



(10) **DE 10 2016 209 090 A1** 2017.11.30

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 209 090.9**

(22) Anmeldetag: **25.05.2016**

(43) Offenlegungstag: **30.11.2017**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Hochschule Bremen, 28199 Bremen, DE

(74) Vertreter:
Fink Numrich Patentanwälte, 80634 München, DE

(72) Erfinder:
**Henning, Thomas, 28201 Bremen, DE;
Fleischmann, Friedrich, 27751 Delmenhorst, DE**

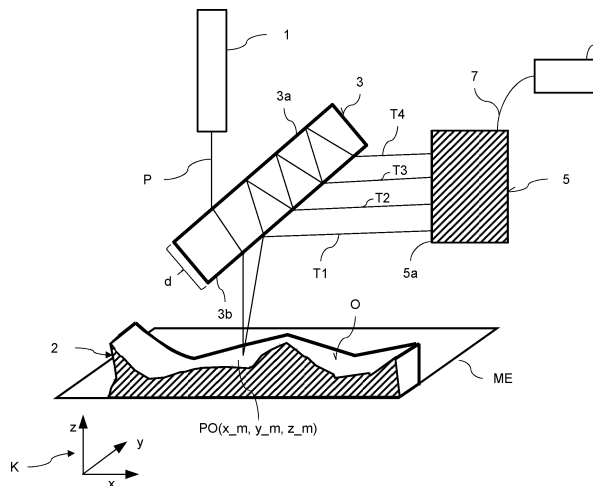
(56) Ermittelter Stand der Technik:
DD 2 86 420 A5

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur optischen Analyse eines Prüflings**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur optischen Analyse eines Prüflings (2). Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst eine Strahlquelle (1) zur Generierung eines Prüfstrahls (P), der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling (2) gerichtet wird und diesen passiert, sowie einen Strahlteiler (3) zur Erzeugung mehrerer Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) durch Aufteilen des Prüfstrahls (P) nach Passieren des Prüflings (2) in die mehreren Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5), wobei der Strahlteiler (3) zwei strahlteilende Flächen (3a, 3b) umfasst, welche derart ausgestaltet sind, dass sie jeweils eine Strahlteilung durch Reflexion und Transmission eines darauf fallenden Strahls bewirken. Ferner weist die erfindungsgemäße Vorrichtung einen Detektor (5) zur orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) auf, wobei der Detektor (5) zumindest eine Detektionsfläche (5a) umfasst, auf welcher die mehreren Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) auftreffen, und wobei für jede strahlteilende Fläche (3a, 3b) zumindest ein detektierter Teilstrahl (T1, T2, ..., T5) existiert, an dessen Erzeugung zumindest eine Reflexion an der jeweiligen strahlteilenden Fläche (3a, 3b) beteiligt ist. Der Strahlteiler (3) ist derart ausgestaltet, dass die Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) unterschiedliche optische Weglängen vom Prüfling (2) bis zum Auftreffen auf der zumindest einen Detektionsfläche (5a) zurücklegen. Eine Auswerteeinheit (6) ist zur Bestimmung eines Strahlverlaufs des Prüfstrahls (P) nach Passieren des Prüflings (2) unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) vorgesehen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass der Strahlteiler (3) derart ausgestaltet ist, dass alle detektierten Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) über die gleiche strahlteilende Fläche (3a, 3b) den Strahlteiler (3) verlassen und anschließend auf der zumindest einen Detektionsfläche (5a) auftreffen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur optischen Analyse eines Prüflings.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren zur optischen Analyse von Werkstoffen bzw. optischen Komponenten bekannt. In der Druckschrift DE 10 2007 003 681 A1 ist ein Verfahren zur Analyse einer optischen Einrichtung beschrieben, bei dem ein Prüfstrahl die optische Einrichtung passiert und der Strahlverlauf des Prüfstrahls über dessen Auftreffpositionen in mehreren Detektionsebenen bestimmt wird. Hierzu wird ein flächiger Intensitätssensor in die jeweiligen Detektionsebenen verschoben. Dabei kann die Oberfläche der optischen Einrichtung mittels des Prüfstrahls abgerastert werden und hierdurch Eigenschaften der optischen Einrichtung bestimmt werden, wie z.B. die Qualität der Abbildung durch Analyse der Wellenfront nach Passieren der optischen Einrichtung. Nachteilig an dem Verfahren dieser Druckschrift ist, dass zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls ein Sensor mit entsprechender Detektionsschicht bewegt werden muss, so dass die Vermessung der optischen Einrichtung aufwändig ist und lange dauert.

[0003] Die Druckschrift DE 10 2013 219 440 A1 offenbart eine Vorrichtung zur optischen Analyse eines Prüflings gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Diese Vorrichtung umfasst eine Strahlquelle zur Generierung eines Prüfstrahls sowie einen Strahlteiler zum Aufteilen des Prüfstrahls nach Passieren des zu analysierenden Prüflings in mehrere Teilstrahlen. Mittels eines Detektors wird die Auftreffposition der Teilstrahlen auf eine Detektionsfläche erfasst. Durch die Verwendung eines Strahlteilers, mit dem verschiedene optische Weglängen der Teilstrahlen zwischen Prüfling und der Detektionsfläche erreicht werden, kann der Strahlverlauf des Prüfstrahls in lediglich einer Detektionsebene bestimmt werden. Nachteilig an dieser Vorrichtung ist, dass die Auftreffpositionen der erzeugten Teilstrahlen weit auseinander liegen, so dass durch den Prüfling verursachte größere Ablenkungen der Teilstrahlen mit herkömmlichen Detektoren mangels ausreichend großer Detektionsfläche nicht erfasst werden können. Der Akzeptanzwinkel, in dem Ablenkungen von Prüfstrahlen detektiert werden können, ist somit klein. Darüber hinaus ist der verwendete Strahlteiler in der Form mehrerer angrenzender Prismen komplex aufgebaut und weist große Abmessungen auf.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein Verfahren zu schaffen, mit denen die optische Analyse eines Prüflings auf einfache Weise durchgeführt werden kann.

[0005] Diese Aufgabe wird durch die Vorrichtung gemäß Patentanspruch 1 bzw. das Verfahren gemäß

Patentanspruch 16 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0006] Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst eine Strahlquelle zur Generierung eines Prüfstrahls, der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling gerichtet wird und diesen passiert. Die Strahlquelle kann z.B. ein Laser zur Erzeugung eines Laserstrahls sein. Unter dem Begriff „Passieren des Prüflings“ fällt sowohl das Hindurchgehen des Prüfstrahls durch den Prüfling als auch die Reflexion des Prüfstrahls am Prüfling.

[0007] Die Vorrichtung eignet sich somit zur Analyse von sowohl reflektierenden Prüflingen als auch transmittierenden Prüflingen. Reflektierende Prüflinge sind dabei gerichtet reflektierende Objekte, welche den Prüfstrahl gerichtet ablenken und nicht (abschließend) streuen.

[0008] Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst ferner einen Strahlteiler zur Erzeugung mehrerer Teilstrahlen durch Aufteilen des Prüfstrahls nach Passieren des Prüflings in die mehreren Teilstrahlen. Der Strahlteiler umfasst zwei strahlteilende Flächen, welche derart ausgestaltet sind, dass sie jeweils eine Strahlteilung durch Reflexion und Transmission eines darauf fallenden Strahls bewirken. In einer bevorzugten Ausführungsform werden durch den Strahlteiler drei oder mehr und insbesondere vier oder fünf oder mehr Teilstrahlen erzeugt. Eine jeweilige strahlteilende Fläche stellt eine kontinuierlich (d.h. ohne Höhengsprünge) verlaufende Fläche dar, welche vorzugsweise aus einem einstückigen Material gebildet ist. Die strahlteilenden Flächen können z.B. durch Beschichtungen mit bekannten dielektrischen Materialien realisiert werden.

[0009] In der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist ein Detektor zur orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen vorgesehen, wobei der Detektor zumindest eine Detektionsfläche umfasst, auf welcher die mehreren Teilstrahlen auftreffen, und wobei für jede strahlteilende Fläche zumindest ein durch den Detektor detektierter Teilstrahl existiert, an dessen Erzeugung zumindest eine Reflexion an der jeweiligen strahlteilenden Fläche beteiligt ist. Erfindungsgemäß werden somit mittels der zumindest einen Detektionsfläche die Auftreffpositionen der mehreren Teilstrahlen in einer ortsfesten Position des Detektors erfasst, wobei diese Position jedoch ggf. für eine Detektion mit einem neuen Prüfstrahl, der den Prüfling an einer anderen Stelle passiert, verändert werden kann. Vorzugsweise ist die zumindest eine Detektionsfläche eine Ebene bzw. plane Fläche.

[0010] Der in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendete Strahlteiler ist derart ausgestaltet, dass die Teilstrahlen unterschiedliche optische Weglängen bis zum Auftreffen auf der zumindest einen De-

tektionsfläche zurücklegen. Ferner ist eine Auswertereinheit zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls nach Passieren des Prüflings unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen vorgesehen.

[0011] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass der Strahlteiler derart ausgestaltet ist, dass alle durch den Detektor detektierten Teilstrahlen über die gleiche strahlteilende Fläche den Strahlteiler verlassen und anschließend auf der zumindest einen Detektionsfläche auftreffen. Der Strahlteiler ist somit derart ausgestaltet und in diesem Sinne auch derart angeordnet, dass alle detektierten Teilstrahlen über die gleiche strahlteilende Fläche aus dem Strahlteiler austreten. Der obige Begriff des "Verlassens des Strahlteilers" ist hier und im Folgenden derart zu verstehen, dass ein Teilstrahl, der den Strahlteiler verlässt, vor seiner Detektion nicht nochmals in den Strahlteiler eintritt.

[0012] Erfindungsgemäß kann durch die Verwendung einer einzelnen strahlteilenden Fläche, über welche alle (nachfolgend) detektierten Teilstrahlen austreten und an der auch Reflexionen der Teilstrahlen erfolgen, der gegenseitige Abstand der Teilstrahlen auf der zumindest einen Detektionsfläche verringert werden. Hierdurch wird der Akzeptanzwinkel der Vorrichtung erhöht. Ferner kann die Vorrichtung mit einem kompakt aufgebauten Strahlteiler realisiert werden. Darüber hinaus weist die erfindungsgemäße Vorrichtung den Vorteil auf, dass der Strahlverlauf eines Prüfstrahls durch gleichzeitige Detektion von mehreren Teilstrahlen bestimmt werden kann, ohne dass Detektionsebenen bewegt werden müssen. Insbesondere entspricht die orts aufgelöste Detektion der mehreren Teilstrahlen einer orts aufgelösten Detektion des Prüfstrahls durch mehrere zueinander versetzte Detektionsebenen.

[0013] In einer bevorzugten Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind an der Erzeugung eines oder mehrerer der detektierten Teilstrahlen jeweils mehrere Reflexionen an den strahlteilenden Flächen beteiligt. Hierdurch kann die Detektion einer großen Anzahl von Teilstrahlen mit einem einzelnen Detektor erreicht werden.

[0014] In einer weiteren Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist der Strahlteiler derart ausgestaltet, dass der Prüfstrahl nach Passieren des Prüflings über eine der strahlteilenden Flächen in den Strahlteilern eintritt. Unter "Eintritt in den Strahlteiler" ist dabei das erstmalige Auftreffen des Prüfstrahls auf der entsprechenden strahlteilenden Fläche nach Passieren des Prüflings zu verstehen. Mit dieser Ausführungsform kann eine Vorrichtung mit einem besonders kompakten Strahlteiler realisiert werden.

[0015] In einer weiteren, besonders bevorzugten Ausführungsform ist die zumindest eine Detektionsfläche eine einzelne (durchgehende) Detektionsfläche. Alternativ kann die Detektionsfläche auch mehrere, in der gleichen Ebene angeordnete Detektionsflächen umfassen.

[0016] In einer weiteren, besonders bevorzugten Ausführungsform ist die zumindest eine Detektionsfläche an der strahlteilenden Fläche angeordnet, über welche die detektierten Teilstrahlen den Strahlteiler verlassen. Vorzugsweise liegt die zumindest eine Detektionsfläche an dieser strahlteilenden Fläche an. Hierdurch wird ein besonders kompakter Aufbau der Vorrichtung mit einem großen Akzeptanzwinkel erreicht.

[0017] In einer weiteren bevorzugten Variante umfasst der Strahlteiler einen Körper aus für den Prüfstrahl und die Teilstrahlen transparentem (d.h. zumindest teilweise durchlässigem) Material, wobei an zwei gegenüber liegenden Grenzflächen des Körpers die strahlteilenden Flächen ausgebildet sind, z.B. mittels einer an sich bekannten Beschichtung aus dielektrischem Material. Das transparente Material kann z.B. Glas oder auch ein Kunststoff, wie z.B. PMMA (Polymethylacrylat) oder PC (Polycarbonat), sein. Gemäß dieser Ausführungsform ist der Strahlteiler besonders einfach aufgebaut. Der Strahlteiler kann jedoch gegebenenfalls auch anders aufgebaut sein, sofern gewährleistet ist, dass der Strahlteiler die Merkmale des Strahlteilers der Vorrichtung nach Anspruch 1 erfüllt. Insbesondere kann der Strahlteiler z.B. auch durch zwei gegenüber liegende und vorzugsweise parallel verlaufende Platten oder einen anderweitigen Resonator realisiert sein.

[0018] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die strahlteilenden Flächen des Strahlteilers ebene bzw. plane Flächen. Diese strahlteilenden Flächen können parallel zueinander oder gegebenenfalls auch schräg zueinander verlaufen.

[0019] In einer zweckmäßigen Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Auswertereinheit dazu eingerichtet, den Strahlverlauf des Prüfstrahls nach Passieren des Prüflings durch Ermittlung des Einfallswinkels des Prüfstrahls an einer der strahlteilenden Flächen zu bestimmen, wobei der Einfallswinkel aus einem oder mehreren Abständen zwischen den Auftreffpositionen der Teilstrahlen auf der zumindest einen Detektionsfläche ermittelt wird. Vorzugsweise entspricht die strahlteilende Fläche, für welche der Einfallswinkel ermittelt wird, einer strahlteilenden Fläche, über die der Prüfstrahl in den Strahlteiler eintritt. Ein entsprechender Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel des Prüfstrahls und den Abständen der Auftreffpositionen ist an sich bekannt bzw. kann durch den Fachmann im Rahmen seines Fachwissens abgeleitet werden. In der spezi-

ellen Beschreibung wird dieser Zusammenhang für eine Ausgestaltung des Strahlteilers angegeben.

[0020] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Auswerteeinheit dazu eingerichtet, Eigenschaften des Prüflings basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen zu ermitteln, die den Prüfling an verschiedenen Positionen passieren. Insbesondere können als Eigenschaften des Prüflings die Form zumindest einer Oberfläche des Prüflings und/oder die optische Wellenfront nach Passieren des Prüflings und/oder Größen bestimmt werden, welche von der Form der zumindest einen Oberfläche oder von der optischen Wellenfront abhängen (z.B. das Gradientenfeld der Wellenfront). Solche Eigenschaften können mit an sich bekannten Verfahren aus den Strahlverläufen der Prüfstrahlen ermittelt werden. Zum Beispiel kann eine zonale bzw. modale Integration durchgeführt werden oder es können die in der Druckschrift DE 10 2007 003 681 A1 beschriebenen Methoden (z.B. Zernike-Polynome) verwendet werden.

[0021] In einer Variante der soeben beschriebenen Ausführungsform ist die Auswerteeinheit dazu eingerichtet, als Eigenschaften des Prüflings die Form mehrerer Oberflächen des Prüflings und/oder Größen zu bestimmen, welche von der Form der mehreren Oberflächen abhängen, wobei hierfür mehrere Strahlverläufe des gleichen Prüfstrahls bestimmt werden. Diese mehreren Strahlverläufe unterscheiden sich darin, dass der Prüfstrahl an jeweils einer anderen Oberfläche der mehreren Oberflächen reflektiert wurde. Diese Variante der Erfindung hat den Vorteil, dass parallel zwei Oberflächen des Prüflings vermessen werden können.

[0022] In einer weiteren Variante ist die erfindungsgemäße Vorrichtung derart ausgestaltet, dass der Prüfstrahl den Strahlteiler vor dem Passieren des Prüflings durchläuft und nach Passieren des Prüflings wieder in den Strahlteiler eintritt, wobei dann die Aufteilung des Prüfstrahls in mehrere Teilstrahlen zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls genutzt wird. Hierdurch kann ein besonders kompakter Aufbau der Vorrichtung erreicht werden, wobei sich dieser Aufbau insbesondere zur Analyse von reflektierenden Prüflingen eignet. Nichtsdestotrotz kann die Vorrichtung gegebenenfalls auch derart ausgestaltet sein, dass der Prüfstrahl in den Strahlteiler erstmalig nach Passieren des Prüflings eintritt. Diese Variante eignet sich insbesondere zur Analyse von transmittierenden Prüflingen, wie z.B. Linsen.

[0023] Um eine schnelle Vermessung des Prüflings zu gewährleisten, umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung vorzugsweise eine Aktorik zum Verändern der Relativposition des Prüfstrahls in Bezug auf den Prüfling in eine oder mehrere Richtungen, welche die Auftreffposition des Prüfstrahls am Prüfling

verändern. Vorzugsweise bewirkt die Aktorik eine relative Verschiebung zwischen dem Prüfling und der Baugruppe aus Strahlquelle, Strahlteiler und Detektor. Je nach Ausgestaltung kann die Aktorik dabei nur die Baugruppe bzw. nur den Prüfling bzw. sowohl die Baugruppe als auch den Prüfling verschieben.

[0024] Der in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendete Detektor kann auf unterschiedlichen Technologien beruhen. Insbesondere kann er einen CCD-Sensor und/oder einen CMOS-Sensor und/oder einen PSD-Sensor (PSD = Position Sensitive Device) umfassen. PSD-Sensoren umfassen z.B. Photodioden bzw. 4-Quadranten-Photodioden. All diese Sensorarten sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden deshalb nicht näher im Detail erläutert.

[0025] Neben der oben beschriebenen Vorrichtung betrifft die Erfindung ein Verfahren zur optischen Analyse eines Prüflings mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. einer oder mehreren bevorzugten Varianten der erfindungsgemäßen Vorrichtung. In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der Prüfstrahl auf den Prüfling gerichtet, wobei der Prüfstrahl nach Passieren des Prüflings auf den Strahlteiler fällt. Durch den Strahlteiler aufgeteilte Teilstrahlen treffen auf der zumindest einen Detektionsfläche des Detektors auf und werden dort orts aufgelöst detektiert, wobei alle detektierten Teilstrahlen über die gleiche strahlteilende Fläche den Strahlteiler verlassen. Mittels der Auswerteeinheit der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird der Strahlverlauf des Prüfstrahls nach Passieren des Prüflings unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen bestimmt.

[0026] Vorzugsweise werden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Eigenschaften des Prüflings basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen ermittelt, die den Prüfstrahl an verschiedenen Positionen passieren. Insbesondere können dabei die bereits oben beschriebenen Eigenschaften bestimmt werden, insbesondere die Form der Oberfläche des Prüflings bzw. die optische Wellenfront nach Passieren des Prüflings bzw. Größen, die von der Form der Oberfläche oder der optischen Wellenfront abhängen.

[0027] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der beigegeführten Figuren detailliert beschrieben.

[0028] Es zeigen:

[0029] Fig. 1 eine schematische perspektivische Darstellung einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

[0030] Fig. 2 eine Draufsicht auf die Detektionsfläche des Detektors aus Fig. 5 mit entsprechenden Auftreffpositionen von Teilstrahlen;

[0031] Fig. 3 eine seitliche Schnittansicht einer zweiten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung; und

[0032] Fig. 4 eine Schnittansicht, welche die Ermittlung von mehreren Oberflächenformen gemäß einer Variante der Erfindung verdeutlicht.

[0033] Die in Fig. 1 gezeigte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung dient zur Analyse eines reflektierenden Prüflings 2, der eine gewellte reflektierende Oberfläche O aufweist. Die Vorrichtung umfasst eine Strahlquelle 1, mit der ein Prüfstrahl P erzeugt wird. Die Strahlquelle kann z.B. eine Laserquelle zur Erzeugung eines Laserstrahls sein. Der von der Strahlquelle 1 generierte Prüfstrahl trifft auf einen Strahlteiler, der aus einem für den Prüfstrahl transparenten Material mit der Dicke d besteht. Die Oberseite des Strahlteilers 3 stellt eine strahlteilende Fläche 3a dar. Ebenso ist die Unterseite des Strahlteilers 3 eine strahlteilende Fläche 3b. Die strahlteilenden Flächen werden in an sich bekannter Weise zum Beispiel über eine Beschichtung aus dielektrischem Material realisiert. Jede strahlteilende Fläche reflektiert einen Teil des Prüfstrahls und lässt einen Teil des Prüfstrahls durch. Insbesondere können die jeweiligen strahlteilenden Flächen als halbdurchlässige Spiegel ausgestaltet sein.

[0034] Der von der Strahlquelle 1 stammende Prüfstrahl fällt zunächst auf die strahlteilende Fläche 3a. Der durch die Fläche 3a transmittierte Teil des Prüfstrahls läuft durch den Strahlteiler hindurch und gelangt zu der strahlteilenden Fläche 3b. Der über diese strahlteilende Fläche transmittierte Teil des Prüfstrahls trifft schließlich an der Position PO auf die Oberfläche O des Prüflings 2. Der Prüfling ist dabei in einer vorgegebenen Messebene ME angeordnet, für welche ein kartesisches Koordinatensystem K mit entsprechender x-, y- und z-Achse definiert ist. Diese Auftreffposition PO ist in diesem kartesischen Koordinatensystem durch die Koordinaten x_m , y_m und z_m gegeben.

[0035] Der an der Position PO auftreffende Strahl wird an der Oberfläche O reflektiert und gelangt zurück zu der strahlteilenden Oberfläche 3b des Strahlteilers 3. Anschließend erfolgt die Aufteilung des Prüfstrahls in Teilstrahlen T1, T2, T3 und T4. Die einzelnen Teilstrahlen unterscheiden sich dahingehend, wie oft sie an der strahlteilenden Fläche 3a reflektiert wurden. Im Besonderen geht der Teilstrahl T1 aus dem von der Oberfläche O stammenden Strahl lediglich durch eine Reflexion an der strahlteilenden Fläche 3b hervor, d.h. an der Generierung des Teilstrahls T1 war keine Reflexion an der strahlteilenden Fläche 3a beteiligt.

Demgegenüber geht der Teilstrahl T2 aus einer einmaligen Reflexion an der strahlteilenden Fläche 3a hervor, wohingegen der Teilstrahl T3 durch eine zweifache Reflexion und der Teilstrahl T4 durch eine dreifache Reflexion an der strahlteilenden Fläche 3a generiert wurde.

[0036] Die einzelnen Teilstrahlen T1 bis T4, die mit zunehmender Anzahl von Reflexionen in ihrer Intensität abnehmen, verlaufen im Wesentlichen parallel hin zu einem Detektor 5, an dem über eine Datenleitung 7 eine Auswerteeinheit 6 in der Form eines Rechners bzw. Computers angeschlossen ist. Die Teilstrahlen treffen auf einer Detektionsfläche 5a des Detektors auf. Diese Detektionsfläche kann beispielsweise durch einen CCD-Sensor realisiert sein. Über den Detektor 5 werden die Auftreffpositionen der einzelnen Teilstrahlen T1 bis T4 in einem lokalen kartesischen Koordinatensystem der Detektionsfläche 5a ermittelt, wie nachfolgend anhand von Fig. 2 erläutert wird.

[0037] Fig. 2 zeigt eine Draufsicht auf die Detektionsfläche 5a des Detektors 5. Die zweidimensionalen Positionen auf der Detektionsfläche werden durch das lokale kartesische Koordinatensystem mit den Achsen x_s und y_s beschrieben. Fallen n Teilstrahlen auf den Detektor, so treffen diese in der hier beschriebenen Ausführungsform an zueinander versetzten, gleichmäßig beabstandeten Positionen PO1, PO2, PO3, ..., POn auf der Detektionsfläche 5a auf. Der gleichmäßige Abstand der Auftreffpositionen resultiert daraus, dass die beiden strahlteilenden Flächen 3a und 3b im Wesentlichen parallel verlaufen. Bei auseinander laufenden strahlteilenden Flächen nimmt der Abstand zwischen den einzelnen Positionen kontinuierlich zu.

[0038] Die Ermittlung der Auftreffpositionen PO1 bis POn läuft vorzugsweise derart ab, dass die Intensitätsverteilung der auftreffenden Teilstrahlen durch die Detektionsfläche 5a gemessen wird und der Schwerpunkt dieser Intensitätsverteilung bestimmt wird. Dieser Schwerpunkt wird mit der entsprechenden Auftreffposition gleichgesetzt. Die Ermittlung der Auftreffpositionen kann dabei durch eine digitale oder analoge Elektronik des Detektors 5 erfolgen bzw. gegebenenfalls auch durch die Auswerteeinheit 6 vorgenommen werden.

[0039] In der Auswerteeinheit 6, die über die Datenleitung 7 an den Detektor 5 angebunden ist, werden die Auftreffpositionen der Teilstrahlen T1 bis T4 geeignet verarbeitet. Dabei wird aus den Auftreffpositionen der Strahlverlauf des Prüfstrahls nach Reflexion an der Oberfläche O des Prüflings 2 bestimmt. Mit anderen Worten wird der Winkel des Prüfstrahls in Bezug auf die Flächennormalen der strahlteilenden Fläche 3b ermittelt. Hieraus lässt sich aus der bekannten Lage der Messebene ME und der ebenfalls bekannt-

ten Lage des Strahlteilers **3** die Neigung der Flächennormalen an der Oberflächenposition PO bestimmen. Über die Detektion von Prüfstrahlen, welche an vielen unterschiedlichen Oberflächenpositionen reflektiert werden, können dann weitergehende Parameter der Oberfläche abgeleitet werden, wie weiter unten erläutert wird.

[0040] Die in **Fig. 1** dargestellte Vorrichtung weist eine Aktorik (nicht gezeigt) auf, mit der der Prüfstrahl P und der Prüfling **2** entlang der Messebene ME relativ zueinander versetzt werden können. In der hier beschriebenen Ausführungsform sind die Baugruppe aus Strahlquelle **1**, Strahlteiler **3** und Detektor **5** fest zueinander angeordnet, jedoch relativ zu dem Prüfling **2** verschiebbar. Im Rahmen der Analyse des Prüflings **2** wird über die Aktorik eine Vielzahl von Positionen auf der Oberfläche O des Prüflings angefahren und die entsprechenden Strahlverläufe der Prüfstrahlen und hieraus die Flächennormale an der angefahrenen Oberflächenposition bestimmt. Mit einem an sich bekannten Rekonstruktionsalgorithmus wird dann über zonale oder modale Integration die Form der Oberfläche rekonstruiert. Diese Oberflächenform ist durch entsprechende Höhenpositionen gemäß der z-Koordinate des kartesischen Koordinatensystems K für entsprechende x- und y-Koordinaten dieses Koordinatensystems gegeben.

[0041] **Fig. 3** zeigt in Schnittansicht eine Abwandlung der Ausführungsform der **Fig. 1**. Im Unterschied zu **Fig. 1** trifft der Prüfstrahl P ausgehend von der Strahlquelle **1** direkt auf den Prüfling **2**, ohne durch den Strahlteiler **3** hindurchzugehen. Der Strahlteiler **3** ist analog zu dem Strahlteiler der **Fig. 1** aufgebaut, wobei die strahlteilenden Flächen **3a** und **3b** jedoch parallel zur Messebene ME verlaufen, wohingegen diese Flächen in der Ausführungsform der **Fig. 1** schräg zu der Messfläche stehen. Ferner ist der Detektor **5** nunmehr auf der Seite der oberen Fläche **3a** angeordnet. Die Detektionsfläche **5a** verläuft dabei parallel zu der Fläche **3a** und ist in unmittelbarer Nachbarschaft zu dieser angeordnet. In einer bevorzugten Variante liegt die Detektionsfläche **5a** auf der strahlteilenden Fläche **3a** auf, wodurch ein besonders kompakter Aufbau erreicht wird.

[0042] In der Vorrichtung der **Fig. 3** werden im Unterschied zu **Fig. 1** die Auftreffpositionen von fünf Teilstrahlen T1 bis T5 auf der Detektionsfläche **5a** erfasst. Die einzelnen Teilstrahlen unterscheiden sich in ihrer Anzahl an Reflexionen an der strahlteilenden Fläche **3b**. Mit anderen Worten wurde der Teilstrahl T1 überhaupt nicht an der Reflexionsfläche **3b** reflektiert, wohingegen der Teilstrahl T2 aus einer Reflexion, der Teilstrahl T3 aus zwei Reflexionen, der Teilstrahl T4 aus drei Reflexionen und der Teilstrahl T5 aus vier Reflexionen an der strahlteilenden Fläche **3b** hervorgeht.

[0043] Im Folgenden wird beispielhaft anhand von **Fig. 3** die Bestimmung des Einfallswinkels α des Prüfstrahls P auf die strahlteilende Fläche **3b** erklärt. Die nachfolgenden Erläuterungen sind analog auch auf andere Anordnungen und Ausführungsformen von Strahlteilern durch Anpassung der entsprechenden Berechnungsvorschriften anwendbar. Die geeignete Anpassung der Berechnungsvorschriften liegt im Rahmen von fachmännischem Handeln.

[0044] Wie oben erläutert, werden zunächst die Auftreffpositionen der einzelnen Teilstrahlen auf der Detektionsfläche **5a** ermittelt. Hieraus wird der Abstand Δ zwischen den einzelnen benachbarten Teilstrahlen berechnet. Aufgrund der Parallelität der Flächen **3a** und **3b** unterscheiden sich diese Abstände nur geringfügig. Da in der Ausführungsform der **Fig. 3** mehrere solcher Abstände bestimmt werden, wird mit dem Mittelwert dieser Abstände weitergerechnet, wodurch entsprechende Fehler in der Abstandsbestimmung klein gehalten werden.

[0045] Basierend auf dem Reflexionsgesetz ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel α und dem Abstand Δ zwischen benachbarten Teilstrahlen:

$$\sin \alpha = n \frac{\beta}{\sqrt{1+\beta^2}} \quad \text{mit } \beta = \frac{\Delta}{2a}$$

[0046] Der Parameter d ist die Dicke des Strahlteilers **3** und der Parameter n entspricht dem Brechungsindex des Materials des Strahlteilers. Mit obiger Formel können somit der Einfallswinkel und hieraus die Flächennormale an der entsprechenden Oberflächenposition bestimmt werden, an welcher der Prüfstrahl P reflektiert wurde. Mittels zonaler bzw. modaler Integration ergibt sich die Form der Oberfläche des Prüflings.

[0047] Bei schräg zueinander verlaufenden Flächen **3a** und **3b** verändern sich die Abstände Δ zwischen den Teilstrahlen. In diesem Fall kann eine Funktion in Abhängigkeit von der gemessenen Veränderung der Abstände Δ aufgestellt werden. Diese Funktion hängt neben der Veränderung der Abstände auch von der relativen Neigung der Fläche **3a** zur Fläche **3b**, dem Einfallswinkel α , dem Brechungsindex n sowie der Dicke d ab. Da die relative Neigung, der Brechungsindex n sowie die Dicke d bekannt sind und die Veränderung des Abstands Δ gemessen wird, kann über diese Funktion der Einfallswinkel α bestimmt werden.

[0048] **Fig. 4** zeigt eine abgewandelte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Aus Übersichtlichkeitsgründen wurden dabei die Strahlquelle sowie der benachbart zur strahlteilenden Fläche **3a** angeordnete Detektor und die daran angeschlossene Auswerteeinheit weggelassen. Mit der Ausführungsform der **Fig. 4** wird ein Prüfling **2** vermessen, der aus

transparentem Material besteht und die obere Oberfläche O1 und die untere Oberfläche O2 umfasst. Die obere Oberfläche O1 ist dabei strahlteilend, wohingegen die untere Oberfläche O2 eine zumindest teilweise reflektierende Oberfläche ist.

[0049] Mit dem Aufbau der **Fig. 4** werden gleichzeitig die Oberflächen O1 und O2 vermessen. Hierzu wird wiederum ein Prüfstrahl P verwendet, der mittels einer Aktorik an verschiedenen Positionen auf dem Prüfling angeordnet wird. In jeder Position des Prüfstrahls P werden dabei zwei Strahlverläufe erfasst, wobei ein Strahlverlauf aus einer Reflexion an der Oberfläche O1 und der andere Strahlverlauf aus einer Reflexion an der Oberfläche O2 resultiert. Dies ist in **Fig. 4** verdeutlicht. Der durch die Strahlquelle erzeugte Prüfstrahl P wird an der Oberfläche O1 in einen Teilstrahl P1 und einen Teilstrahl P' aufgeteilt. Der Strahlverlauf des direkt an der Oberfläche O1 reflektierten Strahls P' wird über die Auftreffpositionen der daraus resultierenden Teilstrahlen ermittelt. Gleichzeitig wird der Strahlverlauf des Strahls P" wiederum über entsprechende Auftreffpositionen von Teilstrahlen ermittelt. Der Strahl P" geht aus dem Strahl P2 hervor, der durch Reflexion des Strahls P1 an der Oberfläche O2 entstanden ist. Der Strahl P1 stellt den über die Oberfläche O1 transmittierten Teil des ursprünglichen Prüfstrahls P dar.

[0050] Gemäß der Ausführungsform der **Fig. 4** ergeben sich somit sowohl Abstände der Teilstrahlen, die aus einer Reflexion an der Oberfläche O1 resultieren, als auch Abstände von Teilstrahlen, die aus einer Reflexion an der Oberfläche O2 resultieren.

[0051] Die Teilstrahlen können z.B. über ihre Intensitätsstärke unterschieden werden, da die Intensitätsstärke der Teilstrahlen, die auf eine Reflexion an der Oberfläche O2 zurückgehen, geringer ist als die Intensität der Teilstrahlen, die auf eine Reflexion an der Oberfläche O1 zurückgehen. Mit der soeben beschriebenen Ausführungsform können in einem einzigen Messvorgang gleichzeitig die Formen der beiden Oberflächen O1 und O2 des Prüflings 2 bestimmt werden.

[0052] Die im Vorangegangenen beschriebenen Ausführungsformen weisen eine Reihe von Vorteilen auf. Insbesondere wird eine kompakt aufgebaute Vorrichtung geschaffen, mit der auch größere Ablenkungen eines Prüfstrahls an einem Prüfling über einen Detektor erfasst werden können. Mit anderen Worten weist die Vorrichtung einen großen Akzeptanzwinkel auf. Darüber hinaus ermöglicht die Vorrichtung die Erfassung einer großen Anzahl von Teilstrahlen, wodurch die Messgenauigkeit, z.B. durch Mittelung der Abstände zwischen den Teilstrahlen, erhöht werden kann.

[0053] Ferner wird auf einfache Weise die Bestimmung von Strahlverläufen von Prüfstrahlen ermöglicht, ohne dass ein Detektor mit zugeordneter Detektionsfläche in verschiedene Positionen verschoben werden muss. Stattdessen wird der Prüfstrahl mittels eines Strahlteilers in Teilstrahlen aufgeteilt, welche unterschiedliche optische Weglängen zwischen Prüfling und Detektionsfläche aufweisen. Hierdurch werden die Auftreffpositionen des Prüfstrahls in zueinander versetzten Detektionsebenen simuliert, was wiederum eine Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls ermöglicht. Die erfindungsgemäße Vorrichtung gewährleistet dabei eine wesentlich schnellere Vermessung von Prüflingen, denn für die Bestimmung eines Strahlverlaufs ist lediglich eine Messung mit ortsfester Detektionsfläche bzw. ortsfestem Detektor erforderlich, wohingegen im Stand der Technik zumindest zwei Messungen in unterschiedlichen Detektorpositionen durchgeführt werden müssen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102007003681 A1 [0002, 0020]
- DE 102013219440 A1 [0003]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur optischen Analyse eines Prüflings (2), umfassend:

- eine Strahlquelle (1) zur Generierung eines Prüfstrahls (P), der im Betrieb der Vorrichtung auf den Prüfling (2) gerichtet wird und diesen passiert;
- einen Strahlteiler (3) zur Erzeugung mehrerer Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) durch Aufteilen des Prüfstrahls (P) nach Passieren des Prüflings (2) in die mehreren Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5), wobei der Strahlteiler (3) zwei strahlteilende Flächen (3a, 3b) umfasst, welche derart ausgestaltet sind, dass sie jeweils eine Strahlteilung durch Reflexion und Transmission eines darauf fallenden Strahls bewirken;
- einen Detektor (5) zur orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5), wobei der Detektor (5) zumindest eine Detektionsfläche (5a) umfasst, auf welcher die mehreren Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) auftreffen, und wobei für jede strahlteilende Fläche (3a, 3b) zumindest ein detektierter Teilstrahl (T1, T2, ..., T5) existiert, an dessen Erzeugung zumindest eine Reflexion an der jeweiligen strahlteilenden Fläche (3a, 3b) beteiligt ist;
- wobei der Strahlteiler (3) derart ausgestaltet ist, dass die Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) unterschiedliche optische Weglängen vom Prüfling (2) bis zum Auftreffen auf der zumindest einen Detektionsfläche (5a) zurücklegen;
- eine Auswerteeinheit (6) zur Bestimmung eines Strahlverlaufs des Prüfstrahls (P) nach Passieren des Prüflings (2) unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5); **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strahlteiler (3) derart ausgestaltet ist, dass alle detektierten Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) über die gleiche strahlteilende Fläche (3a, 3b) den Strahlteiler (3) verlassen und anschließend auf der zumindest einen Detektionsfläche (5a) auftreffen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Erzeugung eines oder mehrerer der detektierten Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) jeweils mehrere Reflexionen an den strahlteilenden Flächen (3a, 3b) beteiligt sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strahlteiler (3) derart ausgestaltet ist, dass der Prüfstrahl (P) nach Passieren des Prüflings (2) über eine der strahlteilenden Flächen (3a, 3b) in den Strahlteiler (3) eintritt.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Detektionsfläche (5a) eine einzelne Detektionsfläche ist oder mehrere, in der gleichen Ebene angeordnete Detektionsflächen umfasst.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zu-

mindest eine Detektionsfläche (5a) an der strahlteilenden Fläche (3a, 3b) angeordnet ist, über welche die detektierten Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) den Strahlteiler (3) verlassen, wobei die zumindest eine Detektionsfläche (3a) vorzugsweise an dieser strahlteilenden Fläche (3a, 3b) anliegt.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strahlteiler (3) einen Körper aus für den Prüfstrahl (P) und die Teilstrahlen (T1, T2, T3, T4, T5) transparentem Material umfasst, wobei an zwei gegenüber liegenden Grenzflächen des Körpers die strahlteilenden Flächen (3a, 3b) ausgebildet sind.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die strahlteilenden Flächen (3a, 3b) des Strahlteilers (3) plane Flächen sind, welche parallel zueinander oder schräg zueinander verlaufen.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (6) dazu eingerichtet ist, den Strahlverlauf des Prüfstrahls (P) nach Passieren des Prüflings (2) durch Ermittlung des Einfallswinkes (α) des Prüfstrahls an einer der strahlteilenden Flächen (3a, 3b) zu bestimmen, wobei der Einfallswinkel (α) aus einem oder mehreren Abständen (Δ) zwischen den Auftreffpositionen (PO1, PO2, ..., PO_n) der Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) auf der zumindest einen Detektionsfläche (5a) ermittelt wird.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (6) dazu eingerichtet ist, Eigenschaften des Prüflings (2) basierend auf den Strahlverläufen von mehreren Prüfstrahlen (P) zu ermitteln, die den Prüfling (2) an verschiedenen Positionen (PO) passieren.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (9) dazu eingerichtet ist, als Eigenschaften des Prüflings (2) die Form zumindest einer Oberfläche (O, O1, O2) des Prüflings (2) und/oder die optische Wellenfront nach Passieren des Prüflings (2) und/oder Größen zu bestimmen, welche von der Form der zumindest einen Oberfläche (O, O1, O2) oder von der optischen Wellenfront abhängen.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (6) dazu eingerichtet ist, als Eigenschaften des Prüflings (2) die Form mehrerer Oberflächen (O, O1, O2) des Prüflings (2) und/oder Größen zu bestimmen, welche von der Form der mehreren Oberfläche (O, O1, O2) abhängen, wobei hierfür mehrere Strahlverläufe des gleichen Prüfstrahls (P) bestimmt werden, wobei sich die mehreren Strahlverläufe darin unterschei-

den, dass der Prüfstrahl (P) an jeweils einer anderen Oberfläche der mehreren Oberflächen (O, O1, O2) reflektiert wurde.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung derart ausgestaltet ist, dass der Prüfstrahl (P) den Strahlteiler (3) vor dem Passieren des Prüflings (2) durchläuft und nach Passieren des Prüflings (2) wieder in den Strahlteiler (3) eintritt, wobei dann die Aufteilung des Prüfstrahls (P) in mehrere Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) zur Bestimmung des Strahlverlaufs des Prüfstrahls (P) genutzt wird.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung derart ausgestaltet ist, dass der Prüfstrahl (P) in den Strahlteiler (3) erstmalig nach Passieren des Prüflings (2) eintritt.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung eine Aktorik zum Verändern der Relativposition des Prüfstrahls (P) in Bezug auf den Prüfling (2) in eine oder mehrere Richtungen umfasst, welche die Auftreffposition (PO) des Prüfstrahls (P) am Prüfling verändern.

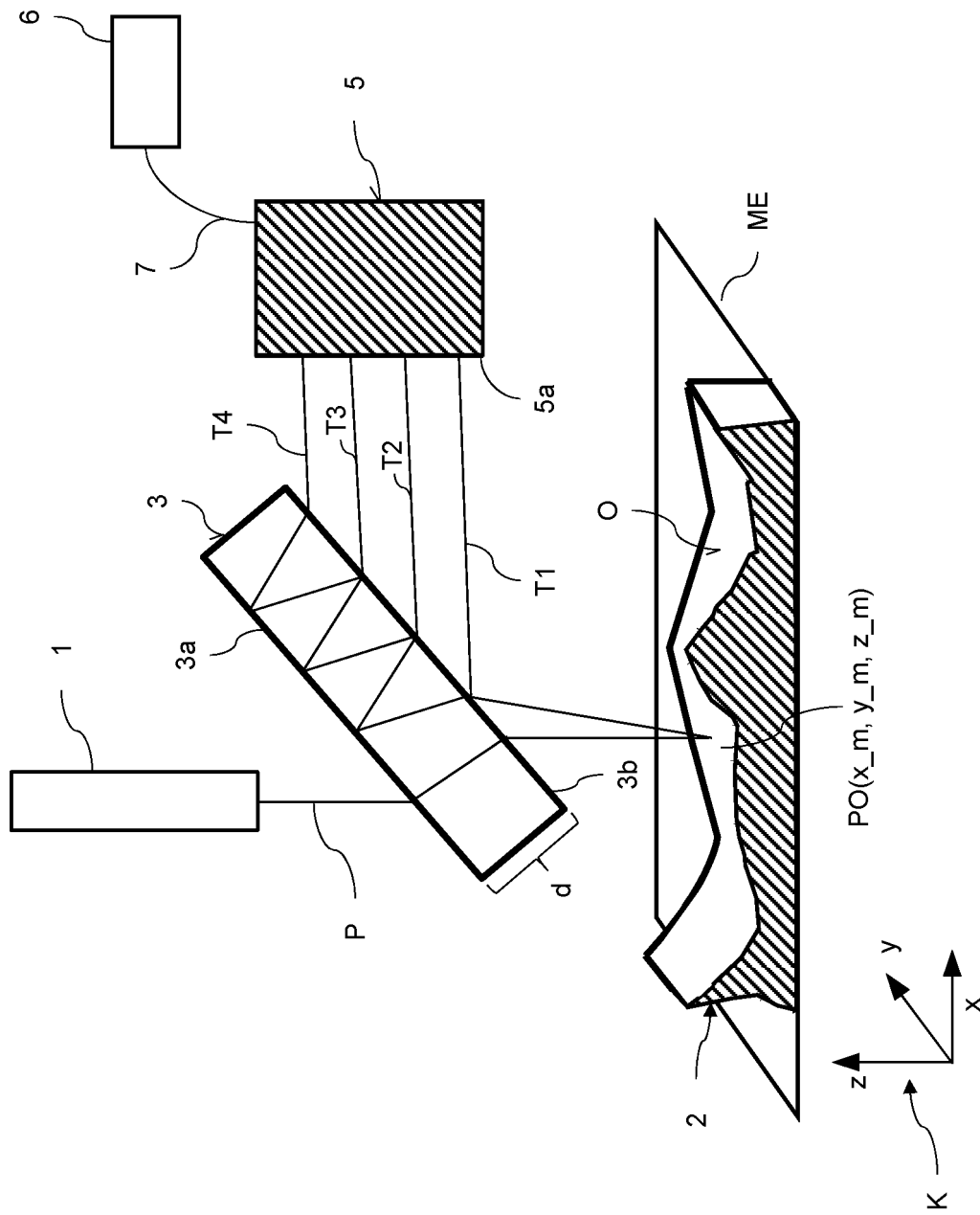
15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Detektor (5) einen CCD-Sensor und/oder einen CMOS-Sensor und/oder einen PSD-Sensor umfasst.

16. Verfahren zur optischen Analyse eines Prüflings (2) mit einer Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- der Prüfstrahl (P) auf den Prüfling (2) gerichtet wird und nach Passieren des Prüflings (2) auf den Strahlteiler (3) fällt;
- durch den Strahlteiler (3) aufgeteilte Teilstrahlen (T1, T2, ..., T5) auf der zumindest einen Detektionsfläche (5a) des Detektors (5) auftreffen und dort orts aufgelöst detektiert werden, wobei alle detektierten Teilstrahlen über die gleiche strahlteilende Fläche (3a, 3b) den Strahlteiler (3) verlassen;
- mittels der Auswerteeinheit (6) der Strahlverlauf des Prüfstrahls (P) nach Passieren des Prüflings unter Verwendung der orts aufgelösten Detektion der mehreren Teilstrahlen (P) bestimmt wird.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



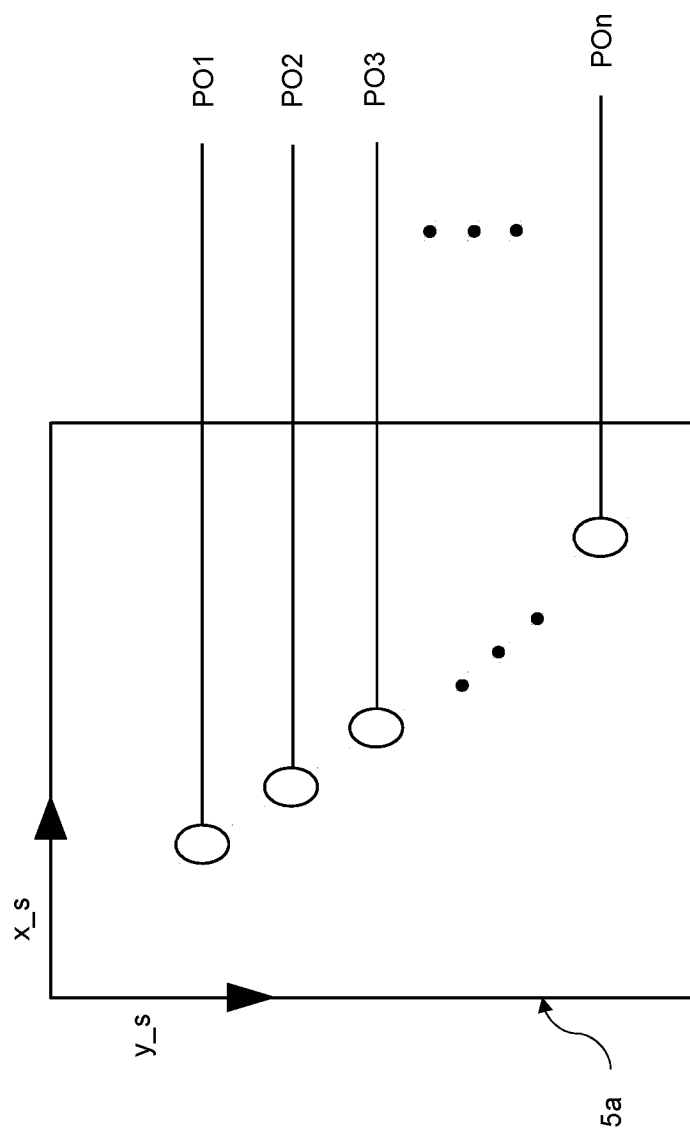


Fig. 2

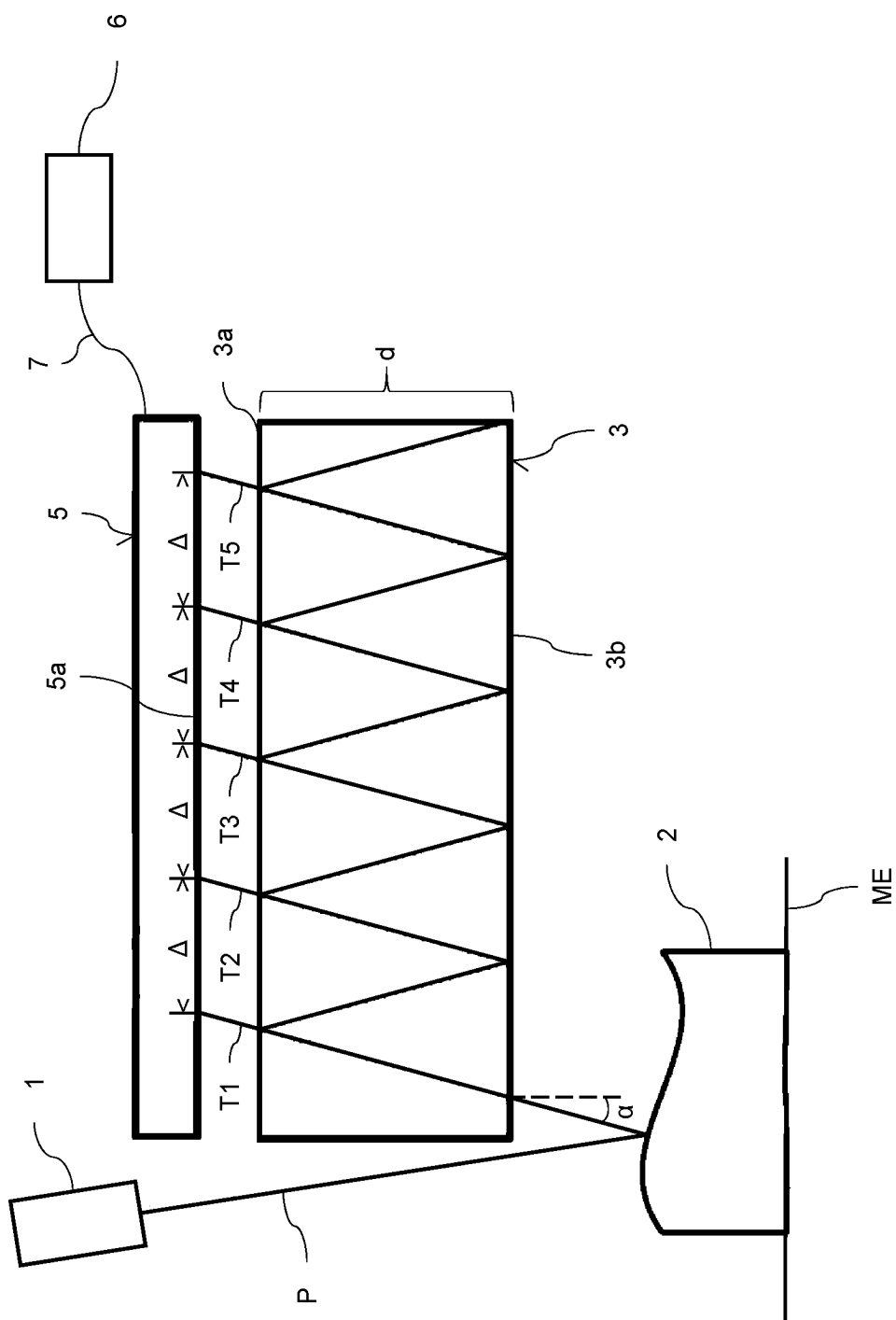


Fig. 3

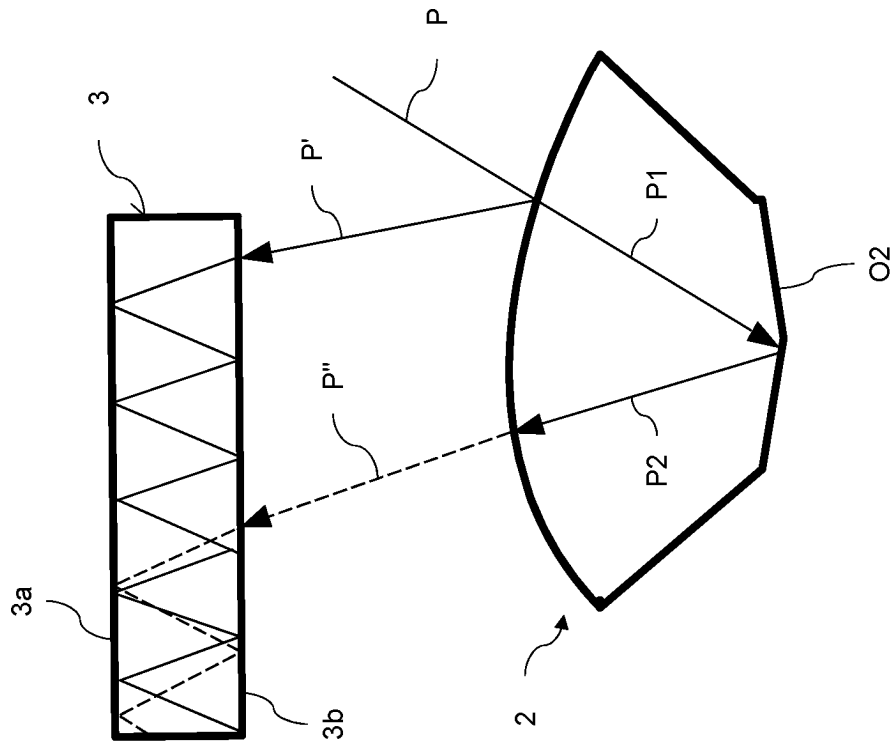


Fig. 4