und derart ausgebildet ist, dass mit erstem und zweitem Detektor unterschiedliche Polarisationsanteile und/oder unterschiedliche Raumteile und/oder unterschiedliche Moden des Empfangsstrahls auswertbar sind.

**[0042]** In dieser vorzugsweisen Ausführungsform wird somit die Auftrennung hinsichtlich der beiden Strahlbestandteile mittels des optischen Strahlteilmittels durchgeführt, sodass in lichteffizienter Weise eine Aufteilung des entsprechenden Strahls und eine Aufteilung hinsichtlich der Information, insbesondere nach einem der vorgenannten Kriterien erfolgt.

**[0043]** Es liegt im Rahmen der Erfindung, lediglich einen oder mehrere Teilstrahlen mittels optischer Komponenten zu beeinflussen, um eine Auswertung nach dem Prinzip der Empfangs-Diversität zu ermöglichen. So ist es beispielsweise möglich, dass lediglich im Strahlengang des ersten und/oder des zweiten Referenzstrahls entsprechende optische Mittel, wie beispielsweise Polarisationsregler, angeordnet sind. Denn eine Interferenz bei Überlagerung von den einander zugeordneten Referenz- und Empfangsteilstrahlen findet typischerweise lediglich hinsichtlich gleichartig ausgeprägter Komponenten der beiden Strahlen statt. Ist beispielsweise der erste Referenzteilstrahl linear in einer vorgegebenen Raumrichtung polarisiert, so wird typischerweise mittels des ersten Detektors eine Interferenz und demzufolge ein entsprechendes Messsignal auch nur hinsichtlich gleichartig polarisierter Komponenten des ersten Empfangsteilstrahls erfolgen.

**[0044]** Es liegt demnach im Rahmen der Erfindung, beispielsweise einen oder beide Referenzteilstrahlen mittels optischer Mittel, insbesondere optischer Filter, zu beeinflussen, um die an den ersten Detektor ausgeprägte Interferenz hinsichtlich des beeinflussenden Informationsgehaltes des Empfangsteilstrahls von der vom zweiten Detektor ausgebildeten Interferenz zu unterscheiden. Vorteilhaft ist es jedoch, den ersten und/oder den zweiten Empfangsteilstrahl mittels optischer Mittel, insbesondere mittels optischer Filter, zu beeinflussen. Auf diese Weise kann das gleiche Ergebnis erzielt werden, jedoch

wird hierbei typischerweise eine Auswertung mit einem geringeren Intensitätsverlust ausgehend von der Intensität des eingehenden Empfangsstrahls verglichen mit der letztendlich zur Auswertung beitragenden Intensität des ersten und zweiten Empfangsteilstrahls erzielt.

**[0045]** In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform ist daher im Strahlengang des Empfangsstrahls ein optischer Strahlenteiler angeordnet, welcher einerseits den Empfangsstrahl in den ersten Empfangsteilstrahl und den zweiten Empfangsteilstrahl aufteilt und zusätzlich die gewünschte Auftrennung erzielt, insbesondere zusätzlich eine Auftrennung hinsichtlich der Polarisationskomponenten und/oder der räumlichen Komponenten und/oder der Moden des Empfangsstrahls bewirkt.

**[0046]** So sind beispielsweise sogenannte Polarisationsstrahlteiler bekannt, welche einen einfallenden Strahl in zwei Teilstrahlen mit unterschiedlichen Polarisierungen, das heißt mit aufgetrennten Polarisationsanteilen des anfallenden Strahls, aufteilen. Ein solcher vorbekannter Polarisationsstrahlteiler kann in einfacher und kostengünstiger Weise eine gewünschte Aufteilung des Empfangsstrahls in ersten und zweiten Empfangsteilstrahl bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung bewirken.

**[0047]** Bei Ausbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung hinsichtlich einer Aufteilung des Empfangsstrahls gemäß Kriterium a), das heißt hinsichtlich der Polarisationsanteile, umfasst die Strahlteiler Vorrichtung ein Polarisationsmittel, welches Polarisationsmittel derart ausgebildet ist, dass mittels des ersten und zweiten Detektors zueinander orthogonal polarisierte Anteile des Empfangsstrahls auswertbar sind. Die Bezeichnung „orthogonal polarisierte Anteile“ bezeichnet hierbei und im Folgenden alle Polarisationszustände, die sich durch eine beliebige Phasenverzögerungsplatte, vorzugsweise ohne Intensitätsverlust, aus linear senkrecht polarisierten Zuständen erzeugen lassen. Beispielsweise stellen senkrecht zueinander stehende, lineare Polarisationsanteile solche orthogonal polarisierte Anteile dar. Ebenso stellen gegenläufige zirkulare Polarisationsanteile solche orthogonal polarisierte Anteile dar. Ebenso stellen zwei unterschiedlich elliptisch polarisierte Polarisationsanteile orthogonal polarisierte Anteile dar, sofern die beiden elliptisch polarisierten Anteile mittels einer Phasenverzögerungsplatte ohne Intensitätsverlust in senkrecht zueinander stehende linear polarisierte Polarisationsanteile überführbar sind.

**[0048]** Insbesondere umfasst des vorgenannte Polarisationsmittel bevorzugt einen Polarisationsstrahlteiler, welcher im Strahlengang des Empfangsstrahls angeordnet ist, sodass der Empfangsstrahl in den ersten Empfangsteilstrahl und den zweiten Empfangsteilstrahl aufgespaltet wird und erster und zwei-

ter Empfangsteilstrahl unterschiedliche Polarisationskomponenten des Empfangsstrahls umfassen, bevorzugt orthogonal polarisierte Anteile des Empfangsstrahls umfassen.

**[0049]** Die Verwendung eines Polarisationsstrahlteilers stellt – wie zuvor bereits ausgeführt – eine kostengünstige Realisierung dar.

**[0050]** Insbesondere vorteilhaft bei der vorgenannten Ausbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist, dass der Polarisationsstrahlteiler zusätzlich im Strahlengang des Referenzstrahls angeordnet ist, sodass mittels des Polarisationsstrahlteilers der Referenzstrahl in den ersten und zweiten Referenzteilstrahl aufgespaltet wird.

**[0051]** Die Verwendung lediglich eines Polarisationsstrahlteilers zur Aufteilung und Polarisationsaufteilung sowohl des Referenzstrahls als auch des Empfangsstrahls stellt eine kostengünstige und platzsparende Realisierung dar. insbesondere muss in dieser Variante lediglich dieser eine Strahlteiler im Strahlengang zur exakten Überlagerung von Mess- und Referenzstrahlen justiert werden, sodass sich, verglichen mit anderen Aufbauten, die Justierung der optischen Komponenten vereinfacht. Der Referenzstrahl weist hierbei vorzugsweise einen Polarisationszustand auf, der durch den PBS in zwei im Wesentlichen gleich starke (hinsichtlich der Intensität) Strahlen aufgeteilt wird. In den überlagerten Strahlen(-paaren) die den einzelnen Detektoren zugeordnet sind liegen die Polarisierungen von Mess- und Referenzstrahl senkrecht zueinander. Ohne Leistungsverlust lassen sich diese Strahlen(-paare) mit jeweils einer Halbwellenplatte und einem PBS in jeweils ein Pärchen von Strahlen umwandeln, in denen die Polarisierungen parallel und damit interferenzfähig sind und zwischen denen ein  $180^\circ$  Phasenunterschied in der aufgeprägten Interferenzmodulation vorliegt. Solche Paare von Strahlen lassen sich vorteilhaft mit einem differentiellen Detektor in elektrische Signale wandeln.

**[0052]** Vorzugsweise liegen bei der beschriebenen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung die optischen Strahlachsen von Sende- und Empfangsstrahl zumindest zwischen einem Strahlengang der Vorrichtung und dem Objekt räumlich getrennt nebeneinander, vorzugsweise parallel nebeneinander.

**[0053]** Hierdurch wird in einfacher Weise eine räumliche Trennung zwischen Mess- und Empfangsstrahl im Strahlengang der Vorrichtung möglich.

**[0054]** Insbesondere ist es hierbei vorteilhaft, dass im Strahlengang von Messstrahl und Empfangsstrahl eine Sende-/Empfangslinse, wie zuvor beschrieben, insbesondere als Bestandteil eines Objektivs, ange-

ordnet ist. Bevorzugt durchdringen die Strahlachsen von Mess- und Empfangsstrahl parallel und räumlich getrennt eine Apertur der Sende-/Empfangslinse.

**[0055]** Um hierbei eine optimale Ausnutzung der Apertur und damit wie zuvor beschrieben eine optimale Lichtintensität und letztendlich Signalstärke des Messsignals zu erzielen, ist es vorteilhaft, dass das Strahlintensitätsprofil von Mess- und/oder Empfangsstrahl, bevorzugt von beiden Strahlen, derart geformt ist, dass die Apertur der Sende-/Empfangslinse überwiegend genutzt wird. Bei dieser vorzugsweisen Ausführungsform wird somit vermieden, dass Teilbereiche der Apertur der Sende-/Empfangslinse nicht oder nur mit geringer Intensität von Mess- oder Empfangsstrahl durchdrungen werden. Insbesondere ist es hierbei vorteilhaft, dass das Strahlintensitätsprofil von Mess- oder Empfangsstrahl, bevorzugt von beiden Strahlen elliptisch, insbesondere mit einem Achsenverhältnis im Bereich von 1:1,5 bis 1:2,5 ausgebildet ist. Ziel dieser vorteilhaften Ausbildung ist, die Apertur der Sende-/Empfangslinse durch den Sende- und Empfangsstrahl möglichst „auszufüllen“. Das Nebeneinanderordnen zweier Strahlen mit elliptischem Strahlintensitätsprofil, wobei die Hauptachsen der Ellipsen vorzugsweise parallel zueinander liegen.

**[0056]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst vorzugsweise eine Signalverarbeitungseinheit, welche Signalverarbeitungseinheit ausgebildet ist, um ein kombiniertes Ausgangssignal aus den Messdaten des ersten und zweiten Detektors zu erzeugen.

**[0057]** Mittels der Signalverarbeitungseinheit wird somit die Auswertung der Messsignale der beiden Detektoren nach dem Prinzip der Empfangs-Diversität ermöglicht.

**[0058]** Wie zuvor beschrieben, ist es bei der Auswertung der Messsignale nach dem Prinzip der Empfangs-Diversität wesentlich, dass sowohl das Messsignal des ersten Detektors als auch das Messsignal des zweiten Detektors gemäß eines Gütekriteriums bewertet wird und abhängig von den beiden Gütekriterien ein Signal gebildet wird, welches letztendlich das auszuwertende Ausgangssignal darstellt.

**[0059]** Hierbei liegt es im Rahmen der Erfindung, nach Art eines binären Schalters stets dasjenige Signal für die Auswertung zu verwenden, welches die höhere Gütebewertung aufweist.

**[0060]** Ebenso liegt es im Rahmen der Erfindung, ein kombiniertes Ausgangssignal aus dem Messsignal des ersten Detektors und dem Messsignal des zweiten Detektors zu bilden, wobei eine Wichtung anhand der vorbeschriebenen Gütebewertung erfolgt. Das Gütesignal kann in einer vorzugsweisen Ausführungsform abhängig von der Signalstärke des Messsignals gebildet werden, sodass der Detektor, wel-

cher eine höhere Signalstärke des Messsignals aufweist, eine höhere Gütebewertung erhält, verglichen mit dem anderen Detektor mit einer geringeren Signalstärke des Messsignals.

**[0061]** Die Gütebewertung wird vorzugsweise ständig durchgeführt. Bei praktischer Umsetzung beispielsweise durch Implementierung in einer rechnergestützten Auswerteeinheit wird typischerweise eine diskrete Bewertung an zeitnah aufeinanderfolgenden Bewertungspunkten durchgeführt. Typischerweise wird hierbei die Bewertung mit einer Taktrate im Bereich von 1 kHz bis 100 kHz ausgeführt.

**[0062]** Insbesondere ist es vorteilhaft, eine Gütebewertung des Messsignals des ersten Detektors und des Messsignals des zweiten Detektors unter Berücksichtigung der Signalleistung und/oder der Amplitude des Messsignals durchzuführen.

**[0063]** Hierbei ist es vorteilhaft, das für das erste Messsignal ein erster Wichtungsfaktor und für das zweite Messsignal ein zweiter Wichtungsfaktor gebildet wird, welche Wichtungsfaktoren komplementär zueinander und jeweils abhängig vom ersten und zweiten Messsignal, vorzugsweise abhängig von der Amplitude des ersten und des zweiten Messsignals oder der Leistung des ersten und zweiten Messsignals gebildet werden. Insbesondere ist es vorteilhaft, dass die Wichtungsfaktoren derart gebildet werden, dass jeweils das Messsignal mit der größeren Amplitude eine höhere Wichtung erhält als das mit der niedrigeren Amplitude. Eine Vielzahl von mathematischen Formulierungen ist denkbar die dieses Prinzip erfüllen. Eine besonders bevorzugte Realisierung ist es die Wichtungsfaktoren so zu berechnen, dass ihr Verhältnis gleich ist dem Verhältnis der elektrischen Signalamplituden.

**[0064]** Für eine optimale Einstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung und für eine optimale Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es vorteilhaft, dass der Polarisationszustand des Mess- und/oder Empfangsstrahls mittels einer optischen Komponente derart beeinflusst wird, dass die Empfangskanäle beider Detektoren während der Vermessung eines metallisch spiegelnden Objekts im Wesentlichen gleiche Signalstärken aufweisen. Insbesondere ist es vorteilhaft, dass ein optisches Mittel aufweisend eine optische Verzögerungsplatte verwendet wird.

**[0065]** In dieser vorzugsweisen Ausführungsform erfolgt somit eine „Vorab“-Optimierung derart, dass als Optimierungsstandard ein Messobjekt mit einer metallisch spiegelnden Oberfläche verwendet wird und mittels eines optischen Mittels, vorzugsweise mittels einer optischen Verzögerungsplatte, der Mess- und/oder Empfangsstrahl hinsichtlich des Polarisationszustandes derart beeinflusst wird, dass während des

Messens der metallisch spiegelnden Oberfläche der erste und der zweite Detektor im Wesentlichen gleiche Signalstärken aufweisen.

**[0066]** Durch diesen Abgleich ergibt sich der Vorteil, dass die Strahlwege zu beiden Detektoren symmetrisch justiert werden können um gleiche Signalstärke zu liefern. Beide Kanäle werden dann auf allen Oberflächenarten im Mittel gleiche Signalstärken liefern und gleichermaßen zum Gesamtsignal beitragen.

**[0067]** Wie zuvor bereits ausgeführt, ist das Interferometer vorzugsweise als heterodynes Interferometer ausgebildet. Insbesondere weist das Interferometer bevorzugt eine optische Frequenzschiebeeinheit auf, welche vorzugsweise als Braggzelle ausgebildet ist. Die Frequenzschiebeeinheit ist vorzugsweise im Strahlengang des Mess- und/oder Referenzstrahls angeordnet.

**[0068]** Hierdurch kann die zuvor beschriebene an sich bekannte heterodyne Ausbildung erzielt werden.

**[0069]** Weitere vorzugsweise Merkmale und Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden nachfolgend anhand von Figuren und Ausführungsbeispielen beschrieben.

**[0070]** Dabei zeigt:

**[0071]** **Fig. 1** ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei welcher ein Sende- und ein Empfangsstrahl koaxial übereinander liegen;

**[0072]** **Fig. 2** ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei welcher Sende- und Empfangsstrahl nebeneinander liegen;

**[0073]** **Fig. 3** insgesamt vier Frontalansichten einer Sende-/Empfangslinse mit unterschiedlichen Anordnungen von Sende- und Empfangsstrahl und unterschiedlichen Strahlprofilen;

**[0074]** **Fig. 4** ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei schematisch Komponenten einer Auswerteeinheit dargestellt sind;

**[0075]** **Fig. 5** ein heterodynes Laser-Vibrometer gemäß Stand der Technik;

**[0076]** **Fig. 6** eine Teilkomponente eines vierten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei welcher eine räumliche Aufteilung eines Empfangsstrahls erfolgt;

**[0077]** **Fig. 7** ein fünftes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in Teilkomponen-

tendarstellung, bei welcher eine räumliche Aufteilung des Empfangsstrahls erfolgt;

**[0078]** **Fig. 8** ein sechstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei welcher eine räumliche Aufspaltung des Empfangsstrahls erfolgt und

**[0079]** **Fig. 9** ein siebtes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei welcher eine Aufteilung des Empfangsstrahls hinsichtlich der Strahlmoden erfolgt.

**[0080]** Sämtliche Figuren stellen schematische Zeichnungen dar, welche nicht maßstabsgetreu sind. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen in den Figuren gleiche oder gleichwirkende Elemente.

**[0081]** In **Fig. 5** ist eine Vorrichtung zur interferometrischen Vermessung eines Objekts dargestellt, welche aus dem Stand der Technik bekannt und als Vibrometer ausgebildet ist. Die Vorrichtung umfasst eine als Laser ausgebildete Strahlungsquelle **1** zur Erzeugung eines als Laserstrahl ausgebildeten Ausgangsstrahls **3**, eine als Strahlteilerwürfel ausgebildete Strahlteiler Vorrichtung **2** zur Aufteilung des Ausgangsstrahls **3** in einen Messstrahl **4** und einen Referenzstrahl **5**.

**[0082]** Die Vorrichtung umfasst weiterhin eine optische Überlagerungsvorrichtung und einen ersten Detektor **6**.

**[0083]** Die optische Überlagerungsvorrichtung umfasst ein Prisma **7a** sowie optische Strahlteiler **7b** und **7c**.

**[0084]** Die Vorrichtung weist weiterhin einen Strahlengang für den Messstrahl **4** auf, welcher als Objektiv ausgebildet ist. Das Objektiv umfasst eine optische Linse **8a** und die Viertelwellenplatte **8b'**, wobei die optische Linse **8a** als Sende-/Empfangslinsensystem ausgebildet ist.

**[0085]** Das Interferometer gemäß **Fig. 5** ist als heterodynes Interferometer ausgebildet. Hierzu ist eine Braggzelle **9** im Strahlengang des Referenzstrahls **5** angeordnet.

**[0086]** Der mittels der als Laser ausgebildeten Strahlungsquelle **1** erzeugte Laserstrahl (mit einer Wellenlänge von z. B. 633 nm) wird mittels der Strahlteiler Vorrichtung **2** in den Messstrahl **4** und den Referenzstrahl **5** aufgeteilt. Der Messstrahl **4** durchläuft den optischen Strahlteiler **7c**, die optischen Linsen **8a** und wird von der Viertelwellenplatte **8b'** in zirkulare Polarisation gewandelt und tritt dort als Sendestrahl **4a** aus der Vorrichtung aus und trifft auf ein zu vermessendes Objekt **10**.

**[0087]** Der von dem Objekt **10** zumindest teilweise reflektierte Sendestrahle **4a** trifft als Empfangsstrahl **4b** wieder auf die Viertelwellenplatte **8b'**. Bei der Reflexion des Sendestrahls **4a** an einer spiegelnden Oberfläche wurde die zirkulare Polarisation in ihrem Drehsinn umgekehrt. Nach erneutem Passieren der Viertelwellenplatte ist die Polarisationsrichtung nun um  $90^\circ$  gedreht. Nach Passieren der Empfangslinse **8a** wird der Strahl nun von dem Polarisationsstrahlenteiler **7c** seitlich reflektiert und wird über den optischen Strahlteiler **7b** auf den ersten Detektor **6** geleitet.

**[0088]** Der Referenzstrahl **5** wird über das Prisma **7a** geleitet, durchtritt die Braggzelle **9** und wird über den Strahlteiler **7b** auf einer Detektorfläche des ersten Detektors **6** mit dem Empfangsstrahl **4b** unter Ausbildung einer Interferenz überlagert.

**[0089]** Mit einer (nicht dargestellten) Auswerteeinheit werden die Messsignale des ersten Detektors **6** ausgewertet, indem durch Phasendemodulation des modulierten Trägersignals Bewegungen des Objekts in Richtung des Empfangsstrahls **4b** und durch Frequenzdemodulation die Geschwindigkeit der sich bewegenden Oberfläche des Objekts **10** ermittelt werden.

**[0090]** Das Grundprinzip des Vibrometers gemäß [Fig. 5](#) liegt auch den Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Vorrichtung zugrunde. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird daher im Folgenden auf die wesentlichen Unterschiede eingegangen.

**[0091]** Bei dem in [Fig. 1](#) dargestellten ersten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung liegen Sendestrahle **4a** und Empfangsstrahl **4b** koaxial übereinander. Bei dieser vorteilhaften Ausgestaltung ist es insbesondere in vorteilhafter Weise möglich, Sende- und Empfangsstrahl über eine gemeinsame Linse, eine Sende-/Empfangslinse zu führen. Der Messstrahl tritt somit über die Sende-/Empfangslinse aus dem Strahlengang der erfindungsgemäßen Vorrichtung aus, verläuft als Sendestrahle zu dem Objekt, wird von diesem reflektiert und/oder gestreut, läuft als Empfangsstrahl zu der erfindungsgemäßen Vorrichtung zurück und tritt über die Sende-/Empfangslinse wieder in den Strahlengang der Vorrichtung ein. Hierdurch wird eine optimale Ausnutzung der Apertur der Sende-/Empfangslinse bzw. eines die Sende-/Empfangslinse enthaltenden Objektivs, ermöglicht. Eine optimale Ausnutzung der Apertur ermöglicht eine optimale Lichtausbeute und eine optimale Signalstärke,

**[0092]** Ergänzend zu dem vorbekannten Standardaufbau gemäß [Fig. 5](#) ist bei dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 1](#) ein magnetooptischer Zirkulator **11** im Strahlengang des Messstrahls **4** angeordnet. Der Messstrahl **4** durchläuft somit die Braggzelle **9**,

den Zirkulator **11** und trifft nach Durchlaufen des Objektivs, welches die optischen Linsen **8a** und **8b** umfasst, auf das zu vermessende Objekt **10** (Sendestrahle **4a**). Der von dem Objekt **10** zumindest teilweise reflektierte oder gestreute Sendestrahle **4a** tritt als Empfangsstrahl **4b** über die optische Linse **8b** wieder in den Strahlengang der Vorrichtung ein und wird mittels des als Polarisationsstrahlenteiler PBS ausgebildeten Polarisationsmittels **12** in die Polarisationskomponenten p und s aufgespalten.

**[0093]** Die Polarisationskomponente p durchläuft als erster Empfangsteilstrahl **4.1b** wiederum den Zirkulator und ändert hierdurch die Polarisierung in eine s-Polarisierung und wird mittels eines Polarisationsstrahlteilers des Zirkulators in Richtung des ersten Detektors **6** abgelenkt.

**[0094]** Der erste Detektor **6** umfasst wiederum zwei Detektoren **6a** und **6b**. Mittels eines weiteren optischen Strahlteilers **7d** wird der erste Empfangsteilstrahl **4.1b** in wiederum zwei Teilstrahlen aufgeteilt, wobei ein erster Teilstrahl auf dem Detektor **6a** des ersten Detektors **6** und ein zweiter Teilstrahl über ein Prisma **7e** auf den Detektor **6b** des Detektors **6** geleitet wird.

**[0095]** Der Referenzstrahl **5** wird über einen weiteren Strahlteiler **7f** aufgespalten, wobei ein Teil als erster Referenzteilstrahl **5.1** über ein weiteres Prisma **7g** und den Strahlteiler **7g** auf den Detektor **6a** des ersten Detektors **6** geleitet wird, wobei der Referenzteilstrahl **5.1** mittels des Strahlteilers **7b** wiederum aufgeteilt wird, sodass ein zweiter Teil des ersten Referenzteilstrahls **5.1** über das Prisma **7e** auf dem Detektor **6b** des ersten Detektors **6** geleitet wird.

**[0096]** Der Detektor **6** weist somit zwei Detektoren **6a** und **6b** auf, an welchen jeweils eine Überlagerung eines Teils des ersten Empfangsteilstrahls **4.1b** mit einem Teil des ersten Referenzteilstrahls **5.1**, jeweils unter Ausbildung einer Interferenz, erfolgt.

**[0097]** Die Vorrichtung gemäß dem in [Fig. 1](#) dargestellten ersten Ausführungsbeispiel umfasst weiterhin einen zweiten Detektor **13**, der ebenfalls zwei Detektoren **13a** und **13b** umfasst.

**[0098]** Die mittels des Polarisationsmittels **12** abgetrennte s-Komponente des Empfangsstrahls **4b** wird als zweiter Empfangsteilstrahl **4.2b** in Richtung des zweiten Detektors **13** geleitet, trifft auf einen weiteren optischen Strahlteiler **7h** und wird analog zu der Balanced-Detektor-Anordnung des ersten Detektors **6** mit einem Teilstrahl auf Detektor **13a** und mit einem zweiten Teilstrahl über ein weiteres Prisma **7i** auf den Detektor **13b** geleitet.

**[0099]** Der Referenzstrahl **5** wird mittels des optischen Strahlteilers **7f** in den zuvor beschriebenen

ersten Referenzteilstrahl **5.1** und einen zweiten Referenzteilstrahl **5.2** aufgeteilt und der zweite Referenzteilstrahl **5.2** trifft auf den Strahlteiler **7h**, wird hier nochmals aufgeteilt und einerseits auf den Detektor **13a** und andererseits über das Prisma **7i** auf den Detektor **13b** geleitet.

**[0100]** Auch an dem zweiten Detektor **13** sind somit an den Detektoren **13a** und **13b** jeweils Teilstrahlen des zweiten Empfangsteilstrahls **4.2b** mit Teilstrahlen des zweiten Referenzteilstrahls **5.2** überlagert.

**[0101]** Die in [Fig. 1](#) dargestellte Vorrichtung gemäß eines ersten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist gegenüber dem Aufbau gemäß [Fig. 5](#) einige Vorteile auf:

Zunächst können beide Polarisationsrichtungen (p und s) des Empfangsstrahls **4b** detektiert werden, einerseits mit dem ersten Detektor **6** und andererseits mit dem zweiten Detektor **13**. Bei Messungen auf einer großen Klasse von Oberflächentypen, allen nicht-metallischen rauen Oberflächen, treten beide Polarisationsrichtungen auf. Dann führt die Detektion beider Polarisationsrichtungen zu einer Erhöhung der ausgewerteten Lichtintensität und es wird hiermit ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis erzielt. Da beide Empfangsteilstrahlen aus senkrecht zueinander polarisierten Komponenten des gesamten Empfangsstrahls entstammen sind die Signaleinbrüche an dem ersten Detektor **6** statistisch unabhängig zu den Signaleinbrüchen an dem zweiten Detektor **13**.

**[0102]** Die Ausbildung des ersten Detektors **6** mit zwei Detektoren **6a** und **6b** und des zweiten Detektors **13** mit zwei Detektoren **13a** und **13b** entspricht jeweils der an sich bekannten Ausbildung eines Detektors in der „Balanced Detektor“-Anordnung:

Die Messsignale des Detektors **6** werden in an sich bekannter Weise nach Art einer Balanced-Detektor-Anordnung aus den Messsignalen der Detektoren **6a** und **6b** ermittelt. Ebenso werden die Messsignale des zweiten Detektors **13** in bei Balanced-Detektoren an sich bekannter Weise aus den Messsignalen der Detektoren **13a** und **13b** ermittelt. Erster Detektor **6** und zweiter Detektor **13** werden daher typischerweise auch als differentielle Detektoren bezeichnet.

**[0103]** Wesentlich ist nun weiterhin, dass mittels einer (nicht dargestellten) Auswerteeinheit die Messsignale des ersten Detektors und des zweiten Detektors **13** nach dem Prinzip der Empfangs-Diversität ausgewertet werden.

**[0104]** Hierzu wird für das Messsignal des ersten Detektors **6** und für das Messsignal des zweiten Detektors **13** jeweils mittels einer Leistungsmessstufe die Leistung des modulierten Trägersignals ermittelt. Ebenso wird FM-Demodulation sowohl für das Messsignal des ersten Detektors **6** als auch für das Messsignal des ersten Detektors **13** jeweils ein

Geschwindigkeitssignal erzeugt. Über eine Auswahl wird nun stets dasjenige Geschwindigkeitssignal als Ausgangssignal ausgegeben, welches dem Detektor mit der größeren Leistung zugeordnet ist.

**[0105]** Auf diese Weise ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein fehlerhaftes Geschwindigkeitssignal als Ausgangssignal ausgegeben wird, erheblich reduziert, da die Messsignaleinbrüche des ersten Detektors **6** zu den Messsignaleinbrüchen des zweiten Detektors **13** statistisch unabhängig sind.

**[0106]** Die Strahlachsen von Sendestrahls **4a** und Empfangsstrahl **4b** verlaufen bei der Vorrichtung gemäß [Fig. 1](#) zwischen optischer Linse **8b** und Objekt **10** parallel und übereinanderliegend, des heißt der Messstrahl **4a** und der Empfangsstrahl **4b** sind koaxial. Hierdurch wird eine optimale Ausnutzung der Apertur des Objektivs umfassend die optischen Linsen **8a** und **8b** erzielt und somit ein Verlust von Lichtintensität und damit ein Verlust von Messsignalintensität vermieden.

**[0107]** In [Fig. 2](#) ist ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellt, welche einen ersten Detektor **6** und einen zweiten Detektor **13** in analoger Ausbildung als Balanced-Detektor wie in [Fig. 1](#) dargestellt aufweist.

**[0108]** Im Unterschied zu dem ersten Ausführungsbeispiel verläuft bei dem in [Fig. 2](#) dargestellten zweiten Ausführungsbeispiel der Sendestrahls **4a** nicht koaxial zu dem Empfangsstrahl **4b**.

**[0109]** Zwischen der optischen Linse **8b** und dem Objekt **10** verlaufen Empfangsstrahl **4b** und Sendestrahls **4a** zwischen Prisma **7i** und optischer Linse **8a** nebeneinander, mit parallelen, voneinander beabstandeten Strahlachsen Mittels der optischen Linsen **8a** und **8b** werden Empfangsstrahl **4b** und Sendestrahls **4a** auf einen Messpunkt auf dem Objekt **10** fokussiert.

**[0110]** Hierdurch kann in einfacher Weise mittels eines Spiegels **7j** aufgrund der räumlich nebeneinander liegenden Strahlachsen der Empfangsstrahl **4b** abgetrennt werden. Bei diesem Ausführungsbeispiel kann somit eine Aufteilung zwischen Empfangsstrahl **4b** und Sendestrahls **4a** erfolgen, ohne dass hierbei bestimmte Bedingungen an die Polarisation dieser Strahlen vorliegen müssten, denn die Aufteilung kann ohne einen Polarisationsstrahlteiler in einfacher Weise aufgrund der räumlich nebeneinander liegenden Strahlachsen der beiden Strahlen erfolgen.

**[0111]** Der Empfangsstrahl **4b** weist somit eine gemischte Polarisation auf und wird mittels des als Polarisationsstrahlteilers ausgebildeten Polarisationsmittels **12** in den ersten Empfangsteilstrahl **4b.1** und den zweiten Empfangsteilstrahl **4.2b** aufgeteilt, wobei die-

se beiden Empfangsteilstrahlen somit senkrecht zueinander stehende Polarisationsanteile aufweisen.

**[0112]** Besonders vorteilhaft bei diesem Ausführungsbeispiel ist weiterhin, dass der Referenzstrahl **5** ebenfalls über das Polarisationsmittel **12** in den ersten Referenzteilstrahl **5.1** und den zweiten Referenzteilstrahl **5.2** aufgeteilt wird.

**[0113]** Hierdurch ergibt sich somit der Vorteil, dass die Strahlaufteilung sowohl des Empfangsstrahls **4b** als auch des Referenzstrahls **5** mit dem Polarisationsmittel **12**, das heißt mit einem einzigen Polarisationsstrahlteiler erfolgt. Hierdurch gestaltet sich die Justierung der optischen Elemente erheblich einfacher.

**[0114]** An den Detektoren **6a** und **6b** des ersten Detektors **6** sowie den Detektoren **13a** und **13b** des zweiten Detektors erfolgt analog zu dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1** jeweils eine Überlagerung eines Empfangsteilstrahls mit dem zugehörigen Referenzteilstrahl unter Ausbildung einer optischen Interferenz.

**[0115]** Aufgrund der Anordnung gemäß **Fig. 2** sind nachfolgend zu den Polarisationsmittel **12** der Referenz- und Messlichtanteil jeweils senkrecht zueinander polarisiert. Damit diese Anteile miteinander interferieren können, wird vor den Detektoren jeweils ein Polarisator (nicht dargestellt) verwendet, welcher beispielsweise als Polarisationsfilter oder PBS ausgebildet sein kann. Mittels der Polarisatoren werden somit bei jedem der Detektoren **6a**, **6b**, **13a** und **13b** jeweils die Anteile von beiden enthaltenen Polarisationen in die Achsen des Detektionselementes projiziert. Dazu müssen die Achsen des Polarisators im Wesentlichen in einem Winkel von  $45^\circ$  zu den Polarisationen im Strahl orientiert sein bzw. müssen die Polarisationen mit Halbwellenplatten entsprechend auf die Achsen des Polarisators gedreht werden. Ebenso können beide Polarisationskomponenten mit einer Viertelwellenplatte in rechts- bzw. linkszirkular polarisierte Komponenten gewandelt werden.

**[0116]** Wesentlich ist, dass die jeweiligen Polarisationsanteile derart verändert werden, dass an den Detektoren **6a**, **6b**, **13a**, **13b** jeweils eine Interferenz stattfindet.

**[0117]** Sofern die vorgenannte Variante gewählt wird, dass jeweils mittels eines PBS die Polarisation beeinflusst wird, sind die Intensitätsmodulationen in den entstehenden Strahlen gegenphasig und können somit in vorteilhafter Weise mit einem differentiellen Detektor in entsprechende Messsignale gewandelt werden.

**[0118]** Das zweite Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** weist weiterhin den Vorteil auf, dass als we-

sentliche optische Komponenten Polarisationsstrahlteiler (Polarisationsmittel **12**, Polarisationsstrahlteiler **7d** und Polarisationsstrahlteiler **7k**) verwendet werden. Es wird somit als wesentliche optische Komponenten dreimal das gleiche Bauteil verwendet.

**[0119]** Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** liegen Sendestrahls **4a** und Empfangsstrahl **4b** somit nicht wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1** koaxial übereinander, sondern die optischen Achse von Sendestrahls **4a** und Empfangsstrahl **4b** liegen nebeneinander. Entsprechend können auch bei der Ausgestaltung gemäß **Fig. 2** die Signale des ersten Detektors **6** und des zweiten Detektors **13** einem Messpunkt zugeordnet werden, da zwar Sendestrahls **4a** und Empfangsstrahl **4b** unterschiedlichen Raumwinkeln vor dem Objekt **10** entsprechen, jedoch von dem gleichen Messpunkt ausgehen. Auch bei dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** liegt somit eine Aufteilung gemäß der Polarisationsinformation des Empfangsstrahls vor, wie auch bei dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1** und keine Aufteilung hinsichtlich des Messortes.

**[0120]** Wie zuvor ausgeführt, ist es vorteilhaft, die numerische Apertur des Objekts, welches die optischen Linsen **8a** und **8b** umfasst, möglichst optimal auszunutzen, um eine möglichst hohe Lichtintensität und damit eine möglichst hohe Messsignalintensität zu erzielen.

**[0121]** Sofern Empfangsstrahl **4b** und Sendestrahls **4a** koaxial zwischen Objektiv und Objekt **10** verlaufen, ist eine Anordnung gemäß der schematischen Darstellung in **Fig. 3.1** vorteilhaft, das heißt eine möglichst großflächige Ausnutzung der Apertur durch die beiden koaxial übereinander liegenden Strahlen Empfangsstrahl **4b** und Sendestrahls **4a**.

**[0122]** Sofern die vorteilhafte Ausgestaltung gemäß des zweiten Ausführungsbeispiels wie in **Fig. 2** dargestellt gewählt wird, kann eine Anordnung gemäß Teilbild **Fig. 3.2** gewählt werden. Hierbei liegen Sendestrahls **4a** und Empfangsstrahl **4b** nebeneinander hinsichtlich der Apertur des Objektivs. Es zeigt sich jedoch, dass diese keine optimale Ausnutzung der Apertur darstellt.

**[0123]** Vorteilhaft ist es daher, das Intensitätsprofil von Sendestrahls **4a** und von Empfangsstrahl **4b** elliptisch zu gestalten, wie in Teilbild **Fig. 3.3** dargestellt. Hierdurch wird eine erheblich bessere Ausnutzung der Apertur und damit eine höhere Intensität verglichen mit Teilbild **Fig. 3.2** erzielt.

**[0124]** Ebenso ist es möglich, mehrere Empfangsstrahlen aufzunehmen und in der Vorrichtung mit getrennten aber identischen Auswerteeinheiten auszu-

werten so dass dann entsprechend mehr Kanäle zum Gesamtsignal beitragen.

**[0125]** Im Teilbild [Fig. 3.4](#) ist solch eine Anordnung dargestellt, mit dem Sendestrahl **4a**, dem Empfangsstrahl **4b** und einem zweiten Empfangsstrahl **4c**. In diesem Fall erhält man insgesamt 4 unabhängige Messkanäle die nach dem Prinzip des Diversity-Empfangs erst einzeln ausgewertet werden und dann zu einem Gesamtsignal zusammengeführt werden.

**[0126]** Bei der vorteilhaften Ausgestaltung mit elliptischen Strahlquerschnitten gemäß Teilbild [Fig. 3.3](#) liegt das Asymmetrieverhältnis sowohl des Sendestrahls **4a** als auch des Empfangsstrahls **4b** im Bereich 1,5 bis 2,5.

**[0127]** [Fig. 4](#) stellt schematisch ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung dar, wobei lediglich die Auswerteeinheit schematisch dargestellt ist. Die Vorrichtung des dritten Ausführungsbeispiels kann hinsichtlich der optischen Komponenten beispielsweise wie das erste Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 1](#) oder wie das zweite Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 2](#) ausgebildet sein.

**[0128]** In der schematischen Darstellung gemäß [Fig. 4](#) sind erster Detektor **6** und zweiter Detektor **13** grafisch in einem Block zusammengefasst.

**[0129]** Die Signalverarbeitung erfolgt derart, dass sowohl das Messsignal  $c_1$  des ersten Detektors **6** als auch das Messsignal  $c_2$  des zweiten Detektors **13** jeweils in zweifacher Hinsicht ausgewertet werden: Das Messsignal  $c_1$  wird beispielsweise gemäß der schematischen Darstellung in [Fig. 4](#) FM-demoduliert, sodass sich ein Geschwindigkeitssignal  $v_1$  ergibt. Ebenso wird das Messsignal  $c_2$  des zweiten Detektors **13** FM-demoduliert, sodass sich ein zweites Geschwindigkeitssignal  $v_2$  ergibt.

**[0130]** Wesentlich ist, dass das Messsignal  $c_1$  des ersten Detektors **13** darüber hinaus in einer Leistungsstufe (LS) einer Leistungsmessung unterzogen wird und somit die Leistung oder die Amplitude des modulierten Trägersignals ermittelt und als Signal  $P_1$  ausgegeben wird.

**[0131]** Ebenso wird ausgehend von dem Messsignal  $c_2$  des zweiten Detektors **13** mittels einer weiteren Leistungsmessstufe die Leistung oder Amplitude des modulierten Trägersignals ermittelt und als Signal  $P_2$  ausgegeben. Die Leistungsmessstufen werden in bevorzugter Weise die Signale  $P_1$  und  $P_2$  so erzeugen, dass diese logarithmisch von der elektrischen Signalstärke abhängen und damit einem Dezibel-Maß entsprechen.

**[0132]** In einer Kombinationsstufe (KS) erfolgt nun die Kombination der Geschwindigkeitssignale  $v_1$  und  $v_2$  zu einem Ausgangssignal  $v$ .

**[0133]** Es werden somit die vier Signale  $P_1$ ,  $v_1$ ,  $v_2$  und  $P_2$  verwendet, um ein kombiniertes Ausgangssignal  $v$  zu erzeugen, welches von höherer Verlässlichkeit ist als jedes einzelne Signal  $v_1$  oder  $v_2$ .

**[0134]** Die bevorzugte Methode zur Kombination der Signale ist die gewichtete Mittelung der Signale  $v_1$  und  $v_2$ , wobei die Gewichtungsfaktoren (Gewichtungsfaktor  $w_1$  für Signal  $v_1$  und Gewichtungsfaktor  $w_2$  für Signal  $v_2$ ) aus den Leistungssignalen  $P_1$  und  $P_2$  errechnet werden. Die Berechnung kann sich darstellen als:

$$v = w_1 \cdot v_1 + w_2 \cdot v_2,$$

wobei eine Normierung derart erfolgt, dass  $w_1 + w_2 = 1$ , das heißt die Gewichtungsfaktoren  $w_1$  und  $w_2$  sind komplementär. Die Berechnung der Gewichtungsfaktoren erfolgt wie zuvor angegeben aus den Leistungssignalen  $P_1$  und  $P_2$ , das heißt  $P_1$  ist eine Funktion abhängig von  $P_1$  und  $P_2$  ( $w_1 = f(P_1, P_2)$ ) und entsprechend gilt  $w_2 = f(P_2, P_1)$ ). Die Gewichtungsfaktoren  $w_1$  und  $w_2$  werden somit mit symmetrischen Funktionen hinsichtlich der Parameter  $P_1$  und  $P_2$  ermittelt. Alle vorgenannten Signale sind zeitveränderliche Größen, sodass die Berechnung bzw. Auswertung somit ständig erfolgen muss. In praktischer Ausgestaltung wird die Auswertung mit einer vorgegebenen Taktrate, insbesondere mit einem Takt von 20 kHz...2 MHz erfolgen.

**[0135]** Die Funktion ( $f$ ) könnte beispielsweise im Sinne eines binären Schalters ein Umschalten auf jeweils den Kanal mit der höheren Leistung bewirken. Ebenso kann die Funktion im Sinne eines linearen Überblendens realisiert sein, beispielsweise  $f(x, y) = x/(x + y)$ , sodass sich für die Gewichtungsfaktoren  $w_1$  und  $w_2$  ergibt:

$$w_1 = P_1/(P_1 + P_2)$$

und

$$w_2 = P_2/(P_1 + P_2)$$

**[0136]** Grundsätzlich kann das Positionssignal, das heißt die Auslenkung der Oberfläche in Richtung der Strahlachse des Empfangsstrahls durch Phasendemodulation aus den Signalen  $c_1$  und  $c_2$  gewonnen werden. Ebenso kann das Positionssignal durch Zeitintegration des Geschwindigkeitssignals gewonnen werden.

**[0137]** Die [Fig. 6–Fig. 8](#) stellen Ausführungsbeispiele 4–6 schematisch dar, bei denen jeweils eine räumliche Diversity realisiert ist, das heißt, dass der Emp-

fangsstrahl hinsichtlich unterschiedlicher Strahlquerschnittsanteile aufgeteilt wird:

Der Grundaufbau der Vorrichtung kann hierbei dem Standardaufbau gemäß [Fig. 5](#) entsprechen, wobei jeweils der in [Fig. 5](#) gestrichelt umrahmte Bereich in [Fig. 5](#) ersetzt wird durch die entsprechende Darstellung in [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) oder [Fig. 8](#).

**[0138]** Die Ausführungsbeispiele gemäß der [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) teilen somit den Strahlquerschnitt des empfangenen Streulichts, das sich aus Beiträgen von allen beleuchteten Oberflächenpunkten ergibt, in jeweils zwei Hälften auf. Dabei wird ein Empfangsteilstrahl als erster Empfangsstrahl **4.1b** auf die Detektoren **6a** und **6b** des ersten Detektors und entsprechend der zweite Empfangsteilstrahl **4b**, als zweiter Empfangsteilstrahl **4.2b** auf die Detektoren **13a** und **13b** des zweiten Detektors **13** geleitet. Der Strahlquerschnitt des Empfangsstrahls **4b** wird somit in den Ausführungsbeispielen der [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) jeweils in mindestens zwei Unterbereiche aufgeteilt, welche Unterbereiche entweder zu den Detektoren **6a** und **6b** des ersten Detektors oder zu den Detektoren **13a** und **13b** des zweiten Detektors weitergeleitet werden.

**[0139]** In allen drei [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) ist wiederum eine Balanced-Detektor-Anordnung realisiert, das heißt erster Empfangsteilstrahl **4.1b**, zweiter Empfangsteilstrahl **4.2b** sowie erster Referenzteilstrahl **5.1** und zweiter Referenzteilstrahl **5.2** werden jeweils nochmals aufgeteilt, um auf die jeweils zweiten Detektoren des ersten Detektors **6** und des zweiten Detektors **13** geleitet zu werden.

**[0140]** Bei dem vierten Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 6](#) werden die überlagerten Strahlen, deren Empfangsstrahlkomponente eine unregelmäßige Speckle-Verteilung enthält, in jeweils zwei seitlich getrennte Komponenten aufgeteilt. Die Trennung kann hierbei durch Spiegel **14a** und **14b** erfolgen, wobei die Spiegelfläche jeweils zur Hälfte in den Strahl eingeschoben wird oder die Spiegel als teilweise verspiegelte Glasplatte ausgebildet sind. In [Fig. 6](#) ist schematisch vergrößert solch eine Ausgestaltung der Spiegel **14a** und **14b** als teilweise verspiegelte Glasplatte dargestellt, wobei in diesem Fall die Spiegel **14a** und **14b** derart in den Strahlengang von Referenzstrahl **5** und Empfangsstrahl **4b** geschoben werden, dass die Trennkante A zwischen verspiegeltem und nicht verspiegeltem Bereich der Glasplatte mittig im Strahl liegt, das heißt, dass die Strahlachse in etwa auf die Grenzlinie A auftrifft.

**[0141]** Hierdurch wird in einfacher Weise eine räumliche Auftrennung erzielt.

**[0142]** Das in [Fig. 7](#) dargestellte fünfte Ausführungsbeispiel erzielt die räumliche Auftrennung durch Mikropriemenraster **15a**, **15b**.

**[0143]** Hierbei werden somit abwechselnd schmale Streifen des Strahlprofils dem einen oder anderen Strahl zugeordnet und hierdurch die räumliche Auftrennung erzielt. Die Elemente **16a** und **16b** stellen Spiegel zur Strahlumlenkung dar.

**[0144]** Die Linsen **6a**, **6b**, **13a** und **13b** werden verwendet, wenn der Strahldurchmesser größer ist als die Fläche der verwendeten Fotodetektoren, der Strahl wird zu einem kleinen Punkt auf die Detektoren fokussiert.

**[0145]** Das sechste Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 8](#) stellt einen Sonderfall hinsichtlich der Detektorrenausbildung dar:  
In diesem Fall sind die Detektoren unterteilt.

**[0146]** Wie in [Fig. 8](#) ersichtlich, sind der Detektor **6a** des ersten Detektors **6** und der Detektor **13a** des zweiten Detektors **13** unmittelbar nebeneinander angeordnet. Ebenso sind der Detektor **6b** des ersten Detektors **6** und der Detektor **13b** des zweiten Detektors **13** unmittelbar nebeneinander angeordnet. Solcherart geteilte Fotodetektoren sind standardmäßig kommerziell erhältlich.

**[0147]** Hierdurch kann in einfacher Weise eine gewünschte räumliche Auftrennung erzielt werden. Es wird somit durch die spezielle Anordnung gleichzeitig eine Balanced-Detektor-Anordnung und eine räumliche Aufteilung von Empfangsstrahl und Referenzstrahl erzielt. Hier ist somit jeweils die linke Hälfte der auf die Detektoren auftreffenden Strahlen als erster Empfangsteilstrahl **4.1b** und jeweils die rechte Hälfte der auf die Detektoren auftreffenden Strahlen als zweiter Empfangsteilstrahl **4.2b** definiert.

**[0148]** In [Fig. 9](#) ist schließlich ein siebtes Ausführungsbeispiel dargestellt, bei welchem eine Aufteilung hinsichtlich der Strahlmodenanteile des Empfangsstrahls erfolgt:

Auch hier wird ausgehend von der Strahlungsquelle **1** der Ausgangsstrahl **3** erzeugt, welcher mittels der Strahlteilervorrichtung **2** in den Messstrahl **4** und den Referenzstrahl **5** aufgeteilt wird. Der Messstrahl **4** durchläuft die Braggzelle **9** und trifft als Sendestrahl **4a** auf das Objekt **10** auf. Der zumindest teilweise reflektierte oder gestreute Sendestrahl **4a** trifft als Empfangsstrahl **4b** auf einen Polarisationsstrahlteiler **71** auf und wird auf einen als Pinhole ausgebildeten Raumfilter **17** geleitet. Der Raumfilter **17** ist aus reflektierendem Substrat ausgebildet, sodass die Gauß-Grundmode des Empfangsstrahls **4b** als erster Empfangsteilstrahl **4.2b** den Raumfilter **17** durchtritt und dem ersten Detektor **13** zugeleitet wird.

**[0149]** Die höheren Moden des Empfangsstrahls **4b** (zum Beispiel die ringförmige Mode) werden durch den Raumfilter **17** reflektiert und als zweiter Emp-

fangsteilstrahl **4.1b** dem zweiten Detektor **6** zugeleitet.

**[0150]** Die Zuleitung zu den Detektoren und die Umleitung des Referenzstrahls erfolgen über Spiegel **16c**, **16d**, **16e** und **16f**.

**[0151]** Der erste Empfangsteilstrahl **4.2b** weist wie vorhergehend beschrieben die Gauß-Grundmode auf und kann daher unmittelbar eine Interferenz mit dem ersten Referenzteilstrahl **5.2** auf den Detektor **13a** und den Detektor **13b** des zweiten Detektors **13** ausbilden.

**[0152]** Der zweite Empfangsteilstrahl **4.1b** muss hingegen wieder in eine Gauß-Grundmode umgewandelt werden, um eine Interferenz mit dem zweiten Referenzteilstrahl **5.1** auszubilden. Dies geschieht in dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 9** durch eine Phasenplatte **18**, welche im Strahlengang des ersten Empfangsteilstrahls **4.1b** angeordnet ist.

**[0153]** In den **Fig. 1–Fig. 9** bezeichnen die Abkürzungen folgende Elemente:

BS	Strahlteiler
PBS	Polarisationsstrahlteiler
HWP	Halbwellenplatte
LS	Leistungsmessstufe
FM	Frequenzdemodulation
KS	Kombinationsstufe

**[0154]** Die Kreuze bestehend aus zwei senkrecht zueinander stehenden beidseitigen Pfeilen in **Fig. 2** zeigen jeweils die Polarisationsrichtung von Empfangsteilstrahl **4.1b** und **4.2b** (M), Referenzteilstrahl **5.1** und **5.2** (R) sowie die gemischte Polarisierung des Empfangsstrahls **4b** (NP und Ms).

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur interferometrischen Vermessung eines Objekts (**10**), umfassend eine Strahlungsquelle (**1**) zur Erzeugung eines Ausgangsstrahls (**3**), eine Strahlteilverrichtung zur Aufteilung des Ausgangsstrahls (**3**) in einen Mess- und einen Referenzstrahl (**4, 5**), eine optische Überlagerungsvorrichtung und einen ersten Detektor (**6**), wobei Überlagerungsvorrichtung und erster Detektor (**6**) derart zusammenwirkend ausgestaltet sind, dass der von dem Objekt zumindest teilweise reflektierte Messstrahl (**4**) als Empfangsstrahl (**4b**) und der Referenzstrahl (**5**) auf mindestens einer Detektorfläche des ersten Detektors (**6**) zumindest teilweise überlagert sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlteilverrichtung ausgebildet ist zur Aufteilung des Ausgangsstrahls (**3**) in einen Messstrahl (**4**), einen ersten Referenzteilstrahl (**5.1**) und mindestens einen zweiten Referenzteilstrahl (**5.2**)

und zur Aufteilung des Empfangsstrahls (**4b**) in einen ersten Empfangsteilstrahl (**4.1b**) und mindestens einen zweiten Empfangsteilstrahl (**4.2b**), dass die Vorrichtung mindestens einen zweiten Detektor (**13**) aufweist und derart ausgebildet ist, dass der erste Empfangsteilstrahl (**4.1b**) mit dem ersten Referenzteilstrahl (**5.1**) auf einer Detektionsfläche des ersten Detektors (**6**) und der zweite Empfangsteilstrahl (**4.2b**) mit dem zweiten Referenzteilstrahl (**5.2**) auf einer Detektionsfläche des zweiten Detektors (**13**) überlagert sind, jeweils unter Ausbildung einer optischen Interferenz, und dass die Vorrichtung eine Auswerteeinheit zur Auswertung der Messsignale des ersten und des zweiten Detektors (**6, 13**) aufweist, welche ausgebildet ist, die Messsignale der beiden Detektoren nach dem Prinzip der Empfangs-Diversität auszuwerten.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung mindestens ein optisches Strahlteilmittel umfasst, welches im Strahlengang des Empfangsstrahls (**4b**) und/oder des ersten und/oder des zweiten Empfangsteilstrahl (**4.1b, 4.2b**) angeordnet und derart ausgebildet ist, dass mit erstem und zweitem Detektor unterschiedliche Polarisationsanteile und/oder unterschiedliche Strahlquerschnittsanteile und/oder unterschiedliche Moden des Empfangsstrahls (**4b**) auswertbar sind.

3. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlteilverrichtung ein Polarisationsmittel (**12**) umfasst, welches derart ausgebildet ist, dass mittels des ersten und zweiten Detektors (**6, 13**) zueinander orthogonal polarisierte Anteile des Empfangsstrahls (**4b**) auswertbar sind, insbesondere zueinander senkrecht stehende lineare Polarisationsanteile oder gegenläufige zirkulare Polarisationsanteile.

4. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Polarisationsmittel (**12**) einen Polarisationsstrahlteiler umfasst, welcher im Strahlengang des Empfangsstrahls (**4b**) angeordnet ist, sodass der Empfangsstrahl in den ersten Empfangsteilstrahl (**4.1b**) und den zweiten Empfangsteilstrahl (**4.2b**) aufgespaltet wird und erster und zweiter Empfangsteilstrahl unterschiedliche Polarisationskomponenten des Empfangsstrahls umfassen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Polarisationsstrahlteiler zusätzlich im Strahlengang des Referenzstrahls (**5**) angeordnet ist, sodass mittels des Polarisationsstrahlteilers der Referenzstrahl in den ersten und zweiten Referenzteilstrahl (**5.1, 5.2**) aufgespaltet wird.

6. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Strahlachsen des kollimierten Sende- und Empfangsstrahls (**4a**, **4b**) zumindest zwischen einem Strahlausgang der Vorrichtung und Objekt (**10**) parallel und übereinander liegen.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Strahlachsen des kollimierten Sende- und Empfangsstrahls (**4a**, **4b**) zumindest zwischen einem Strahlausgang der Vorrichtung und Objekt (**10**) räumlich getrennt nebeneinander liegen, vorzugsweise parallel nebeneinander liegen.

8. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung eine Signalverarbeitungseinheit umfasst, welche Signalverarbeitungseinheit ausgebildet ist, ein kombiniertes Ausgangssignal aus den Messdaten des ersten und des zweiten Detektors zu erzeugen, vorzugsweise durch gewichtete Summierung der Messsignale des ersten und zweiten Detektors, bevorzugt durch Wichtung abhängig von den Signalstärken des Messsignals des ersten und zweiten Detektors (**6**, **13**).

9. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Strahlengang von Messstrahl und Empfangsstrahl eine Sende-/Empfangslinse angeordnet ist, insbesondere, dass die Strahlachsen von Mess- und Empfangsstrahl parallel und räumlich getrennt eine Apertur der Sende-/Empfangslinse durchdringen, bevorzugt, dass das Strahlintensitätsprofil von Mess- und/oder Empfangsstrahl, bevorzugt von beiden Strahlen, derart geformt ist, dass die Apertur der Sende-/Empfangslinse überwiegend genutzt wird, insbesondere, dass das Strahlintensitätsprofil von Mess- und/oder Empfangsstrahl, bevorzugt von beiden Strahlen elliptisch mit einem Achsenverhältnis im Bereich von 1:1.5 bis 1:2.5 ausgebildet ist.

10. Verfahren zur interferometrischen Vermessung eines Objektes (**10**), folgende Verfahrensschritte umfassend:

- Erzeugen eines Ausgangsstrahls mittels einer Strahlungsquelle (**1**);
- Aufspalten des Ausgangsstrahls in mindestens einen Mess- und mindestens einen Referenzstrahl (**4**, **5**);
- Beaufschlagen mindestens eines Messpunktes auf dem Objekt (**10**) mit dem Messstrahl (**4**) als Sende- strahl (**4a**) und
- Überlagern des von dem Objekt (**10**) zumindest teilweise reflektierten und/oder gestreuten Messstrahls (**4**) als Empfangsstrahl (**4b**) mit dem Referenzstrahl

(**5**) auf einer Detektionsfläche eines ersten Detektors (**6**) unter Ausbildung einer optischen Interferenz; dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgangsstrahl (**3**) in einen Messstrahl (**4**), einen ersten Referenzteilstrahl (**5.1**) und mindestens einen zweiten Referenzteilstrahl (**5.2**) und der Empfangsstrahl in einen ersten Empfangsteilstrahl (**4.1b**) und mindestens einen zweiten Empfangsteilstrahl (**4.2b**) aufgeteilt wird, dass der erste Empfangsteilstrahl (**4.1b**) mit dem ersten Referenzteilstrahl (**5.1**) auf der Detektionsfläche des ersten Detektors (**6**) und der zweite Empfangsteilstrahl (**4.2b**) mit dem zweiten Referenzteilstrahl (**5.2**) auf einer Detektionsfläche eines zweiten Detektors (**13**) überlagert werden, jeweils unter Ausbildung einer optischen Interferenz und dass Messsignale des ersten und des zweiten Detektors (**6**, **13**) nach dem Prinzip der Empfangs-Diversität ausgewertet werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass mittels des ersten Detektors (**6**) unterschiedliche Polarisationsanteile und/oder unterschiedliche Strahlquerschnittsanteile und/oder unterschiedliche Moden des Empfangsstrahls gegenüber dem zweiten Detektor (**13**) gemessen werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine Auswertung der Messsignale der beiden Detektoren (**6**, **13**) derart erfolgt, dass aus den Messsignalen der beiden Detektoren ein kombiniertes Messsignal gebildet wird, wobei eine gewichtete Summierung des ersten und zweiten Messsignals erfolgt, vorzugsweise unter Berücksichtigung der Leistung und/oder der Amplitude des Messsignals.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass für das erste Messsignal ein erster Wichtungsfaktor und für das zweite Messsignal ein zweiter Wichtungsfaktor gebildet wird, welche Wichtungsfaktoren komplementär zueinander und jeweils abhängig von erstem und zweitem Messsignal, vorzugsweise der Amplitude des ersten und des zweiten Messsignals gebildet werden, insbesondere, dass die Wichtungsfaktoren derart gebildet werden, dass jeweils das Messsignal mit der größeren Amplitude zu 100% und das Messsignal mit der geringeren Amplitude zu 0% gewichtet wird oder dass die Wichtung linear gemäß des Amplitudenverhältnisses erfolgt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Polarisationszustand des Mess- und/oder Empfangsstrahls mittels eines optischen Mittels derart beeinflusst wird, dass Empfangskanäle beider Detektoren (**6**, **13**) während der Vermessung eines metallisch spiegelnden Objekts im Wesentlichen gleiche Signalstärken aufweisen, insbesondere, dass ein optisches Mittel auf-

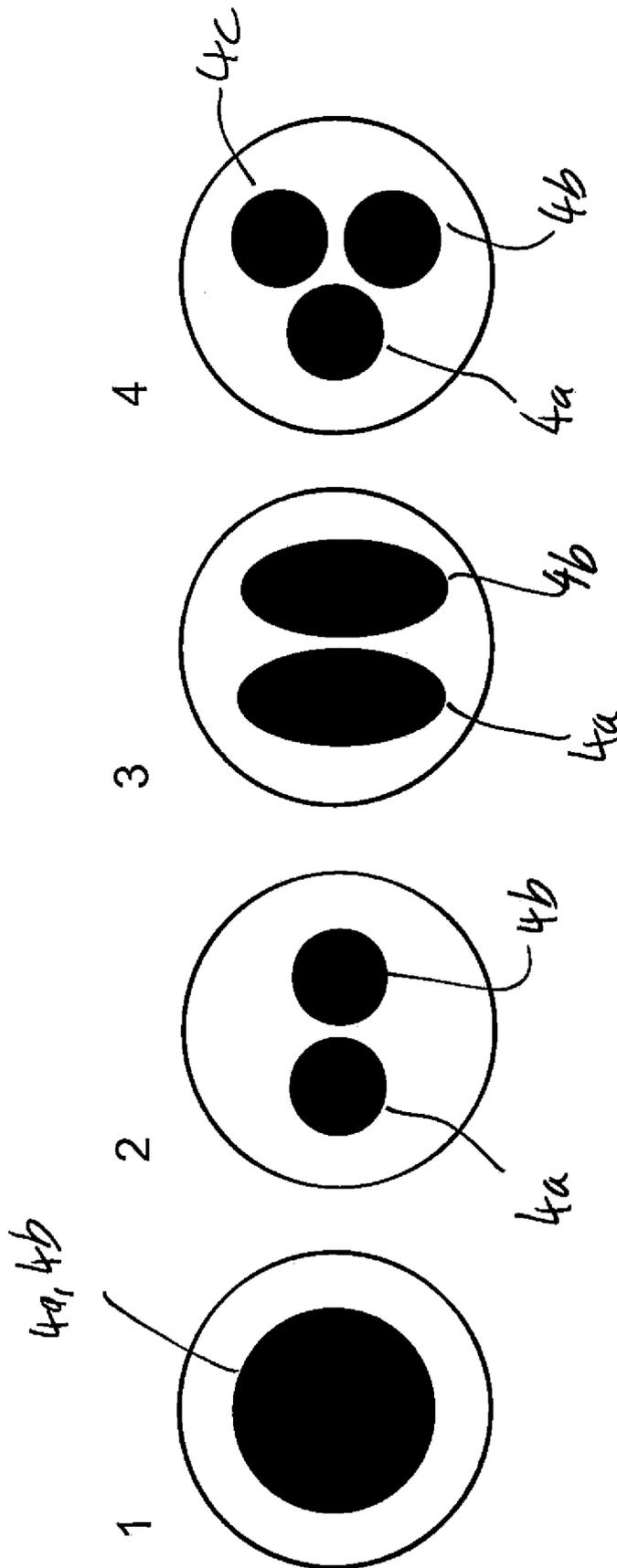
weisend eine optische Verzögerungsplatte verwendet wird.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

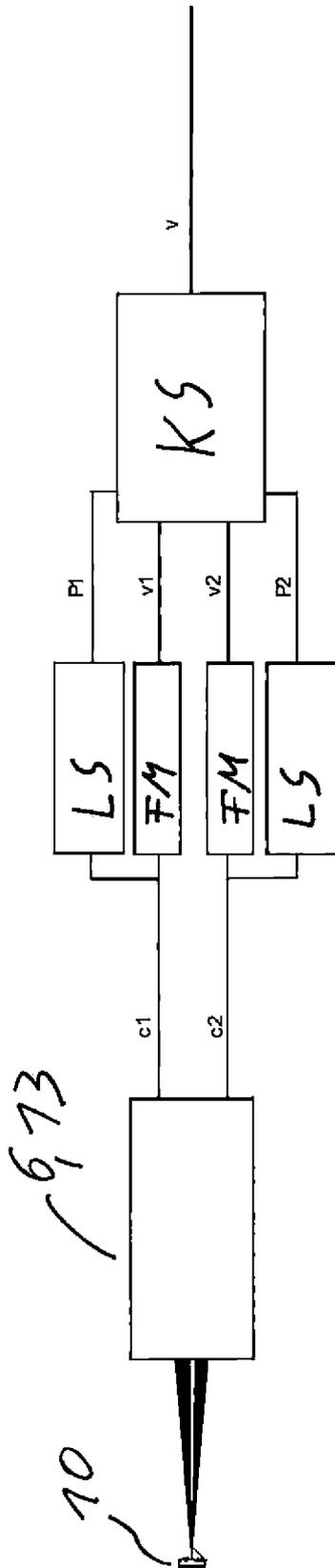




Figur 3

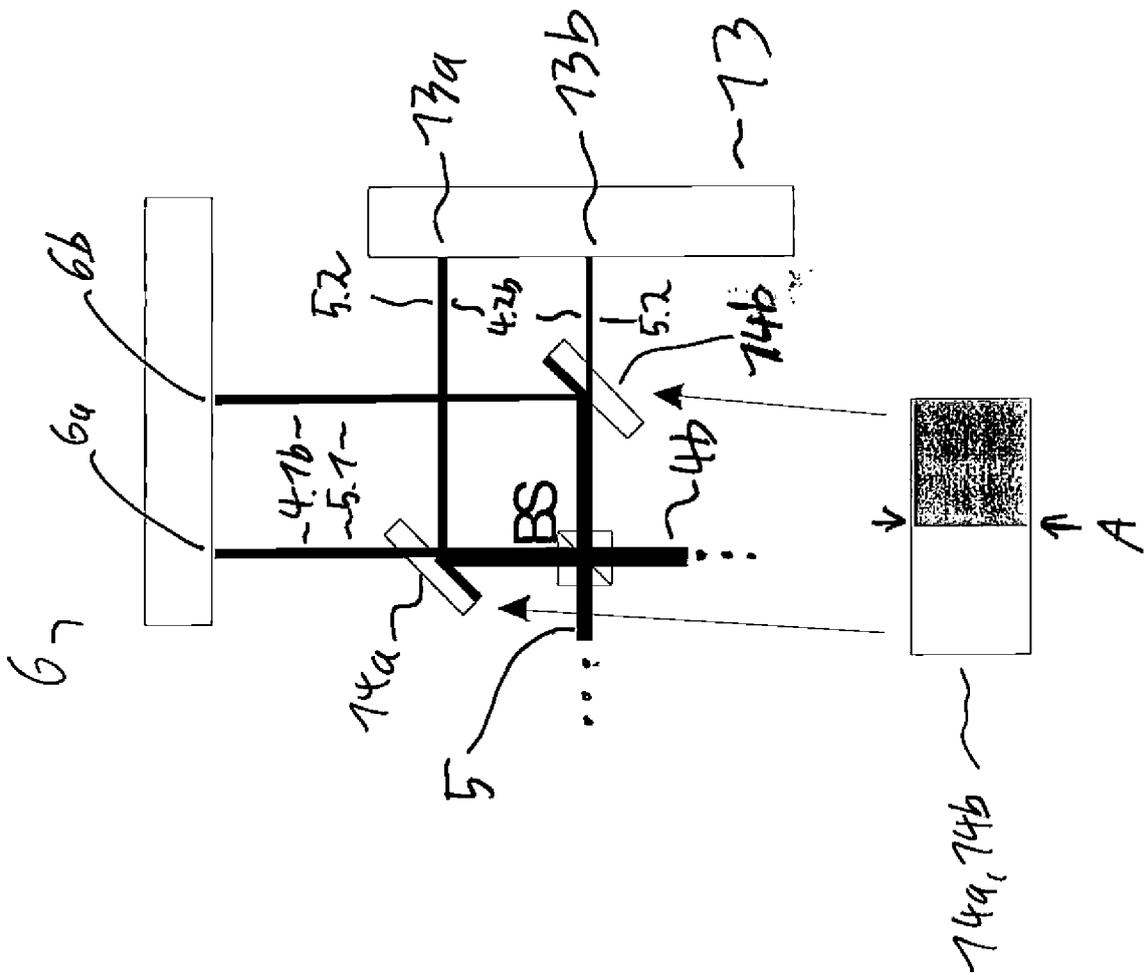


Figur 4

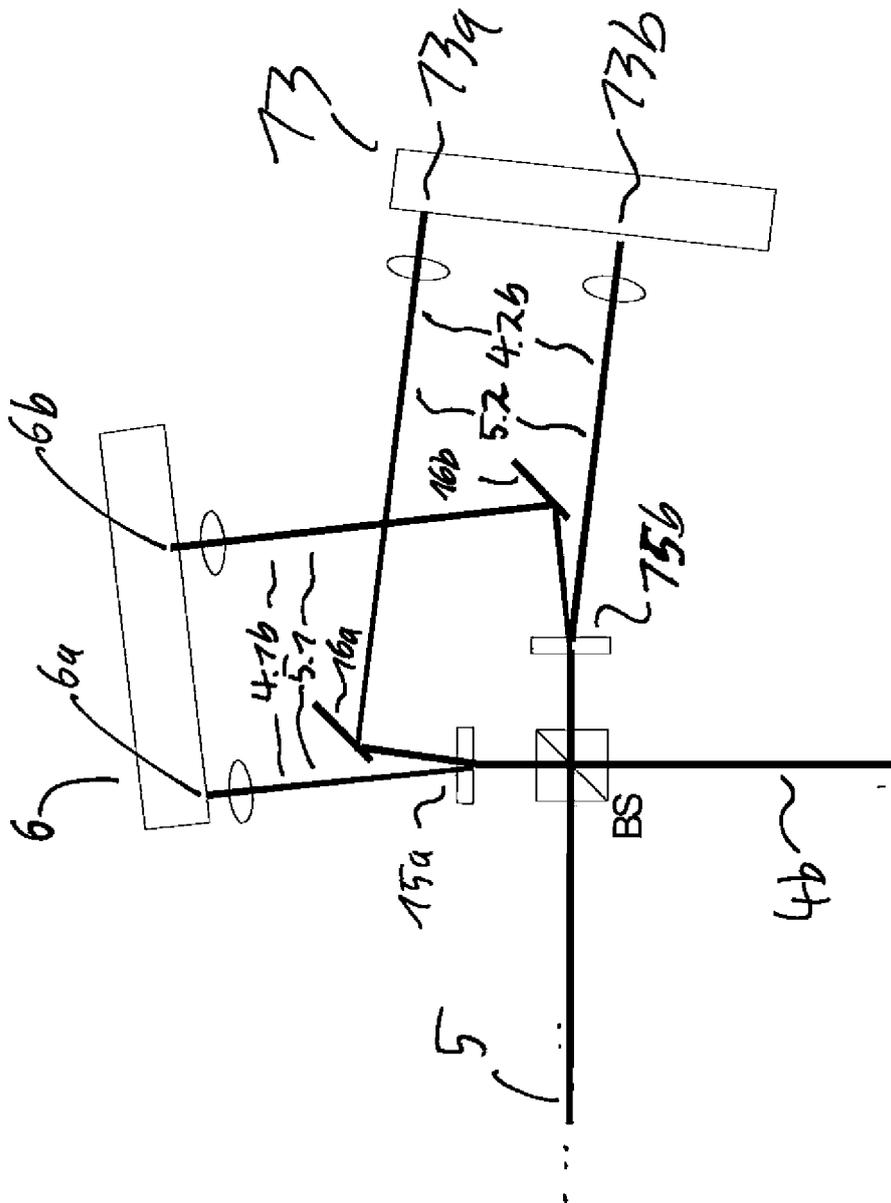




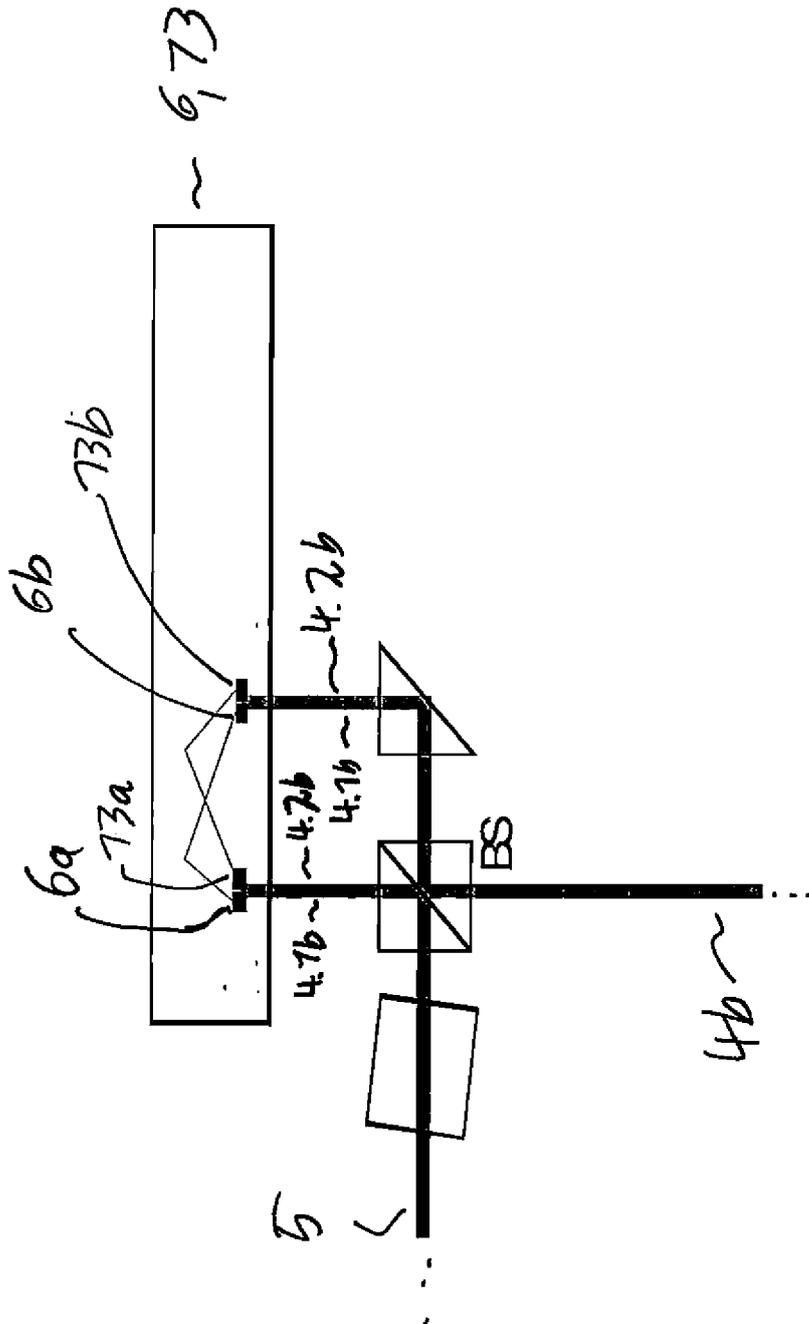
Figur 6



Figur 7



Figur 8



Figur 9

