

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
9. April 2015 (09.04.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/048993 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01B 9/02 (2006.01) G01B 9/10 (2006.01)
G01B 11/26 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/070548

(22) Internationales Anmeldedatum:
2. Oktober 2013 (02.10.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder: CARL ZEISS INDUSTRIELLE
MESSTECHNIK GMBH [DE/DE]; Carl-Zeiss-Str. 22,
73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder: ENGEL, Thomas; Härtsfeldstr. 146, 73432
Aalen (DE).

(74) Anwalt: BRUNOTTE, Joachim; Patentanwälte Bressel
und Partner, Potsdamer Platz 10, 10785 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MEASURING THE RELATIVE ALIGNMENT AND/OR RELATIVE POSITION OF MUTUALLY MOVABLE COMPONENTS OF A DEVICE, MORE PARTICULARLY OF A COORDINATE MEASURING MACHINE

(54) Bezeichnung : MESSEN DER RELATIVEN AUSRICHTUNG UND/ODER RELATIVEN LAGE VON ZUEINANDER BEWEGLICHEN BAUTEILEN EINER VORRICHTUNG, INSBESONDERE EINES KOORDINATENMESSGERÄTES

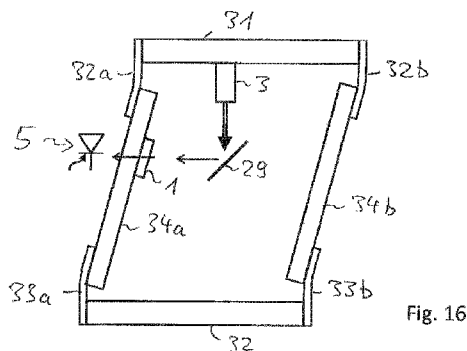


Fig. 16

(57) Abstract: The invention relates to a method for measuring a relative position of components (31, 34a; 31, 35; 36, 34a; 38, 41b) - movable relative to one another - of a device (30), more particularly of a coordinate measuring machine or of a machine tool, wherein the method comprises the following steps: • irradiating an etalon (1; 12; 14), i.e. an interferometer having reflectors (H, L) for reflecting electromagnetic radiation, the reflectors (H, L) thereof forming an optical resonator, with an electromagnetic radiation, • measuring a radiation intensity of radiation emerging from the etalon (1; 12; 14; 112; 146; 164, 165) and outputting a corresponding measurement result, • determining the relative alignment and/or the relative position from the measurement result.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen einer Relativposition von relativ zueinander beweglichen Bauteilen (31, 34a; 31, 35; 36, 34a; 38, 41 b) einer Vorrichtung (30), insbesondere eines Koordinatenmessgerätes oder einer Werkzeugmaschine, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: • Bestrahlen eines Etalons (1; 12; 14), d.h. eines Interferometers mit Reflektoren (H, L) zum Reflektieren elektromagnetischer Strahlung, dessen Reflektoren (H, L) einen optischen Resonator bilden, mit einer elektromagnetischen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

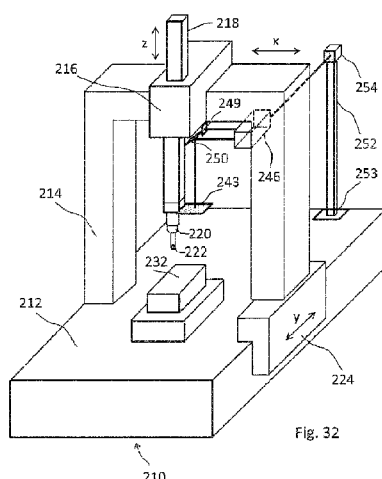


Fig. 32



SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Messen der relativen Ausrichtung und/oder relativen Lage von zueinander beweglichen Bauteilen einer Vorrichtung, insbesondere eines Koordinatenmessgerätes

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen einer Relativposition von relativ zueinander beweglichen Bauteilen einer Vorrichtung, insbesondere eines Koordinatenmessgerätes oder einer Werkzeugmaschine, wobei ein erstes Bauteil und ein zweites Bauteil der Vorrichtung derart relativ zueinander beweglich sind, dass sich mit der Bewegung eine relative Ausrichtung (insbesondere ein Drehwinkel) und/oder eine relative Lage (insbesondere ein Abstand) des ersten und zweiten Bauteils ändert. Die Erfindung betrifft ferner eine Anordnung zum Messen einer Relativposition von relativ zueinander beweglichen Bauteilen einer Vorrichtung, die wie zuvor beschrieben relativ zueinander bewegliche erste und zweite Bauteile aufweist. Auch betrifft die Erfindung ein Koordinatenmessgerät mit einer derartigen Anordnung oder mit einer Mehrzahl derartiger Anordnungen. Außerdem betrifft die Erfindung einen Sensor für ein Koordinatenmessgerät mit einer derartigen Anordnung, wobei der Sensor ausgestaltet ist, mit einem mechanisch abtastenden Taster zum Abtasten eines zu vermessenden Werkstücks gekoppelt zu werden, sodass das erste Bauteil und das zweite Bauteil beim Abtasten des Werkstücks relativ zueinander bewegt werden.

Insbesondere in der Koordinatenmesstechnik kommen sehr kleine translatorische Bewegungen und sehr kleine Drehbewegungen vor. Es ist auch möglich, dass eine Drehbewegung mit sehr kleinem Drehwinkel einer translatorischen Bewegung überlagert ist. Z.B. bei Federparallelogrammen können im Verbindungsbereich zwischen zwei Elementen, die über das Federparallelogramm beweglich miteinander verbunden sind, solche überlagerten Bewegungen auftreten. Die Erfindung betrifft insbesondere das Messen von relativen Bewegungen, bei denen die relativ zueinander beweglichen Bauteile ihre relative Ausrichtung ändern, unabhängig davon, ob es sich um eine reine Drehbewegung oder um eine überlagerte rotatorische (d.h. Dreh-) und translatorische (d.h. geradlinige) Bewegung handelt. Die Erfindung betrifft aber auch die Messung ausschließlich translatorischer Bewegungen.

Kleine Änderungen der relativen Ausrichtung z.B. im Bereich von wenigen Winkelsekunden kommen insbesondere bei Sensoren oder anderen beweglichen Teilen für Koordinatenmessgeräte vor. Dabei können die relativen Bewegungen der Bauteile erwünschte Bewegungen sein, die z.B. beim Antasten eines zu vermessenden Werkstücks mittels eines mechanischen Tasters vorkommen, der die Oberfläche des

Werkstücks berührt. Bei den Bewegungen kann es sich alternativ oder zusätzlich um unerwünschte Bewegungen handeln, die z.B. beim Verbiegen eines Bauteils (etwa eines beweglichen Arms eines Koordinatenmessgeräts) unter mechanischer Last oder aufgrund von Temperaturschwankungen vorkommen. In der Koordinatenmesstechnik, aber auch bei anderen Präzisionsmaschinen und Präzisionsgeräten ist die Kenntnis über beide Arten von Bewegungen von Vorteil oder sogar erforderlich, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Im Fall eines Koordinatenmessgeräts ist das Ziel eine präzise Vermessung von Werkstücken.

Zur Messung von kleinen translatorischen und rotatorischen Bewegungen ist es im Bereich der Koordinatenmesstechnik bekannt, Sensoren und Kombinationen von Sensoren unterschiedlicher Art einzusetzen. Z.B. handelt es sich bei den Sensoren um Magnetfeldsensoren, kapazitive Sensoren und/oder induktive Sensoren. Auch optische Sensoren sind bereits vorgeschlagen worden, die jedoch z.B. bei Anwendung des Triangulationsprinzips verhältnismäßig großen Bauraum benötigen und wegen der erforderlichen mechanischen Stabilität meist auch eine große Masse besitzen. Für viele Anwendungen im Bereich der Koordinatenmesstechnik wird jedoch eine geringe Masse angestrebt und steht wenig Bauraum zur Verfügung.

Insbesondere bei Koordinatenmessgeräten besteht jedoch nicht nur ein Interesse an der Messung von Drehbewegungen, sondern auch an der Messung von geradlinigen Bewegungen entlang einer Linearachse oder an der Messung mehrerer solcher Linearbewegungen. Vorhandene Messanordnungen benötigen ebenfalls verhältnismäßig viel Bauraum. Z.B. werden Inkrementalmaßstäbe vorgesehen, die von einem an dem anderen Teil angeordneten Lesekopf abgelesen werden. Der Lesekopf benötigt über den gesamten Bewegungsbereich der Linearbewegung Bewegungsraum oder er muss so angeordnet werden, dass sich das andere Teil über den gesamten Bewegungsbereich an ihm vorbeibewegen kann. Wenn mehrere Linearbewegungen gemessen werden sollen, wie es z.B. bei einem Koordinatenmessgerät in Portalbauweise oder Gantry-Bauweise der Fall ist, besteht bei sich über den Bewegungsbereich erstreckenden Maßstäben ferner das Problem, dass die Ablesung der Maßstäbe an verschiedenen Orten stattfinden muss und die Ausrichtung der Messorte relativ zueinander unbeabsichtigt variieren kann, z.B. durch eine unbeabsichtigte Torsion eines der Bauteile während der Linearbewegung.

US 7,330,246 B2 beschreibt ein Neigungsmessgerät zum Überwachen der Winkelverschiebung in einem einfallenden Signal. Das Neigungsmessgerät weist einen

Resonator auf zum Empfangen eines einfallenden Signals von einem Signalübertrager und zum Ausgeben eines resonierten Signals. Der Einfallswinkel existiert zwischen einer Ebene, die senkrecht zu dem Resonator und dem einfallenden Signal verläuft. Es ist ein Sensor vorgesehen, um das resonierte Signal zu detektieren. Ein Prozessor, der mit dem Sensor verbunden ist, vergleicht Intensitäten des einfallenden Signals und des resonierten Signals. Basierend auf dem Vergleich bestimmt der Prozessor, ob und um wie viel sich der Einfallswinkel geändert hat.

US 4,969,744 beschreibt eine planparallele Platte, auf die kohärentes Licht von einem Laser eingestrahlt wird. Auf einen Schirm wird ein Interferenzmuster beobachtet und auf einen Mehrkanaldetektor abgebildet, der eine Position definiert. Das Interferenzmuster bewegt sich, wenn die Platte um ihre Achse gedreht wird. Auf diese Weise ist ein hochempfindliches Messgerät vorgesehen, mit dem Messungen bis zu Bruchteilen einer Bogensekunde durchgeführt werden können.

US 7,187,447 B1 beschreibt einen gestuften Etalon, der eine obere Oberfläche und zwei untere Oberflächen hat, die parallel zu der oberen Oberfläche verlaufen und jeweils in einem unterschiedlichen Abstand von der oberen Oberfläche positioniert sind. Jede untere Oberfläche hat eine Kante, wobei die Kanten einander gegenüber stehen und eine geneigte Stufe zwischen den beiden Kanten positioniert ist, sodass Strahlung von einem Lichtstrahl, der auf die obere Oberfläche projiziert wird, die Stufe bei einem Brewster-Winkel schneidet und durch der Etalon ohne irgendwelche Rückreflexion in dem Etalon hindurchtritt.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Messen einer Relativposition von zwei relativ zueinander beweglichen Bauteilen anzugeben, insbesondere Bauteilen eines Koordinatenmessgerätes oder einer Werkzeugmaschine, wobei für die Messung wenig Bauraum erforderlich sein soll. Insbesondere sollen rotatorische Bewegungen und Bewegungskomponenten unabhängig von etwaigen translatorischen Bewegungen und Bewegungskomponenten messbar sein. Es sollen aber alternativ translatorische Bewegungen (z. B. bei einer Abstandsmessung) messbar sein. Es ist eine weitere Aufgabe, eine Anordnung zum Messen einer Relativposition der beiden Bauteile anzugeben, mit der das Verfahren realisiert werden kann. Ferner ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein Koordinatenmessgerät mit der Messeanordnung anzugeben und einen Sensor für ein Koordinatenmessgerät anzugeben, der zumindest Teile der Anordnung aufweist.

Gemäß einem Grundgedanken der vorliegenden Erfindung wird ein Etalon verwendet, d.h. ein Interferometer mit Reflektoren zum Reflektieren elektromagnetischer Strahlung, dessen Reflektoren einen optischen Resonator bilden. Beispiele für Etalons sind die aus dem Stand der Technik an sich bekannten Etalons, insbesondere ein Festkörper-Etalon mit einem transparenten, an gegenüberliegenden Seiten mit den Reflektoren ausgestatteten Material, ein Fabry-Perot-Interferometer, ein scannendes Fabry-Perot-Interferometer, ein Mach-Zehnder-Interferometer, ein Twyman-Green-Interferometer oder ein Sagnac-Interferometer. Gemeinsam ist den Interferometern, dass die Reflektoren einen optischen Resonator bilden, d.h. durch mehrfache Reflexion der elektromagnetischen Strahlung an den Reflektoren wird die einfallende elektromagnetische Strahlung in Bezug auf ihre Wellenlänge oder Frequenz gefiltert und die aus dem Etalon austretende elektromagnetische Strahlung weist bei Wellenlängen, die die Resonanzbedingung erfüllen, Maxima der Strahlungsintensität auf. Je nach Güte des Etalons können die Maxima sehr stark ausgeprägt sein, d.h. in Wellenlängenbereichen zwischen zwei benachbarten Maxima ist die Strahlungsintensität der austretenden Strahlung sehr klein. Dieses Verhalten kann insbesondere durch den Transmissionsgrad als Funktion entweder der Wellenlänge oder der Frequenz der elektromagnetischen Strahlung beschrieben werden. Unter Transmission wird insbesondere der Prozess verstanden, bei dem elektromagnetische Strahlung auf den Etalon einfällt, von den Reflektoren des Etalons mehrfach reflektiert wird und in Transmissionsrichtung wieder aus dem Etalon austritt. Der Transmissionsgrad ist der Anteil der auf den Etalon auftreffenden und in diesen eintretenden elektromagnetischen Strahlung, der wieder aus dem Etalon austritt, oder auf eine bestimmte Weise aus dem Etalon austritt, z.B. an einer definierten Stelle des Etalons wieder austritt. Alternativ kann der Transmissionsgrad nicht auf die in den Etalon eintretende elektromagnetische Strahlung bezogen werden, sondern auf die von einer Strahlungsquelle erzeugte elektromagnetische Strahlung oder auf die auf den Etalon auftreffende (d.h. einfallende) Strahlung. Alternativ oder zusätzlich kann die in Reflexionsrichtung aus dem Etalon austretende Strahlung ausgewertet werden. Der Reflexionsgrad und der Transmissionsgrad hängen über die Energiebilanz miteinander zusammen: die insgesamt auf den Etalon eingestrahlte Strahlung wird entweder reflektiert, transmittiert oder absorbiert. Die Summe aus Transmissionsgrad, Reflexionsgrad und Absorptionsgrad ist daher eins, und zwar für jeden gegebenenfalls vorhandenen Strahlungsanteil mit unterschiedlicher Polarisierung und für jede Wellenlänge.

Die hochauflösende Messung von Neigungswinkeln, d.h. von Ausrichtungen, und auch von translatorischen Positionen und Bewegungen unter Verwendung von Etalons ist an sich bekannt. Z.B. werden Glas-Substrate oder andere für die elektromagnetische Strahlung transparente Substrate mit ebenen Randflächen hoher Güte verwendet, wobei die Endflächen mit reflektierenden Schichten versehen sind. Je höher der Reflexionsgrad der reflektierenden Schichten ist, umso höher sind die Finesse des Etalons und damit das Auflösungsvermögen. Bei der Auswertung der Messung wird die Lage der Transmissionsmaxima der aus dem Etalon austretenden Strahlung bestimmt. Üblicherweise werden zur Messung der Transmissionsmaxima ein- oder zweidimensionale Felder von Detektoren (d.h. ortsauflösende Detektorfelder) verwendet, die für die elektromagnetische Strahlung empfindlich sind und das örtliche Maximum der Strahlung messen.

Im Unterschied zu den an sich bekannten Etalons schlägt die Erfindung vor, einen oder mehrere Etalons zu verwenden, dessen/deren Transmissionsgrad als Funktion der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung zwischen zwei benachbarten (d.h. zwei aufeinanderfolgenden Maxima) einen ersten Wellenlängenbereich aufweist, in dem der Transmissionsgrad stetig ansteigt oder stetig abfällt, und sich insbesondere über einen Bereich von mehr als 50 % des Wellenlängenabstandes der beiden benachbarten Maxima erstreckt. In dem ersten Wellenlängenbereich steigt der Transmissionsgrad entweder stetig an oder er fällt stetig ab, je nach Ausgestaltung des Etalons. Die Formulierung "oder" ist daher nicht so zu verstehen, dass in dem ersten Wellenlängenbereich sowohl ein stetiger Anstieg als auch ein stetiger Abfall des Transmissionsgrades stattfindet. Dies schließt nicht aus, dass es zwischen den zwei benachbarten Maxima des Transmissionsgrades außerdem zumindest einen zweiten Wellenlängenbereich gibt, in dem der Transmissionsgrad sich entgegengesetzt verhält, d.h. z.B. bei einem stetigen Anstieg in dem ersten Wellenlängenbereich kann der Transmissionsgrad in dem zweiten Wellenlängenbereich stetig abfallen. Der erste Wellenlängenbereich ist jedoch insbesondere größer als der zweite Wellenlängenbereich. Am Rand eines der beiden Maxima muss es sogar einen solchen zweiten Wellenlängenbereich geben, in dem sich der Transmissionsgrad anders verhält als in dem großen, ersten Wellenlängenbereich.

Insbesondere erstreckt sich der erste Wellenlängenbereich, in dem der Transmissionsgrad entweder stetig ansteigt oder stetig abfällt, über die Mitte des Wellenlängenabstandes der beiden benachbarten Maxima hinaus. Unter der Mitte des

Wellenlängenabstandes ist das arithmetische Mittel der Wellenlängen bei den aufeinanderfolgenden, benachbarten Maxima zu verstehen. Vorzugsweise ist der stetige Anstieg oder der stetige Abfall des Transmissionsgrades in dem ersten Wellenlängenbereich linear oder näherungsweise linear, d.h. der Transmissionsgrad als Funktion der Wellenlänge oder Frequenz ist eine Gerade (d.h. mit konstanter Steigung) oder näherungsweise eine Gerade, wobei die Steigung je nach Ausgestaltung des Etalons auch negativ sein kann. Unter "näherungsweise" wird verstanden, dass die Steigung über den Verlauf des Transmissionsgrades in dem jeweiligen Bereich der Wellenlänge oder Frequenz als konstant angenommen wird und der daraus resultierende Fehler der Bestimmung der relativen Ausrichtung der beiden Teile unter 10 %, vorzugsweise unter 5 % und insbesondere unter 3 % liegt.

Bevorzugtermaßen wird die beschriebene Eigenschaft des verwendeten Etalons dadurch erreicht, dass der Etalon zusätzlich zu den Reflektoren zumindest einen Strahlungsabsorber aus elektrisch leitfähigem Material aufweist, durch den elektromagnetische Strahlung, welche innerhalb des Etalons von den Reflektoren reflektiert wird, hindurchtritt und dabei teilweise absorbiert wird. Die Absorption verändert insbesondere die Phase der hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung. Der Strahlungsabsorber kann außerdem als Strahlungsreflektor wirken. Sowohl der Absorptionsgrad als auch der Reflexionsgrad sind in dem ersten Wellenlängenbereich selbstverständlich kleiner als Eins. Andernfalls würde das beschriebene Verhalten des Transmissionsgrades als Funktion der Wellenlänge bzw. Frequenz nicht erreicht. Der Absorber absorbiert einen Teil der durch ihn hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung und führt zu einem asymmetrischen Verlauf des Transmissionsgrades zwischen aufeinanderfolgenden, benachbarten Transmissionsmaxima als Funktion der Wellenlänge oder Frequenz. Bei konventionellen Etalons dagegen ist dieser Verlauf symmetrisch bezüglich der Mitte des Abstandes der Maxima.

Bei dem elektrisch leitfähigen Material kann es sich insbesondere um Metall handeln. Außer Gold können auch andere Metalle verwendet werden, insbesondere solche Metalle wie Tantal und Niob, die auch zur Herstellung nicht elektrisch leitfähiger Schichten mit hohem und niedrigem Brechungsindex zur Herstellung der einander gegenüberstehenden Reflektoren des Etalons (siehe unten) verwendet werden können. Allerdings werden diese Metalle dann lediglich Teile einer Verbindung mit anderen Elementen als nicht elektrisch leitfähige Schicht. Wenn diese Metalle wie Tantal und Niob bereits in der Herstellungsanlage vorhanden sind, z.B. der Aufdampf- und/oder Sputteranlage, und

sowohl für die Herstellung der zumindest einen elektrisch leitfähigen Schicht als auch der elektrisch nicht leitfähigen Schichten verwendet werden, ist der Herstellungsaufwand zur Herstellung des Etalons verringert. Dies ist insbesondere in Sputteranlagen von Vorteil, mit denen einerseits dünne Schichten mit besonders präzisen Abmessungen und homogenen Materialeigenschaften herstellbar sind, von denen aber auch größere Targets aus dem jeweiligen Material z.B. im Bereich einer Target-Masse von 1 kg benötigt werden. Selbstverständlich können die mehreren Schichten desselben Etalons aber auch nacheinander in verschiedenen Anlagen hergestellt werden und z.B. schichtweise entweder aufgesputtert und aufgedampft werden.

In manchen Fällen ist es erforderlich, auf ein Substrat oder auf eine bereits auf einem Substrat hergestellte Schicht zunächst eine Haftschrift aufzubringen, bevor das elektrisch leitfähige Material insbesondere aus Metall aufgebracht wird. Auch zur Herstellung der Reflektoren des Etalons kann es erforderlich sein, dass zunächst entweder die elektrisch nicht leitfähige Schicht mit hohem Brechungsindex oder mit niedrigem Brechungsindex aufgebracht sein muss, bevor weitere Schichten aufgebracht werden. Dies ist insbesondere dann zu berücksichtigen, wenn auch eine $\lambda/2$ -Schicht aufzubringen ist (siehe unten).

Insbesondere wird zumindest einer von zwei einander gegenüberstehenden Reflektoren des Etalons mit einem Absorber versehen, insbesondere mit einer Absorptionsschicht. Bei den einander gegenüberstehenden Reflektoren handelt es sich um Reflektoren, zwischen denen die elektromagnetische Strahlung hin und her reflektiert wird. Der Absorber befindet sich im Strahlengang vor dem Ort des Reflektors, über den die elektromagnetische Strahlung nicht oder lediglich mit einem geringen Anteil der Strahlungsintensität hinauskommt, wenn sie von dem Reflektor reflektiert wird. Z.B. bei einer üblichen Ausgestaltung eines Reflektors mittels einer Mehrzahl von nicht elektrisch leitenden Schichten, die unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen, bildet die zusätzliche Absorptionsschicht aus elektrisch leitfähigem Material daher nicht die im Strahlengang letzte Schicht des Schichtsystems am Reflektor. Vielmehr ist die Schicht aus elektrisch leitfähigem Material vorzugsweise die erste Schicht des Schichtsystems, d.h. die auf den Reflektor einfallende elektromagnetische Strahlung tritt zuerst durch die Schicht aus elektrisch leitfähigem Material hindurch, bevor sie von den im Strahlengang dahinter liegenden Schichten des Reflektors reflektiert wird.

Dem entspricht ein allgemeiner Grundgedanke einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, wonach zumindest einer der Reflektoren des Etalons durch zumindest zwei elektrisch nicht leitende, dielektrische Materialien mit unterschiedlichem Brechungsindex gebildet wird und auf der einem anderen Reflektor zugewandten Seite des Reflektors eine Schicht aus elektrisch leitfähigem Material (insbesondere einem Metall oder einer Metall-Legierung) aufweist, sodass die auf den Reflektor auftreffende elektromagnetische Strahlung durch die elektrisch leitende Schicht hindurchtreten muss, um von dem Reflektor reflektiert zu werden.

Insbesondere kann die Schicht aus elektrisch leitfähigem Material aus mehreren Teilschichten bestehen, die jeweils aus elektrisch leitfähigem Material bestehen oder von denen zumindest eine Schicht elektrisch leitfähig ist. Es ist daher insbesondere möglich, dass die elektrisch leitfähige Schicht von einer Abdeckschicht aus nicht elektrisch leitfähigem Material abgedeckt ist. Die elektromagnetische Strahlung, die auf den Reflektor einfällt, tritt in diesem Fall zunächst durch die Abdeckschicht und erst dann durch die elektrisch leitfähige Schicht oder die elektrischen leitfähigen Schichten hindurch.

Bei zwei einander gegenüberstehenden Reflektoren des Etalons können auch beide Reflektoren zumindest eine Schicht aus elektrisch leitfähigem Material, insbesondere in der zuvor beschriebenen Weise, aufweisen. Insbesondere unterscheiden sich dabei die optischen Eigenschaften (insbesondere der Absorptionsgrad und damit auch der Transmissionsgrad) der elektrisch leitfähigen Schichten an den einander gegenüberliegenden Reflektoren. Z.B. können an den gegenüberliegenden Reflektoren unterschiedlich dicke Schichten desselben elektrisch leitfähigen Materials verwendet werden. Die optischen Eigenschaften der Schichtsysteme an den Reflektoren können insbesondere nach der so genannten Matrix-Methode berechnet werden. Allgemeiner formuliert können die Wirkungen der Schichtsysteme vor der Realisierung bezüglich ihrer optischen Eigenschaften simuliert werden und kann durch Variation der Schichtdicken und/oder Schichtmaterialien und/oder Anzahl der Schichten ein Schichtsystem mit gewünschten oder geeigneten optischen Eigenschaften gefunden werden. Unter einem Schichtsystem wird eine Anordnung aneinander liegender Schichten verstanden. Die Schichtoberflächen der verschiedenen Schichten des Schichtsystems verlaufen parallel zueinander oder zumindest annähernd parallel zueinander. In einem einfachen Fall besteht ein Schichtsystem z.B. aus einer nicht elektrisch leitfähigen Schicht mit hohem Brechungsindex (im Folgenden mit H abgekürzt), einer darauf angeordneten nicht elektrisch leitfähigen Schicht mit niedrigem Brechungsindex (im Folgenden mit L

abgekürzt) und einer darauf angeordneten elektrisch leitfähigen Schicht (im Folgenden mit M abgekürzt), sodass sich ein Schichtaufbau des Schichtsystems ergibt, der mit der Buchstabenfolge HLM beschrieben werden kann, wobei die Reihenfolge der Buchstaben die Reihenfolge der einander benachbarten Schichten wiedergibt. Die Schicht M ist dabei die dem anderen oder den anderen Reflektoren des Etalons zugewandte Schicht, auf die die auf den Reflektor einfallende Strahlung zuerst auftrifft. Insbesondere kann sich auch abgesehen von der zusätzlichen elektrisch leitfähigen Schicht der Schichtaufbau der verschiedenen Reflektoren des Etalons unterscheiden. Z.B. weist einer der Reflektoren eine größere Anzahl von nicht elektrisch leitenden Schichten auf als zumindest ein anderer Reflektor, z.B. der gegenüberliegende Reflektor.

Insbesondere wechseln sich die nicht elektrisch leitenden Schichten alternierend bezüglich der Größe ihres Brechungsindex ab. Der alternierende Aufbau eines Reflektors mit mehreren nicht elektrisch leitenden Schichten kann daher z.B. durch HLHLHLH beschrieben werden, d.h. er weist sieben nicht elektrisch leitende Schichten auf. Z.B. können als nicht elektrisch leitende Schicht mit hohem Brechungsindex eine Titandioxidschicht (Brechungsindex ungefähr 2,44) und als nicht elektrisch leitende Schicht mit niedrigem Brechungsindex eine Siliziumdioxidschicht (Brechungsindex ungefähr 1,38) mit jeweils einer Schichtdicke von einem Viertel einer Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung verwendet werden, die vorwiegend verwendet werden soll. Z.B. kann diese Wellenlänge im sichtbaren Bereich bei 585 nm liegen. Derartige nicht elektrisch leitende, nämlich dielektrische, Schichten haben den Vorteil, dass die Reflexion der elektromagnetischen Strahlung nahezu verlustfrei stattfindet, d.h. es findet nahezu keinerlei Absorption in dem Reflektor statt. Allerdings findet bei dem Schichtsystem gemäß der vorliegenden Erfindung, das eine zusätzliche Schicht aus elektrisch leitfähigem Material aufweist, eine Absorption statt.

Insbesondere kann die Schichtdicke (die Richtung, in der die Dicke gemessen wird, fällt mit der Richtung zusammen, in der die elektromagnetische Strahlung durch die Schicht hindurchtritt, oder verläuft zumindest annähernd parallel oder unter geringen Neigungswinkeln insbesondere kleiner als 10° zur Ausbreitungsrichtung der Strahlung) der Schicht aus elektrisch leitfähigem Material so gewählt werden, dass der Transmissionsgrad zwischen zwei benachbarten Maxima einen gewünschten stetig ansteigenden oder stetig abfallenden Verlauf innerhalb des ersten Wellenlängenbereichs hat. Bei geringer Schichtdicke im Bereich weniger Atomlagen, so dass sich insbesondere die dünnst mögliche homogen deckende Schicht ergibt (d.h. typischer Weise eine

Schichtdicke von wenigen Nanometern), der elektrisch leitenden Schicht oder Schichten wird der symmetrische Verlauf des Transmissionsgrades, der ohne die zumindest eine zusätzliche elektrisch leitende Schicht gegeben wäre, zunächst nicht wesentlich verändert. Mit zunehmender Schichtdicke, die insbesondere wenige Mikrometer (z. B. 2-5 μm) bis einige 10 μm (z. B. 50 – 100 μm) betragen kann, verändert sich jedoch der Verlauf des Transmissionsgrades zwischen den benachbarten Maxima, bis von einem zwischen den Maxima liegenden Transmissionsminimum ein stetig ansteigende Verlauf in Richtung auf das weiter entfernt gelegene Maximum des Transmissionsgrades stattfindet. Dieser Verlauf kann (zum Beispiel in dem genannten Bereich von Schichtdicken) insbesondere so eingestellt werden, dass er über einen weiten ersten Wellenlängenbereich nahezu linear ist, näherungsweise (s.o.) eine konstante Steigung aufweist. Es sind jedoch auch andere Verläufe des Transmissionsgrades in dem ersten Wellenlängenbereich einstellbar. Insbesondere bei Reflektor, die eine Kombination von dielektrischen Materialien mit hohen und niedrigen Brechungsindizes aufweisen, liegt das Optimum der Schichtdicke, bei dem ein linearer Verlauf vorhanden ist, innerhalb eines schmalen Schichtdickenbereichs von wenigen Nanometern bis einigen 10 Nanometern.

Insbesondere kann der Etalon zwischen den zwei einander gegenüberstehenden Reflektoren ein Material aufweisen, das bei der mehrfachen Reflexion der elektromagnetischen Strahlung an den Reflektoren mehrfach in jeweils wechselnder Richtung durchstrahlt wird. Dieses Material wird im Folgenden als Abstandsmaterial bezeichnet, da es sich in dem Raum des Abstandes zwischen den Reflektoren befindet. Insbesondere kann das Abstandsmaterial die Reflektoren und die zumindest eine zusätzliche Absorptionsschicht aus elektrisch leitfähigem Material tragen oder zumindest mit den Reflektoren und der zumindest einen zusätzlichen Absorptionsschicht verbunden sein. Dies ist z.B. bei einem Festkörper-Etalon der Fall. Nach dem Eintritt der auf den Etalon einfallenden Strahlung durchläuft die Strahlung den Etalon daher mehrfach in den einander entgegengesetzten Richtungen, wird jeweils (zu einem Anteil) an dem jeweiligen Reflektor reflektiert und wird zu einem (insbesondere sehr kleinen) Anteil von der zumindest einen zusätzlichen Absorptionsschicht absorbiert. Dabei verlässt die Strahlung auf ihrem Weg zwischen den Reflektoren den Etalon nicht und verbleibt dabei im Fall eines Festkörper-Etalons auch ohne Unterbrechung in den Festkörper-Materialien des Etalons. Es ist jedoch auch möglich, dass das Abstandsmaterial den Raum zwischen den beiden Reflektoren nicht vollständig ausfüllt, sodass sich z.B. zwischen dem Abstandsmaterial und einem der Reflektoren ein Raum befindet, der frei von Festkörpermaterial ist. Insbesondere ist das Abstandsmaterial ein homogenes Material,

d.h. innerhalb des Abstandsmaterials sind keine Zonen mit unterschiedlichen Materialeigenschaften vorhanden. Alternativ kann das Abstandsmaterial aus Bereichen mit unterschiedlichen Materialeigenschaften bestehen, insbesondere aus Bereichen mit unterschiedlichen Brechungsindizes.

Ein Festkörper-Etalon wird z.B. hergestellt, indem auf ein Substrat, das z.B. das Abstandsmaterial oder ein Bereich des Abstandsmaterials sein kann, nacheinander die oben erwähnten Schichten aufgebracht werden, z.B. durch Aufdampfen und/oder Aufspütern. Insbesondere können auf diese Weise die Schichten der Reflektoren an den beiden einander gegenüberliegenden Seiten des Etalons hergestellt werden.

Z.B. kann das Abstandsmaterial oder ein Bereich des Abstandsmaterials ein Metamaterial sein, d.h. eine künstlich hergestellte Struktur, deren Durchlässigkeit für elektrische und magnetische Felder von der in der Natur üblichen abweicht. Auf diese Weise können für die Funktion des Etalons günstige optische Eigenschaften erzielt werden. Insbesondere kann es sich um ein Übergitter (englisch: super-lattice) handeln, d.h. um einen künstlich hergestellten Festkörper, der aus einer Abfolge von dünnen Schichten besteht, die sich z. B. periodisch wiederholen. Mit Metamaterialien und Übergittern können insbesondere der Brechungsindex oder auch die Wellenlängenabhängigkeit des Brechungsindex eingestellt werden.

Insbesondere kann das Abstandsmaterial oder ein Bereich des Abstandsmaterials elektro-optisch wirksam sein. Über eine an das Material angelegte elektrische Spannung, deren Größe einstellbar ist, kann so z.B. der Brechungsindex des Materials eingestellt werden. Dies ermöglicht z.B. die Veränderung des Brechungsindex bei gleicher oder nahezu gleicher Relativposition der beiden relativ zueinander beweglichen Teile, sodass bei unterschiedlichem Brechungsindex des Abstandsmaterials und damit bei unterschiedlicher optischer Dicke des Etalons gemessen werden kann. Dies ermöglicht insbesondere eine Verringerung der Messunsicherheit für die Bestimmung der Relativposition aus den Messsignalen. Alternativ oder zusätzlich kann das Messsignal durch Veränderung der optischen Eigenschaften moduliert werden (z.B. mit einer vorgegebenen Frequenz frequenzmoduliert werden), um das Signal-/Rauschverhältnis bei der Messung zu verbessern. Ferner alternativ oder zusätzlich kann die elektro-optische Eigenschaft des Abstandsmaterials dazu benutzt werden, eine doppelbrechende Wirkung des Materials einzustellen, zu verändern und/oder zu erzeugen. Z.B. kann lediglich einer von zwei Brechungsindizes des doppelbrechenden Materials, d.h. der Brechungsindex für

Strahlung mit einer bestimmten, zugeordneten Polarisationsrichtung, elektro-optisch eingestellt werden, während ein anderer oder der andere Brechungsindex des Materials (z.B. für Strahlung mit einer Polarisationsrichtung senkrecht zu der Polarisationsrichtung des anderen Brechungsindex) elektro-optisch nicht veränderbar ist oder nicht verändert wird, z.B. weil die elektrische Spannung so angelegt wird, dass nur der eine der beiden Brechungsindizes mit Veränderung der Spannung verändert wird. Es ist jedoch auch möglich, durch Verändern einer Spannung oder mehrerer elektrischer Spannungen, die an das Material angelegt werden, beide Brechungsindizes zu verändern und insbesondere das Verhältnis der beiden Brechungsindizes zueinander zu verändern. Durch die Veränderung des Verhältnisses der beiden Brechungsindizes wird daher auch das Verhältnis der optischen Dicken für die Strahlungsanteile unterschiedlicher Polarisationsrichtung verändert. Mit verändertem Verhältnis der beiden Brechungsindizes, jedoch gleicher oder annähernd gleicher Relativposition der beiden relativ zueinander beweglichen Teile, die zu messen ist, kann jeweils die Intensität der aus dem Etalon austretenden Strahlung oder ein Verhältnis dieser Intensität zu einem Vergleichswert gemessen werden. In diesem Fall können Messsignale mit gleichem Informationsgehalt oder sogar größerem Informationsgehalt bezüglich der Eindeutigkeit der Messung und/oder bezüglich der Relativposition der beiden Teile gewonnen werden, die es bei Verwendung einer Mehrzahl von Etalons mit unterschiedlichen, aber jeweils zeitlich konstanten optischen Dicken der Fall ist.

Insbesondere im Fall des erwähnten elektro-optisch wirksamen Abstandsmaterials, aber auch bei nicht elektro-optisch wirksamem Abstandsmaterial kann zumindest ein Bereich des Abstandsmaterials doppelbrechend sein, d.h. unterschiedliche Brechungsindizes für in unterschiedlichen Richtungen polarisierte Strahlung haben. Dadurch ist die optische Dicke des Etalons für die in unterschiedlicher Richtung polarisierte elektrische Strahlung verschieden, obwohl die mechanische Dicke (die z.B. als der Abstand zwischen den beiden einander gegenüberliegend angeordneten Reflektoren des Etalons definiert ist) nicht von der Polarisation abhängt. Unter einem doppelbrechenden Material wird auch ein optisch anisotropes Material verstanden, das mehr als zwei optische Achsen hat.

Grundsätzlich ist es auch denkbar, dass zumindest einer der Reflektoren des Etalons abhängig von der Polarisationsrichtung der auf ihn auftreffenden Strahlung verschieden reagiert, sodass der Transmissionsgrad des Etalons für die Strahlungsanteile unterschiedlicher Polarisationsrichtung verschieden ist. Dies wird jedoch nicht bevorzugt, stellt aber eine Variante eines Etalons mit doppelbrechender Eigenschaft dar.

Die zuvor genannten Eigenschaften und/oder Ausgestaltungen des Abstandsmaterials können bei konkreten Ausgestaltungen eines Etalons in beliebiger Kombination innerhalb desselben Etalons vorhanden sein. Insbesondere können zwei oder mehr der genannten Materialien oder Materialbereiche des Abstandsmaterials in demselben Etalon, insbesondere in demselben Festkörper-Etalon vorhanden sein, wobei die verschiedenen Materialbereiche in Abstandsrichtung der beiden Reflektoren an den entgegengesetzten Enden des Etalons z.B. hintereinander angeordnet sind.

Generell ist es vorteilhaft, wenn der Abstand zwischen den Reflektoren des Etalons möglichst klein ist. Dadurch wird das Messsignal (insbesondere die Intensität der aus dem Etalon austretenden Strahlung) genauer auswertbar. Die Grenze zu noch kleineren Abständen liegt allerdings in der Größenordnung der Wellenlänge der Messstrahlung. Wenn aber ein Abstandsmaterial eingesetzt wird, das die Strahlung abhängig von ihrer Polarisation beeinflusst (z.B. das doppelbrechende Material), wird der gewünschte Effekt der Beeinflussung der Strahlung größer mit zunehmender Schichtdicke des Materials. Insbesondere in Bezug auf doppelbrechendes Abstandsmaterial wird daher bevorzugt, hochwirksames Material einzusetzen, d.h. ein Material, das bereits bei geringen Schichtdicken die gewünschte z.B. doppelbrechende Wirkung zeigt und insbesondere einen möglichst großen Unterschied der optischen Dicke für die Anteile der Strahlung mit unterschiedlicher Polarisationsrichtung bewirkt. Aus diesem Grund werden die oben erwähnten Metamaterialien und Übergitter bevorzugt, die gegenüber natürlich vorkommenden Materialien so hergestellt werden können, dass sie optisch hochwirksam sind. Metamaterialien können z.B. lithografisch hergestellt werden. Sie eignen sich wie auch natürlich vorkommende Kristalle als Substrat für das Aufbringen weiterer Schichten des Etalons (siehe oben). Für die Praxis eignet sich z.B. Lithium-Niobat oder Lithium-Tantalat als doppelbrechendes Material. Als natürliches Material kommt Kalkspat infrage.

Der Etalon kann zumindest ein $\lambda/2$ -Element aufweisen, das Strahlung mit einer ersten Polarisationsrichtung um die Hälfte einer Wellenlänge λ gegenüber dazu senkrecht polarisierter Strahlung verzögert und dadurch eine Drehung der Polarisationsrichtung der sich innerhalb des Etalons zwischen den Reflektoren ausbreitenden Strahlung bewirkt.

Durch eine Drehung der Polarisationsrichtung um die Ausbreitungsrichtung der sich innerhalb des Etalons ausbreitenden Strahlung bzw. der wieder aus dem Etalon

austretenden Strahlung kann die aus dem Etalon austretende Strahlung für die Detektion der Intensität oder Intensitäten der Strahlung und damit für die Bestimmung der Relativposition der beiden relativ zueinander beweglichen Teile angepasst werden. Z.B. ist die aus dem Etalon austretende Strahlung auf einen polarisierenden Strahlteiler gerichtet, der abhängig von der Polarisationsrichtung der auf ihn auftreffenden Strahlung die Strahlung in unterschiedliche Ausbreitungsrichtungen aufteilt. Der oder die Strahlteiler teilt die Strahlung z.B. in zwei Anteile auf, die unterschiedlich polarisiert sind.

Um z.B. den Messaufbau entlang des Strahlungsweges bis zu dem Strahlteiler auf diesen anzupassen, kann der Etalon mit dem zumindest einen $\lambda/2$ -Element ausgestattet sein. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, außerhalb des Etalons ein $\lambda/2$ -Element zur Drehung der Polarisationsrichtung vorzusehen. Z.B. kann eine Drehung der Polarisationsrichtung von Vorteil sein, wenn Umlenkungen im Ausbreitungsweg der Strahlung nicht exakt in einer gewünschten Weise realisiert sind, z.B. Umlenkungen des Strahlungsweges über Reflektoren nicht exakt rechtwinklig sind. Alternativ oder Zusätzlich kann durch die Drehung der Polarisationsrichtung die Messanordnung auf die Vorrichtung angepasst werden, die die beiden Teile aufweist, deren Relativposition gemessen werden soll.

Insbesondere kann das $\lambda/2$ -Element außerhalb des Abstandsbereiches zwischen den zwei einander gegenüber liegenden Reflektoren des Etalons angeordnet sein. In diesem Fall kann bei der Herstellung des Etalons zunächst das $\lambda/2$ -Element hergestellt werden oder ein bereits vorhandenes $\lambda/2$ -Element verwendet werden und das $\lambda/2$ -Element als Substrat für die Aufbringung weiterer Schichten des Etalons verwendet werden. Es können auch mehr als eine $\lambda/2$ -Schicht bzw. entsprechende Elemente als Teil des Etalons vorgesehen sein, z.B. zur Drehung der Polarisationsrichtung von Strahlung unterschiedlicher Wellenlänge oder zur mehrfachen Drehung von Strahlung derselben Wellenlänge.

Die Drehung des Polarisationszustandes um die Ausbreitungsrichtung der Strahlung kann gemäß dem Faraday-Effekt bewirkt werden. Beim Betrieb des $\lambda/2$ -Elements, insbesondere eines Etalons mit einem solchen Material, wird daher ein Magnet, insbesondere ein Elektromagnet, verwendet, der in dem genannten Material den Faraday-Effekt bewirkt.

Zur Messung der relativen Lage des ersten und zweiten Bauteils, die relativ zueinander in einer geradlinigen Richtung beweglich sind, wird vorgeschlagen, zirkular polarisierte Strahlung zu verwenden. Die zirkular polarisierte Strahlung durchläuft die Messstrecke. Wenn sich daher die Länge der Messstrecke und damit der Abstand zwischen den beiden Bauteilen ändert, dann ändert sich auch der Polarisationszustand der Strahlung am Ende der Messstrecke. Der Polarisationszustand kann durch das Verhältnis der Anteile der Strahlung mit unterschiedlichen, senkrecht zueinander stehenden Polarisationsrichtungen beschrieben werden.

Vorzugsweise wird die zirkular polarisierte Strahlung, die die Messstrecke durchlaufen hat, auf ein doppelbrechendes Etalon eingestrahlt. Aufgrund der doppelbrechenden Eigenschaft des Etalons ist der Transmissionsgrad des Etalons für die beiden Strahlungsanteile der zirkular polarisierten Strahlung, die senkrecht zueinander stehende Polarisationsrichtungen haben, verschieden, da die optische Dicke des Etalons für die Strahlungsanteile verschieden ist. Da ferner der Polarisationszustand der zirkular polarisierten Strahlung, d.h. die Intensitäten oder das Intensitätsverhältnis der beiden Strahlungsanteile der zirkular polarisierten Strahlung, beim Auftreffen auf den Etalon variieren, variieren folglich dementsprechend auch die Intensitäten oder Verhältnisse der Intensitäten der beiden Strahlungsanteile der zirkular polarisierten Strahlung, die wieder aus dem Etalon austritt. Wenn nun der Polarisationszustand der auf den Etalon einfallenden Strahlung von der Relativposition und insbesondere ausschließlich von der relativen Lage (d.h. dem Abstand) der beiden relativ zueinander beweglichen Teile abhängt, kann aufgrund der doppelbrechenden Eigenschaften des Etalons die Relativposition der beiden Teile gemessen werden. Insbesondere bei einer Abstandsmessung bestimmt der Abstand der Bauteile, mit welchem Polarisationszustand die Strahlung auf den Etalon einfällt. Wird der Abstand vergrößert oder verkleinert, muss die zirkular polarisierte Strahlung eine entsprechend längere oder kürzere Messstrecke durchlaufen, so dass die Intensitäten oder das Intensitätsverhältnis der beiden Strahlungsanteile der zirkular polarisierten Strahlung entsprechend verändert ist.

Es wird daher vorgeschlagen, den Ausbreitungsweg der zirkular polarisierten Strahlung bis zum Auftreffen auf den Etalon eindeutig abhängig von der Relativposition, insbesondere der relativen Lage, der beiden relativ zueinander beweglichen Teile zu machen und durch Auswertung der unterschiedlichen Wechselwirkung des doppelbrechenden Etalons mit den Strahlungsanteilen der beiden Polarisationsrichtungen des zirkular polarisierten Lichts die Relativposition zu bestimmen.

Der Verwendung eines doppelbrechenden Etalons ist die Verwendung zweier oder mehrerer Etalons mit verschiedener optischer Dicke äquivalent, wenn die Strahlungsanteile mit unterschiedlicher Polarisationsrichtung vor oder nach dem Auftreffen auf die Etalons ganz oder teilweise voneinander getrennt werden (zum Beispiel durch einen oder mehrere Strahlteiler). Insbesondere kann auf jeden der Etalons i) ausschließlich einer der Strahlungsanteile oder ii) überwiegend einer der Strahlungsanteile oder iii) können die Strahlungsanteile mit einem anderen Intensitätsverhältnis als in der Messstrahlung eingestrahlt werden. Auch in diesen Fällen wirken sich die unterschiedlichen optischen Dicken der Etalons in unterschiedlicher Weise auf die einzelnen Strahlungsanteile aus. Da die optische Dicke insbesondere den freien Spektralbereich des Etalons (s.u.) bestimmt, ist die Wirkung der verschiedenen Etalons auf die verschiedenen Strahlungsanteile unterschiedlich. Man kann daher wie bei einem doppelbrechenden Etalon die Intensität der aus dem Etalon bzw. aus den Etalons austretenden Strahlung messen und daraus die Messgröße, zum Beispiel den Abstand der beiden Bauteile, bestimmen.

Es kann davon gesprochen werden, dass der doppelbrechende Etalon bzw. die Etalons mit verschiedener optischer Dicke die Intensität der auftreffenden Messstrahlung abhängig von Ihrem Polarisationszustand moduliert/modulieren und damit den Polarisationszustand messbar macht/machen. Da der Polarisationszustand - bei entsprechenden Messaufbau - wiederum ein Maß für die relative Position (insbesondere die relative Lage) der Bauteile ist, ermöglicht der doppelbrechende Etalon bzw. ermöglichen die Etalons mit verschiedener optischer Dicke die Messung der relativen Position.

Selbstverständlich kann auch eine Kombination zumindest eines doppelbrechenden Etalons mit zumindest einem nicht doppelbrechenden Etalon verwendet werden, wobei vorzugsweise die unterschiedlich polarisierten Strahlungsanteile der Messstrahlung vor dem Auftreffen auf den nicht doppelbrechenden Etalon oder auf zumindest einen der nicht doppelbrechenden Etalons ganz oder teilweise voneinander getrennt werden. Es kann auch eine Mehrzahl doppelbrechender Etalons (und insbesondere ausschließlich doppelbrechende Etalons) verwendet werden, wobei die verschiedenen Etalons unterschiedliche optische Dicken für zumindest einen der Strahlungsanteile haben.

In einer möglichen, vereinfachten Ausgestaltung wird lediglich einer der unterschiedlich polarisierten Strahlungsanteile auf einen oder mehrere Etalons eingestrahlt und die Intensität des wieder aus dem Etalon oder den Etalons austretenden Strahlungsanteils gemessen. Zum Beispiel wird dieser Strahlungsanteil aus der zirkular polarisierten Strahlung, welche die Messstrecke durchlaufen hat, durch einen Polarisationsfilter erzeugt, der lediglich diesen Strahlungsanteil passieren lässt oder lediglich diesen Strahlungsanteil umlenkt (zum Beispiel reflektiert). Da aber der Messbereich, in dem die Messgröße eindeutig erfasst werden kann, kleiner ist, wird diese vereinfachte Ausgestaltung nicht bevorzugt. Die Messung der Intensitäten der verschiedenen Strahlungsanteile unter Verwendung einer Etalon-Messeanordnung mit mehreren optischen Dicken ergibt zumindest redundante Messinformationen und erhöht somit die Messsicherheit oder vergrößert sogar den Eindeutigkeitsbereich.

In der weiteren Beschreibung wird vielfach von einem Etalon gesprochen und nicht jedes Mal darauf hingewiesen, dass alternativ (insbesondere alternativ zu einem doppelbrechendem Etalon) wie oben beschrieben eine Mehrzahl von Etalons verwendet werden kann. Die Beschreibung gilt aber auch entsprechend für den Fall mehrerer Etalons.

Bei der Abstandsmessung kann es zu Veränderungen des Abstandes der beiden relativ zueinander beweglichen Teile über einen großen Bereich kommen. Um eine Veränderung des Abstandes zu messen, können die Messsignale, die die aus dem Etalon austretende Strahlung bewirkt, fortlaufend über den Zeitraum ausgewertet werden, in dem sich der Abstand ändert. Dabei werden insbesondere sich periodisch wiederholende Maxima und Minima der Intensitäten der unterschiedlich polarisierten Anteile der austretenden Strahlung beobachtet. Durch Zählung der Maxima und/oder Minima kann ähnlich wie bei einem Inkrementalmaßstab ermittelt werden, um welchen Betrag sich der Abstand der beiden Bauteile verändert hat.

Gemäß einem weiteren Grundgedanken der vorliegenden Erfindung wird auf den zumindest einen Etalon nicht wie üblich ein breites Spektrum elektromagnetischer Strahlung eingestrahlt, sondern wird vorzugsweise elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen bzw. Frequenzen in einem schmalen Spektralbereich eingestrahlt. Der entsprechende schmale Wellenlängenbereich wird im Folgenden als dritter Wellenlängenbereich bezeichnet. Insbesondere weist die elektromagnetische Strahlung, die auf den Etalon einfällt, ausschließlich Wellenlängen auf, die innerhalb des dritten

Wellenlängenbereichs liegen, der mindestens um einen Faktor 10, insbesondere mindestens um einen Faktor 100 und z. B. bis zu einem Faktor 1000 oder sogar mehr als 1000 schmaler ist als der erste Wellenlängenbereich, in dem der Transmissionsgrad zwischen den benachbarten Transmissionsmaxima stetig zunimmt oder stetig abfällt. Um einen Faktor 10 (bzw. 100 oder 1000) schmaler bedeutet, dass der schmalere, dritte Wellenlängenbereich um diesen Faktor zu multiplizieren ist, um die Breite des ersten, breiteren Wellenlängenbereichs zu erhalten. Vorzugsweise wird elektromagnetische Strahlung von zumindest einem Laser als Strahlungsquelle erzeugt und auf den Etalon eingestrahlt. Es wird bevorzugt, dass der zumindest eine Laser linear polarisierte Strahlung erzeugt. Optional kann die Laserstrahlung zumindest auf einem Teil des Weges von der Strahlungsquelle bis zu dem Etalon durch einen Lichtleiter bzw. Strahlungs-Leiter (zum Beispiel eine optische Faser-Leitung) geleitet werden. Dies erleichtert die Integration der Anordnung in praxistaugliche Einrichtungen. Auch Anordnungen mit fasergekoppelte Lasern kommen als Strahlungsquelle in Betracht. Wenn für die Zuführung der für die Messung verwendeten Strahlung von der Lichtquelle zum Etalon zumindest auf Teilstücken Strahlungs-Leiter eingesetzt werden, wird vorzugsweise im Strahlengang zwischen dem Strahlung-Leiter und dem Etalon ein Kollimator verwendet, der die Strahlung aufweitet, so dass parallele Strahlungswege auf den Etalon treffen.

Durch Laserstrahlung können sehr schmale Spektren elektromagnetischer Strahlung erzeugt werden. Unter einem Laser wird nicht zwingend eine Strahlungsquelle verstanden, die Strahlung im sichtbaren Bereich erzeugt. Vielmehr kann die Strahlung z.B. auch im infraroten Bereich liegen.

Vorzugsweise wird die Wellenlänge der von dem Laser erzeugten elektromagnetischen Strahlung mittels einer Stabilisierungseinrichtung konstant gehalten. Z.B. kann als Stabilisierungseinrichtung eine Anordnung verwendet werden, die einen Temperatursensor zur Messung der Temperatur des Lasers und eine Kühleinrichtung (z.B. ein Peltier-Element) aufweist, wobei der Temperatursensor mit einer Temperatursteuerungseinrichtung verbunden ist, die abhängig von der von dem Temperatursensor gemessenen Temperatur die Kühleinrichtung ansteuert, um den Laser zu kühlen und so die Temperatur zu beeinflussen. Insbesondere wird die Temperatur auf einen vorgegebenen Temperaturwert geregelt. Eine Stabilisierung hat den Vorteil, dass die Wellenlänge bzw. Frequenz der auf den Etalon einfallenden elektromagnetischen Strahlung in einem besonders schmalen, vorbekannten Wellenlängenbereich liegt und daher Fehler aufgrund von Rauschen der einfallenden Strahlung minimiert werden.

Um auf die Bestimmung der Relativposition der beiden relativ zueinander beweglichen Teile durch Auswertung der unterschiedlichen Wechselwirkung eines doppelbrechenden Etalons auf die Strahlungsanteile zirkular polarisierter Strahlung mit unterschiedlicher Polarisationsrichtung zurückzukommen, wird es bevorzugt, Strahlung bei zumindest zwei verschiedenen Wellenlängen auf den Etalon einzustrahlen, wobei die Strahlung bei beiden oder bei allen Wellenlängen jeweils zirkular polarisierte Strahlung ist. Dadurch wiederholt sich der Gesamt-Polarisationszustand der zirkular polarisierten Strahlung in Ausbreitungsrichtung der Strahlung nicht oder zumindest nicht in so kurzen Abständen entlang des Ausbreitungsweges. Der entsprechende Bereich wird als Eindeutigkeitsbereich bezeichnet. In diesem Bereich von Relativpositionen der beiden relativ zueinander beweglichen Teile kann eine eindeutige Zuordnung zwischen der Relativposition und dem Gesamt-Polarisationszustand der auf den Etalon auftreffenden Strahlung hergestellt werden. Es kann daher eindeutig bestimmt werden, in welcher Relativposition sich die beiden Teile zueinander befinden. Insbesondere hat an den einander entgegengesetzten Enden des Eindeutigkeitsbereichs die Überlagerung der Strahlungsanteile mit den verschiedenen Wellenlängen dieselbe Phasenlage. Innerhalb des Eindeutigkeitsbereichs ist die Phasenlage jedoch eindeutig. Für die Praxis wird zum Beispiel ein Eindeutigkeitsbereich mit einer Länge von mindestens drei Wellenlängen verwendet. Die erforderliche Länge hängt insbesondere von dem Auflösungsvermögen des Etalons (insbesondere der Breite der Peaks bei den Transmissionsmaxima) und von dem geforderten Messbereich der Messung der Relativposition ab. Z.B. werden zwei oder mehrere Laser als Strahlungsquelle verwendet, wobei die Laser Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen erzeugen. Alternativ wird zumindest ein Laser mit mehreren Moden verwendet, d.h. der Laser erzeugt Strahlung mit unterschiedlichen Wellenlängen. Alternativ oder zusätzlich kann die Wellenlänge der Strahlung bei der Erzeugung und/oder nach der Erzeugung der Strahlung zeitlich verändert werden, insbesondere moduliert werden. Insbesondere kommen zur Modulation ein elektro-optischer und/oder ein akustischer-optischer Modulator infrage. Zum Beispiel kann so die Wellenlänge bzw. Frequenz der Strahlung schnell und reproduzierbar (z. B. periodisch mit einer zeitlich konstanten Modulationsfrequenz im Bereich von mehreren MHz, z.B. 10 MHz, bis einigen GHz, z. B. 10 GHz) verändert werden, insbesondere von einer Wellenlänge zu zumindest einer anderen Wellenlänge verschoben werden, wobei bei diesen Wellenlängen dann die Intensität gemessen wird. Diese Modulation kann auch zur Steigerung des Signal-/Rauschverhältnisses angewendet werden, insbesondere unter Anwendung so genannter Lock-In-Technologie. Bei den genannten

Modulationsfrequenzen ist die Modulation so schnell, dass die zu messende Relativbewegung der Bauteile auch während der Relativbewegung ohne erhebliche Messfehler gemessen werden kann. Für die Messung der relativen Bewegung reichen typischerweise Abtastraten von einigen kHz aus. Wenn sich zum Beispiel Bauteile eines Koordinatenmessgerätes mit einer Geschwindigkeit von 300 mm/s bewegen und die modulierte Wellenlänge der Messstrahlung bei 600 nm liegt, reicht sogar eine Modulationsfrequenz von 2 kHz oder größer aus. Die Modulation der Wellenlänge wird gegenüber der Verwendung mehrerer zeitlich konstanter Wellenlängen bevorzugt, da die Modulation mit geringerem Aufwand realisierbar ist und eine besonders robuste und einfache Art der Messung darstellt.

Wenn die Strahlung mehrere Wellenlängen enthält, insbesondere wenn die Frequenz bzw. Wellenlänge moduliert wird, kann ein ortsauflösendes Detektorfeld verwendet werden und kann die Messstrahlung geneigt (zum Beispiel um wenige Grad geneigt) gegen die Oberflächennormale des Etalons auf den Etalon einfallen. Durch den geneigten Einfall entstehen auf dem Detektorfeld für jede Wellenlänge Interferenzmuster, d.h. Intensitätsmaxima, die voneinander beabstandet sind. Da mehrere Wellenlängen in der Strahlung vorhanden sind, entstehen auf dem Detektorfeld Überlagerungen der Interferenzmuster, wobei die örtlichen Relativpositionen von Intensitätsmaxima, die verschiedenen Wellenlängen zugeordnet sind, in einer Richtung quer zur Normalenrichtung der Oberfläche des Detektorfeldes abhängig von dem zu messenden Abstand der Bauteile sind und sich daher bei Veränderung des Abstandes der Bauteile ebenfalls verändern. Dies ermöglicht grundsätzlich ebenfalls eine eindeutige Messung des Abstandes innerhalb eines entsprechenden Eindeutigkeitsbereiches. Dieser Effekt hängt auch nicht von der Polarisierung der Messstrahlung ab, sondern ist ein reiner Interferenzeffekt. Entsprechende Messsysteme werden zum Beispiel von Lumphos GmbH, Weberstraße 21, D-55130 Mainz, erhältlich.

Bei Modulation der Frequenz der Messstrahlung wird die örtliche Relativposition von benachbarten Intensitätsmaxima des Interferenzmusters entsprechend der Veränderung der Frequenz verändert. Zum Beispiel ist die Entfernung zwischen benachbarten Intensitätsmaxima auf der Oberfläche des Detektorfeldes bei einer ersten Wellenlänge kleiner als bei einer zweiten Wellenlänge, wobei die Messstrahlung durch die Modulation zeitlich nacheinander zum Beispiel zunächst die erste Wellenlänge und dann die zweite Wellenlänge aufweist.

Es kann daher bei Verwendung eines ortsauflösenden Detektorfeldes und optional bei Modulation der Wellenlänge der Messstrahlung die Entfernung zwischen benachbarten Intensitätsmaxima auf der Oberfläche des Detektorfeldes in Abhängigkeit der Wellenlänge ermittelt werden und aus dieser Information sowie aus der Information über die wellenlängenabhängige Intensität und/oder die vom Polarisationszustand abhängige Intensität der zu messende Abstand der Bauteile bestimmt werden. Insbesondere wenn diese Verfahrensweise zusätzlich zu der bereits beschriebenen Etalon-Abstandsmessung mit verschiedenen optischer Dicken ausgeführt wird, kann dadurch der Eindeutigkeitsbereich vergrößert werden. Innerhalb des Eindeutigkeitsbereichs ist der zu messende Abstand der Bauteile eindeutig durch die Gesamtheit der so erhaltenen Informationen bestimmt. Die Verfahrensweise mit dem ortsauflösenden Detektorfeld kann aber auch angewendet werden, wenn keine zirkular polarisierte Strahlung als Messstrahlung eingesetzt wird. Zum Beispiel kann unpolarisierte Strahlung eingesetzt werden oder linear polarisierte Strahlung.

Es wird bevorzugt, die genannten Interferenzmuster (dies gilt auch für andere Fälle als den bereits beschriebenen Fall) in der von dem zumindest einen Etalon reflektierten Strahlung zu beobachten, da der Interferenzeffekt in der Reflexion schärfer beobachtet werden kann als in der Transmission. Auch die in der weiteren Beschreibung erwähnten ortsauflösenden Detektorfelder werden daher zur Detektion auf der Reflexionsseite des Etalons eingesetzt.

Unabhängig von der Anzahl von Wellenlängen, d.h. auch bei lediglich einer Wellenlänge der auf den Etalon auftreffenden Strahlung, wird zirkular polarisierte Strahlung wie an sich bekannt z.B. durch ein $\lambda/4$ -Element erzeugt, d.h. durch ein Element, das Strahlung einer der beiden senkrecht zueinander stehenden Polarisationsrichtungen um eine Viertelwellenlänge gegenüber der Strahlung mit der senkrecht dazu stehenden Polarisationsrichtung verzögert. Z.B. ist bei mehreren Lasern, die Strahlung unterschiedlicher Wellenlänge erzeugen, jedem der Laser ein $\lambda/4$ -Element zugeordnet, d.h. es ist eine der Anzahl der Laser entsprechenden Anzahl von $\lambda/4$ -Element vorgesehen, die sich jeweils im Strahlengang von dem zugeordneten Laser bis zu dem Etalon befinden.

Da auch elliptisch polarisierte Strahlung bekannt ist, soll darauf hingewiesen werden, dass diese Strahlung als Mischform von zirkular polarisierter Strahlung und linear polarisierter

Strahlung betrachtet werden kann. Elliptisch polarisierte Strahlung enthält somit zirkular polarisierte Strahlung und kann daher in entsprechender Weise wie zirkular polarisierte Strahlung auf einen doppelbrechenden Etalon eingestrahlt werden und zur Messung der Relativposition zweier relativ zueinander beweglicher Teile genutzt werden. Da elliptisch polarisierte Strahlung zirkular polarisierte Strahlung enthält, wird bei der Verwendung des Begriffs „zirkular polarisierte Strahlung“ nicht jedes Mal darauf hingewiesen, dass sie ein Teil elliptisch polarisierter Strahlung sein kann.

Insbesondere um Rück-Reflexionen von Strahlung in die Strahlungsquelle zu vermeiden (insbesondere im Fall eines Lasers als Strahlungsquelle), wird vorzugsweise ein optischer Isolator (z.B. ein Faraday Rotator) in dem Strahlengang zwischen Strahlungsquelle und dem Etalon angeordnet, und zwar vorzugsweise vor einem etwaig in dem Strahlengang angeordneten Strahlteiler, der den Strahl bzw. die Strahlung teilt, z. B. um einen nicht auf den Etalon einfallenden Teil der Strahlung erzeugen.

Wird nun die in dem schmalen dritten Wellenlängenbereich eingestrahlte und durch den Etalon hindurchtretende elektromagnetische Strahlung hinsichtlich des transmittierten, durch den Etalon hindurchtretenden Anteils oder hinsichtlich ihrer Strahlungsintensität nach dem Hindurchtreten durch den Etalon gemessen, hängt die entsprechende Messgröße von der relativen Lage des ersten und des dritten Wellenlängenbereichs ab. Die Lage, und insbesondere auch die Breite, des ersten Wellenlängenbereichs ändert/ändern sich mit der optischen Dicke des Etalons, d.h. insbesondere mit dem Abstand zwischen zwei einander gegenüberliegenden Reflektoren des Etalons multipliziert mit dem Brechungsindex des Materials zwischen den Reflektoren (im Fall von Luft ist der Brechungsindex nahezu 1; bei einem Festkörper-Etalon mit einem Glassubstrat ist der Brechungsindex des Glases maßgebend).

Der optische Weg der Strahlung innerhalb des Etalons hängt wiederum vom Einfallswinkel der auf den Etalon einfallenden elektromagnetischen Strahlung ab. Auf diese Weise lässt sich daher die relative Ausrichtung des ersten Bauteils und des zweiten Bauteils messen. Aufgrund der Verschiebung der Lage des ersten Wellenlängenbereichs mit der Änderung der relativen Ausrichtung der Bauteile liegt der dritte Wellenlängenbereich (d.h. der Wellenlängenbereich der einfallenden elektromagnetischen Strahlung) bei unterschiedlichen Werten des Transmissionsgrades des Etalons. Daher kann wie bereits erwähnt der durch den Etalon hindurchtretende Anteil der Strahlung oder

deren Strahlungsintensität gemessen werden und somit ein Maß für die relative Ausrichtung des ersten und zweiten Bauteils erhalten werden.

Insbesondere kann die Messanordnung kalibriert werden, um die Messgröße als Funktion der relativen Ausrichtung des ersten und zweiten Bauteils zu bestimmen.

Ein Etalon benötigt selbst sehr wenig Bauraum. Auch die weiteren für die Messung benötigten optischen Komponenten, wie zum Beispiel Laser, Fotodiode und optional Reflektoren, benötigen im Vergleich zu konventionellen Messeinrichtungen für die Messung von relativ zueinander beweglichen Teilen von Koordinatenmessgeräten wenig Bauraum. Es können daher im Vergleich zu den konventionellen Messeinrichtungen miniaturisierte Elementen für die Messung eingesetzt werden.

Insbesondere wird vorgeschlagen: Ein Verfahren zum Messen einer Relativposition von relativ zueinander beweglichen Bauteilen einer Vorrichtung, insbesondere eines Koordinatenmessgerätes oder einer Werkzeugmaschine, wobei ein erstes Bauteil und ein zweites Bauteil der Vorrichtung derart relativ zueinander beweglich sind, dass sich mit der Bewegung eine relative Ausrichtung und/oder einer relativen Lage des ersten und zweiten Bauteils ändert, und wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Bestrahlen eines Etalons, d.h. eines Interferometers mit Reflektoren zum Reflektieren elektromagnetischer Strahlung, dessen Reflektoren einen optischen Resonator bilden, mit einer elektromagnetischen Strahlung, wobei
 - ein Einfallswinkel, mit dem die elektromagnetische Strahlung auf den Etalon einfällt, (insbesondere eindeutig) von der relativen Ausrichtung des ersten und zweiten Bauteils abhängt und daher die elektromagnetische Strahlung bei einer bestimmten relativen Ausrichtung der Bauteile (d.h. wenn die Bauteile diese relative Ausrichtung haben) mit einem zugeordneten Einfallswinkel auf den Etalon einfällt, und/oder
 - eine Strahlungsintensität, mit der die elektromagnetische Strahlung auf den Etalon einfällt, oder Strahlungsintensitäten, mit denen unterschiedlich polarisierte Teile der elektromagnetischen Strahlung auf den Etalon oder auf eine Mehrzahl der Etalons einfallen, von der relativen Lage des ersten und zweiten Bauteils abhängen und daher die unterschiedlich polarisierten Teile der elektromagnetischen Strahlung bei einer bestimmten relativen Lage der

Bauteile mit zugeordneten Strahlungsintensitäten auf den Etalon oder die Etalons einfallen,

- Messen zumindest einer Strahlungsintensität von aus dem zumindest einen Etalon austretender Strahlung und/oder Messen eines Anteils der auf den Etalon einfallenden oder der erzeugten elektromagnetischen Strahlung, der aus dem Etalon austritt, und Ausgeben eines entsprechenden Messergebnisses,
- Ermitteln der relativen Ausrichtung und/oder der relativen Lage aus dem Messergebnis,

wobei ein Etalon verwendet wird, dessen Transmissionsgrad als Funktion der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung entsprechend den Bedingungen für die optische Resonanz der Reflektoren Maxima bei verschiedenen Wellenlängen-Werten aufweist, und wobei der Transmissionsgrad des verwendeten Etalon in einem ersten Wellenlängenbereich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima, der sich über das arithmetische Mittel der Wellenlängen bei den aufeinanderfolgenden Maxima hinweg erstreckt, entweder stetig ansteigt oder stetig abfällt.

Die Formulierung "es wird ein Etalon verwendet, dessen Transmissionsgrad..." Schließt auch die Verwendung mehrerer solcher Etalons ein. Darauf wird im Folgenden nicht immer explizit hingewiesen.

Insbesondere ist oder enthält die elektromagnetische Strahlung, die die unterschiedlich polarisierten Teile aufweist, zirkular polarisierte elektromagnetische Strahlung.

Ferner wird vorgeschlagen: Eine Anordnung zum Messen einer Relativposition von relativ zueinander beweglichen Bauteilen einer Vorrichtung, insbesondere eines Koordinatenmessgerätes oder einer Werkzeugmaschine, wobei die Anordnung ein erstes Bauteil und ein zweites Bauteil aufweist, die derart relativ zueinander beweglich sind, dass sich mit der Bewegung eine relative Ausrichtung und/oder relative Lage des ersten und zweiten Bauteils ändert, und wobei die Anordnung aufweist:

- eine Strahlungsquelle zur Erzeugung elektromagnetischer Strahlung,
- einen Etalon, d.h. ein Interferometer mit Reflektoren zum Reflektieren elektromagnetischer Strahlung, dessen Reflektoren einen optischen Resonator bilden, wobei die Strahlungsquelle und der Etalon derart angeordnet (und optional mit dem ersten und zweiten Bauteil verbunden) sind, dass

- ein Einfallswinkel elektromagnetischer Strahlung, die von der Strahlungsquelle erzeugt wird und die mit dem Einfallswinkel auf den Etalon einfällt, (insbesondere eindeutig) von der relativen Ausrichtung des ersten und zweiten Bauteils abhängt und daher die elektromagnetische Strahlung bei einer bestimmten relativen Ausrichtung der Bauteile mit einem zugeordneten Einfallswinkel auf den Etalon einfällt, und/oder
- eine Strahlungsintensität, mit der die elektromagnetische Strahlung auf den Etalon einfällt, oder Strahlungsintensitäten, mit denen unterschiedlich polarisierte Teile der elektromagnetischen Strahlung auf den Etalon oder auf eine Mehrzahl der Etalons einfallen, von der relativen Lage des ersten und zweiten Bauteils abhängen und daher die unterschiedlich polarisierten Teile der elektromagnetischen Strahlung bei einer bestimmten relativen Lage der Bauteile mit zugeordneten Strahlungsintensitäten auf den Etalon oder die Etalons einfallen,
- eine erste Messeinrichtung zur Messung zumindest einer Strahlungsintensität von aus dem Etalon oder aus den Etalons austretender Strahlung und/oder Messen eines Anteils der auf den Etalon oder auf die Etalons einfallenden oder der erzeugten elektromagnetischen Strahlung, der aus dem Etalon oder aus den Etalons austritt,
- eine Ermittlungseinrichtung zum Ermitteln der relativen Ausrichtung und/oder der relativen Lage des ersten und zweiten Bauteils aus einem Messergebnis der Messeinrichtung,

wobei der Etalon einen Transmissionsgrad hat, der als Funktion der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung entsprechend den Bedingungen für die optische Resonanz der Reflektoren Maxima bei verschiedenen Wellenlängen-Werten aufweist, wobei der Transmissionsgrad des verwendeten Etalon in einem ersten Wellenlängenbereich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima, der sich über das arithmetische Mittel der Wellenlängen bei den aufeinanderfolgenden Maxima hinweg erstreckt, entweder stetig ansteigt oder stetig abfällt.

Insbesondere kann die Anordnung einen Zirkularpolarisator aufweisen, der zumindest einen Anteil der erzeugten elektromagnetischen Strahlung zirkular polarisiert oder der Teil der Strahlungsquelle ist, so dass von der Strahlungsquelle zirkular polarisierte elektromagnetische Strahlung erzeugt wird.

Insbesondere kann der Etalon fest mit einem der Bauteile verbunden sein und kann die Richtung der auf den Etalon einfallenden elektromagnetischen Strahlung eindeutig durch die Ausrichtung des anderen Bauteils festgelegt sein (z.B. ist die Strahlungsquelle oder eine Umlenkeinrichtung zur Umlenkung der elektromagnetischen Strahlung mit dem anderen Bauteil fest verbunden oder gekoppelt), sodass bei einer Änderung der relativen Ausrichtung der beiden Bauteile der Einfallswinkel der auf den Etalon einfallenden Strahlung geändert wird.

Auch im Fall der Messung der relativen Lage (Abstandsmessung) kann der Etalon fest mit einem der Bauteile verbunden sein. Das andere, relativ zu dem ersten Bauteil linear bewegliche Bauteil kann mit der Strahlungsquelle verbunden sein.

In beiden Fällen, der Messung der Ausrichtung und der Messung der Lage, wird aber bevorzugt, dass zumindest eines der Bauteile mit einer Umlenkeinrichtung verbunden ist, die die auf die Umlenkeinrichtung einfallende elektromagnetische Strahlung umlenkt.

Z.B. im Fall der Abstandsmessung kann die auf die an dem Bauteil befestigte Umlenkeinrichtung in Richtung des zu messenden Abstandes auf die Umlenkeinrichtung einfallen und von dieser in Gegenrichtung zurückreflektiert werden, sodass die elektromagnetische Strahlung den Abstand zweimal durchläuft oder (wenn mehrere Umlenkeinrichtungen an den entgegengesetzten Enden der Abstandsstrecke angeordnet sind) den Abstand mehrmals durchläuft. Optional kann bei jeder Umlenkung ein kleiner seitlicher Versatz der Strahlung erzielt werden, sodass die Strahlung nach der Umlenkung nicht exakt denselben Weg durchläuft und messtechnisch besser von der einfallenden Strahlung getrennt werden kann. Die Rückreflexion hat den Vorteil, dass eine bessere Auflösung bei der Messung des Abstandes erzielt werden kann. Entsprechendes gilt bei der Messung der Ausrichtung. Ein spiegelnd reflektierender Reflektor oder ein Retroreflektor führen zu einer Verdopplung des Winkels, sodass die Ausrichtung besser aufgelöst messbar ist.

Vorzugsweise wird die auf den Etalon einfallende elektromagnetische Strahlung vor dem Auftreffen auf den Etalon aufgeweitet, sodass die durch die Aufweitung entstandenen verschiedenen Ausbreitungswege der elektromagnetischen Strahlung unmittelbar vor dem Auftreffen auf den Etalon parallel zueinander verlaufen. Dadurch wird die Messung stabil gegen Störeinflüsse, die auf der Divergenz der Strahlung beruhen. Die Divergenz ist ungefähr umgekehrt proportional zum Durchmesser des Strahlbündels und damit dem

Aufweitungsverhältnis. Außerdem wird die Messung auf diese Weise unanfälliger gegen Verschmutzung optischer Bauteile der Messeanordnung. Es ist besonders vorteilhaft, wenn die Strahlung gut kollimiert, d.h. nahezu exakt parallel auf den Etalon einfällt. Aufgrund der parallel zueinander verlaufenden Ausbreitungswege sind die Ausbreitungswege auch innerhalb des Etalons gleich lang (jedenfalls wenn es sich um einen Etalon mit Reflektoren handelt, die sich bei konstantem Abstand voneinander quer zu ihrer Verbindungslinie erstrecken). Daher tritt die auf den Etalon einfallende elektromagnetische Strahlung insbesondere über die verschiedenen parallelen Ausbreitungswege innerhalb des Etalons (entsprechend demselben Transmissionsgrad) mit demselben Anteil durch den Etalon hindurch, d.h. es findet keine Verschlechterung der Auflösung bei der Messung der relativen Ausrichtung statt. In der oben verwendeten Terminologie bedeutet dies, dass der erste Wellenlängenbereich für die verschiedenen Ausbreitungswege der Strahlung innerhalb des Etalons gleich positioniert ist, d.h. nicht zu anderen Wellenlängen verschoben ist.

Eine entsprechende Ausgestaltung der Anordnung weist eine Strahlungs-Aufweitungsanordnung auf, die im Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle und dem Etalon angeordnet ist und ausgestaltet ist, auf den Etalon einfallende elektromagnetische Strahlung vor dem Auftreffen auf den Etalon aufzuweiten, sodass die durch die Aufweitung entstandenen verschiedenen Ausbreitungswege der elektromagnetischen Strahlung unmittelbar vor dem Auftreffen auf den Etalon parallel zueinander verlaufen.

Zur Aufweitung können an sich aus dem Bereich der Optik bekannte Anordnungen verwendet werden, z.B. die Kombination einer Zerstreuungslinse und einer Sammellinse oder eine Kombination von Sammellinsen mit einer im Strahlengang dazwischen liegenden Lochblende.

Alternativ oder zusätzlich wird ein Kollimator in den Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle und dem Etalon eingebracht, um z.B. Streuung aufgrund von Reflexionen wieder auszugleichen und/oder reflektierte Strahlung mit großen Ablenkungswinkeln auszublenzen. Ein Kollimator kann insbesondere auch dann eingesetzt werden, wenn kein Laser als Strahlungsquelle verwendet wird oder ein Laser, der Strahlung mit geringer Kohärenzlänge erzeugt. Alternativ oder zusätzlich kann eine Streulichtfalle eingesetzt werden, die reflektierte Strahlung mit großen Ablenkungswinkeln absorbiert. Insbesondere können derartige Streulichtfallen bei einer Ausgestaltung der Anordnung verwendet werden, in der optische Komponenten wie Linsen, optischer

Isolator und/oder Blenden geneigt zur Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Strahlung ausgerichtet sind.

Ferner wird es bevorzugt, nicht nur die Intensität der durch den Etalon hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung zu messen, sondern auch die Intensität eines Teils der von der Strahlungsquelle erzeugten elektromagnetischen Strahlung, die nicht auf den Etalon einfällt. Insbesondere durch Bildung des Verhältnisses der Strahlungsintensität der durch den Etalon hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung zu der Strahlungsintensität der nicht auf den Etalon einfallenden Strahlung kann der Einfluss von Intensitätsschwankungen der von der Strahlungsquelle erzeugten Strahlung eliminiert werden. Insbesondere wird die auf den Etalon einfallende elektromagnetische Strahlung daher von einer Strahlungsquelle erzeugt, wobei die Strahlungsintensität eines Teils der von der Strahlungsquelle erzeugten elektromagnetischen Strahlung, der nicht auf den Etalon auftrifft, als Referenzintensität gemessen wird. Eine entsprechende Ausgestaltung der Anordnung weist eine Referenzintensitäts-Messeinrichtung auf, die ausgestaltet ist, die Strahlungsintensität eines Teils der von der Strahlungsquelle erzeugten elektromagnetischen Strahlung, der nicht auf den Etalon auftrifft, als Referenzintensität zu messen. Mit der Referenzmessung kann auch ein Driften der Intensität als Funktion des Ortes im Strahlengang bestimmt und kompensiert werden.

Alternativ oder zusätzlich zu der Messung der durch den Etalon hindurchtretenden Strahlung kann ein von dem Etalon reflektierter Teil der auf ihn einfallenden elektromagnetischen Strahlung bezüglich der Strahlungsintensität gemessen werden. Die Intensität der auf den Etalon einfallenden Strahlung ist gleich der Summe der Intensitäten der von dem Etalon reflektierten einfallenden Strahlung, der durch den Etalon hindurchtretenden Strahlung und der von dem Etalon absorbierten Strahlung. Die Messung der Strahlungsintensität der reflektierten Strahlung ist daher der Messung der Strahlungsintensität der durch den Etalon hindurchtretenden Strahlung äquivalent. Die Messung der reflektierten Strahlung ist daher eine Alternative für alle Ausführungsformen in dieser Beschreibung, in denen lediglich die durch den Etalon hindurchtretende gemessen wird. Da die reflektierte Strahlung auch Strahlung enthält, die in den Etalon eingetreten ist und zum Beispiel an dem rückseitigen Reflektor des Etalons reflektiert wird, wird unter dem Oberbegriff „aus dem Etalon austretende Strahlung“ auch die reflektierte Strahlung verstanden. In allen Fällen kann auch sowohl die reflektierte Strahlung als auch die hindurchtretende Strahlung gemessen werden.

Da angenommen werden kann, dass der Absorptionsgrad für die Absorption von Strahlung innerhalb des Etalons auch bei äußeren Verschmutzungen oder Alterung des Systems konstant bleibt, kann durch Messung der von dem Etalon reflektierten Intensität der einfallenden Strahlung und durch Messung der Intensität der durch den Etalon hindurchtretenden Strahlung die Intensität der einfallenden Strahlung bestimmt werden und können auf diese Weise Schwankungen der Intensität der einfallenden Strahlung festgestellt und optional korrigiert werden. Wenn zusätzlich noch die Intensität eines Teils der von der Strahlungsquelle erzeugten Strahlung gemessen wird, die nicht auf den Etalon einfällt, kann ein unmittelbarer Vergleich mit der berechneten Intensität der auf den Etalon einfallenden Strahlung stattfinden und daraus ermittelt werden, ob auf dem Weg der auf den Etalon einfallenden Strahlung und beim Eintreten dieser Strahlung in den Etalon Veränderungen stattfinden, z.B. durch verschmutzte Oberflächen des Etalons. Insbesondere fällt das Licht kollimiert nahezu senkrecht auf den Etalon ein.

Daher können insbesondere auch Effekte korrigiert und/oder erfasst werden, die nicht aufgrund von Alterung oder Verschmutzung zu einer erhöhten und/oder veränderten Reflexion der auf den Etalon auftreffenden Strahlung führen, sondern aufgrund einer Veränderung der Neigung des Etalons im Strahlengang der auftreffenden Strahlung. Soweit eine Neigungsänderung aufgrund der Änderung der relativen Ausrichtung der beiden Teile auftritt ist dies die eigentliche Messgröße. Neigungsänderungen können jedoch auch zum Beispiel aufgrund einer De-Justierung der Anordnung auftreten.

Insbesondere bei Koordinatenmessgeräten mit entlang einer geradlinigen Linearachse beweglichen Teilen treten unerwünschte Abweichungen von der idealen Linearbewegung auf. Insbesondere kann das linearbewegliche Teil um die Linearachse sowie um die senkrecht zu der Linearachse stehenden Koordinatenachsen rotieren, wobei die Drehwinkel meist sehr klein sind und im Bereich von höchstens wenigen Grad liegen. Die Rotationsbewegungen, d.h. Drehbewegungen um die zwei senkrecht zu der Linearachse verlaufenden Koordinatenachsen, können z.B. mit einer Ausgestaltung des Verfahrens bestimmt werden bzw. mit einer entsprechenden Messanordnung, das/die wie zuvor beschrieben und noch im Weiteren beschrieben wird, ein Etalon nutzt und optional z. B. eine relative Ausrichtung der beiden relativ zueinander beweglichen Teile um die jeweilige Koordinatenachse und/oder einen Abstand der Teile misst. Alternativ oder zusätzlich können diese auch als Verkippungen zu bezeichnenden Rotationen um die beiden senkrecht zur Linearachse verlaufenden Koordinatenachsen durch ein Feld von strahlungsempfindlichen Detektoren gemessen werden, z.B. in der Art eines CCD-Chips,

wie er in der Kameratechnik eingesetzt wird. Abhängig davon, auf welches oder welche strahlungsempfindlichen Detektorelemente des Feldes die Strahlung auftrifft, lässt sich der Kippwinkel bestimmen. D.h. der Ort, an dem die Strahlung auf das Detektorfeld auftrifft, entspricht (insbesondere eindeutig) dem Kippwinkel. Ziel der Messung kann auch lediglich die Änderung des Kippwinkels sein.

Optional kann eine Umlenkeinrichtung (zum Beispiel ein Reflektor) vorgesehen sein, die zum Beispiel wie erwähnt zu einer Verlängerung des Ausbreitungsweges der Strahlung führt. Die Verkippung kann dann anhand des Neigungswinkels der Umlenkeinrichtung bestimmt werden, zum Beispiel mit dem Feld von strahlungsempfindlichen Detektoren oder einer anderen Winkelmesseinrichtung, wenn die Umlenkeinrichtung entsprechend der Verkippung der beiden Bauteile geneigt ist. Insbesondere kann so die Verkippung bezüglich der zwei zueinander senkrecht stehenden Koordinatenachsen gemessen werden, die quer zur Ausbreitungsrichtung der Strahlung und z. B. senkrecht zu genannten der Linearachse verlaufen.

Das Verfahren zur Messung der Relativposition der Bauteile unter Verwendung des Etalons lässt sich auch mit der Messung des Kippwinkels (oder dessen Änderung) aufgrund von Bewegungsfehlern mittels des Feldes von strahlungsempfindlichen Detektorelementen kombinieren. Insbesondere können sich der Drehwinkel der relativen Ausrichtung und der Kippwinkel konstruktiv oder destruktiv überlagern, sodass noch lediglich ein überlagerter Gesamtwinkel messbar ist. Alternativ oder zusätzlich ist es jedoch möglich, dass der Drehwinkel der relativen Ausrichtung und der Kippwinkel auf unterschiedliche Drehachsen bezogen sind und sich daher gar nicht oder nur teilweise überlagern. In jedem Fall hängt die Richtung, aus der die Strahlung auf den Etalon einfällt (und damit der Einfallswinkel gegen die Oberflächennormale des Etalons), sowohl von dem Drehwinkel der relativen Ausrichtung als auch von dem Kippwinkel ab. Insbesondere kann dann die örtliche Intensitätsverteilung der aus dem Etalon austretenden Strahlung, die auf das Feld von Detektorelementen auftrifft, gemessen werden. Dies ermöglicht es nicht nur, aus dem Ort des Detektorelements oder der Detektorelemente, auf das/die die Strahlung auftrifft, sondern auch durch Auswertung der Größe des Messsignals des jeweiligen Detektorelements und damit aus der Intensität der auftreffenden Strahlung den Einfallswinkel zu bestimmen.

Bei einer Rotation der beiden Bauteile relativ zueinander um die genannte Linearachse, ändert sich im Unterschied zu der Situation bei Verkippungen nicht die

Ausbreitungsrichtung der Messstrahlung, da die Ausbreitungsrichtung mit der Linearachse zusammenfällt. Vielmehr wird aufgrund der Rotation der Bauteile die Messstrahlung um ihre Ausbreitungsrichtung (d.h. um den geradlinigen Strahlungsweg der Messstrahlung entlang der Linearachse) gedreht. Zur Messung dieser Drehung, d.h. insbesondere des Drehwinkels, wird vorgeschlagen, den erfindungsgemäßen Etalon zu verwenden. Dabei kann es sich bei dieser Drehbeweglichkeit um den einzigen Freiheitsgrad der Bewegung der beiden Bauteile handeln, der gemessen werden soll, oder es kann bei der Messung zumindest ein weiterer Freiheitsgrad der Bewegung der beiden Bauteile gemessen werden, zum Beispiel der Freiheitsgrad der Linearbewegung in der Ausbreitungsrichtung, das heißt eine Abstandsmessung. Die Messung der Drehung um die Linearachse oder die Ausbreitungsrichtung der Strahlung wird im Folgenden auch als Rollmessung oder als Rollwinkelmessung bezeichnet.

Insbesondere durchläuft die elektromagnetische Strahlung als unpolarisierte oder polarisierte Messstrahlung eine Messstrecke entlang einer geradlinigen Linearachse, trifft die elektromagnetische Strahlung unpolarisiert oder in einem ersten Polarisationszustand an einem Ende der Messstrecke oder eines Abschnitts der Messstrecke auf eine Polarisationseinrichtung, wird die elektromagnetische Strahlung von der Polarisationseinrichtung abhängig von einem Drehwinkel der zwei relativ um die Linearachse drehbeweglichen Bauteile beeinflusst, sodass die Messstrahlung oder ein Teil der Messstrahlung einen zweiten Polarisationszustand erhält, der dem Drehwinkel entspricht und wird der Drehwinkel und/oder eine Veränderung des Drehwinkels unter Berücksichtigung des veränderten Polarisationszustandes bestimmt.

Um den Rollwinkel messen zu können, liegt am Ende der Messstrecke (und dementsprechend am Ort des Etalons) Messstrahlung vor, die einen dem Rollwinkel entsprechenden Polarisationszustand hat. Dabei ist der Polarisationszustand optional, zum Beispiel wenn zirkular polarisierte Messstrahlung gleichzeitig auch zur Abstandsmessung verwendet wird, nicht ausschließlich vom Rollwinkel abhängig. In einem anderen Fall kann der Polarisationszustand aber ausschließlich vom Rollwinkel abhängen.

Es kann unpolarisierte Messstrahlung verwendet werden, die sich entlang der Linearachse und damit entlang der Messstrecke ausbreitet. Insbesondere am Ende der Messstrecke oder optional im Verlauf der Messstrecke befindet sich eine Polarisationseinrichtung, die die bisher unpolarisierte Messstrahlung entsprechend dem

Rollwinkel polarisiert, so dass der Polarisationszustand die Information über den Rollwinkel enthält. Die Polarisationsrichtung ist mit einem der beiden relativ zueinander beweglichen Bauteile gekoppelt oder verbunden. Mit dem anderen Bauteil ist die Strahlungsquelle und/oder eine Strahlungsaufbereitungseinrichtung verbunden, von der die unpolarisierte Messstrahlung ausgeht. Zum Beispiel kann die Polarisationsrichtung lediglich Strahlung mit einer bestimmten Polarisationsrichtung passieren lassen. Insbesondere wird die bisher unpolarisierte Messstrahlung dadurch linear polarisiert, wobei die Polarisationsrichtung dem Drehwinkel der Polarisationsrichtung um die Linearachse und damit dem Rollwinkel entspricht. In diesem Fall ist die Polarisationsrichtung ein Polarisationsfilter.

Das Prinzip der Rollwinkelmessung mit einer Polarisationsrichtung, die mit einem der beiden relativ zueinander beweglichen Bauteile gekoppelt oder verbunden ist, funktioniert jedoch auch, wenn bereits polarisierte Messstrahlung auf die Polarisationsrichtung einfällt. Alternativ kann daher in der zuvor erwähnten Anordnung polarisierte Messstrahlung verwendet werden. Dabei kann es sich um linear polarisierte und/oder zirkular polarisierte Messstrahlung handeln, die von der Polarisationsrichtung entsprechend dem Rollwinkel beeinflusst wird, sodass sich der Polarisationszustand entsprechend dem Rollwinkel ändert. Bezüglich der Art der Beeinflussung kommen mehrere Alternativen in Betracht: Z. B. kann entsprechend dem Rollwinkel die Polarisationsrichtung gedreht werden und/oder die Phase zirkular polarisierter Strahlung gedreht werden. Alternativ oder zusätzlich kann mit einer dem Rollwinkel entsprechenden Filterrichtung lediglich Strahlung einer bestimmten Polarisationsrichtung durchgelassen werden. In diesem Fall ist die Polarisationsrichtung ein Polarisationsfilter. Insbesondere wenn zusätzlich zu dem Rollwinkel auch der Abstand der Bauteile in Richtung der Linearachse unter Verwendung von zirkular polarisierter Strahlung gemessen werden soll, wird es im Fall eines Polarisationsfilters bevorzugt, dass im Strahlengang der Messstrahlung vor und/oder an dem Polarisationsfilter eine Strahlteilung durchgeführt wird und nicht alle der durch die Strahlteilung erzeugten Teile der Messstrahlung (zum Beispiel lediglich ein Teil) von dem Polarisationsfilter gefiltert werden.

Insbesondere kann die von der Polarisationsrichtung veränderte Strahlung auf einen Etalon mit den o.g. Eigenschaften einfallen, mit dem abhängig von dem Polarisationszustand der auf ihn auftreffenden Strahlung Einfluss auf die Strahlung genommen wird, sodass eine entsprechende Messeinrichtung, der die aus dem Etalon austretende Strahlung zugeführt wird, ein entsprechendes Messsignal erzeugt. In jedem

Fall kann der Polarisationszustand der von der Polarisationsrichtung beeinflussten Messstrahlung (oder des Teils der Messstrahlung) gemessen werden, zum Beispiel unter Verwendung eines doppelbrechenden Etalons. In allen zuvor genannten Fällen entspricht der Polarisationszustand dem Rollwinkel. Durch Messung und Auswertung des Polarisationszustandes wird daher der Rollwinkel bestimmt.

Die Polarisationsrichtung kann zum Beispiel eine Umlenkeinrichtung zum Umlenken der Messstrahlung auf zumindest einen Strahlengang anderer Richtung sein oder aufweisen (z.B. ein Spiegel oder ein Retroreflektor). Insbesondere tritt die Messstrahlung durch die Umlenkeinrichtung hindurch und/oder wird von ihr reflektiert. Insbesondere können auch eine Umlenkeinrichtung (die zum Beispiel den Strahlteiler darstellt) und eine zusätzliche Polarisationsrichtung verwendet werden. Z.B. kann ein Reflektor die Strahlung auf unterschiedliche Ausbreitungswege umlenken (z. B. einerseits reflektieren und andererseits transmittieren oder auf zwei parallel zueinander verlaufende Strahlungswege reflektieren). Der Reflektor kann insbesondere auch so ausgestaltet sein, dass die Polarisation des zumindest einen reflektierten Anteils gleichzeitig mit der Reflexion bewirkt wird. In jedem Fall beeinflusst zumindest ein Polarisator einen Anteil der insgesamt umgelenkten Strahlung abhängig vom Rollwinkel. Zumindest kann dieser von dem Polarisator beeinflusste Anteil dann z.B. wie bereits beschrieben zur Erzeugung zumindest eines Messsignals führen, aus dem der Rollwinkel bestimmt werden kann. Der nicht von dem Polarisator der Umlenkanordnung beeinflusste reflektierte Strahlungsanteil hat den Vorteil, dass er für eine Referenzmessung zur Verfügung steht, auf deren Basis der Rollwinkel präziser bestimmt werden kann, und/oder für die erwähnte Abstandsmessung zur Verfügung steht. Auch auf diese Weise lässt sich die reflektierte Gesamtstrahlung derart auswerten, dass der Rollwinkel und der Abstand separat bestimmbar sind. Z.B. gemäß dem Brewsterschen Gesetz kann die Umlenkeinrichtung bei entsprechend großem Einfallswinkel der Strahlung eine reflektierte, polarisierte Strahlung und eine nicht reflektierte und nicht polarisierte gebeugte Strahlung erzeugen, wobei die zunächst nicht reflektierte Strahlung optional in ihrem weiteren Verlauf auch noch reflektiert werden kann. Unter Bezug auf den oben verwendeten Begriff der gesamten umgelenkten Strahlung fallen darunter insbesondere die gebeugte und die reflektierte Strahlung. Es ist daher nicht erforderlich, dass sämtliche Strahlungsanteile, die von der Umlenkeinrichtung aus der auftreffenden Strahlung erzeugt werden, reflektiert werden.

Für die Polarisation abhängig vom Rollwinkel kann auch der Faraday-Effekt genutzt werden, wonach linear polarisierte Strahlung in einem Medium des Polarisators

hinsichtlich der Orientierung der Polarisationssebene gedreht wird, wenn der magnetische Fluss eines Magnetfeldes zumindest eine Komponente parallel zur Ausbreitungsrichtung der Strahlung besitzt.

Bei der Umlenkeinrichtung, die für die Rollmessung verwendet wird, kann es sich insbesondere um eine Umlenkeinrichtung handeln, die auch für andere Zwecke eingesetzt wird, z.B. wie bereits beschrieben ein Reflektor zur Wegverlängerung der Messstrahlung und/oder zur Vergrößerung eines Querversatzes des Ortes, an dem die Messstrahlung auf den Etalon auftrifft, jeweils zur Auflösungsverbesserung.

Insbesondere kann bei Verwendung von zirkular polarisierter Messstrahlung gleichzeitig unter Verwendung derselben Messstrahlung sowohl eine Messung des Rollwinkels als auch eine Abstandsmessung stattfinden. Dabei kann die auf den Etalon auftreffende Messstrahlung, die sowohl die Information über den Rollwinkel als auch die Information über den Abstand der beiden Bauteile enthält, wie zuvor beschrieben und wie noch im Folgenden näher beschrieben wird, zur Erzeugung von zumindest einem Messsignal verwendet werden und sowohl der Rollwinkel als auch der Abstand bestimmt werden. Um die beiden Einflussgrößen Rollwinkel und Abstand aus dem Messsignal oder den Messsignalen getrennt bestimmen zu können, kann in unterschiedlicher Weise vorgegangen werden. Z.B. kann Messstrahlung mit zumindest zwei verschiedenen Wellenlängen verwendet werden. Während ein Rollieren (d.h. die Drehbewegung um die Ausbreitungsrichtung oder Linearachse) bei beiden oder allen Wellenlängen zu derselben Beeinflussung des Polarisationszustandes oder zumindest zu der Aufprägung derselben Information durch die Polarisationsseinrichtung entsprechend dem Rollwinkel führt, ist die durch eine Veränderung des Abstandes der Bauteile bewirkte Drehung des Polarisationszustandes abhängig von der Wellenlänge der zirkular polarisierten Strahlung.

Alternativ oder zusätzlich kann eine Polarisationsseinrichtung verwendet werden, die auftreffende (insbesondere linear oder elliptisch) polarisierte Strahlung abhängig vom Rollwinkel in ihrem Polarisationszustand zu verändern. Die Polarisationsseinrichtung verstärkt oder schwächt insbesondere den Strahlungsanteil der Strahlung mit einer bestimmten Polarisationsrichtung im Verhältnis zu dem Anteil mit der dazu senkrecht stehenden Polarisationsrichtung. Z. B. wird somit linear polarisierte Strahlung abhängig vom Rollwinkel stärker oder weniger stark (oder bei bestimmter Ausrichtung auch gar nicht) geschwächt oder der Polarisationszustand von auf die Umlenkeinrichtung auftreffender elliptisch polarisierter Strahlung verändert. Im Ergebnis enthält insbesondere

die Intensität der zirkular polarisierten Strahlung oder der Polarisationszustand der elliptisch polarisierten Strahlung die Information über den Rollwinkel.

Insbesondere um Schwankungen der Wellenlänge bzw. Frequenz der auf den Etalon einfallenden elektromagnetischen Strahlung feststellen und optional kompensieren zu können, bildet ein erster Teil der von der Strahlungsquelle erzeugten elektromagnetischen Strahlung diejenige elektromagnetische Strahlung, die mit einem von der relativen Ausrichtung des ersten und zweiten Bauteils abhängigen Einfallswinkel auf den Etalon einfällt. Ein zweiter Teil der von der Strahlungsquelle erzeugten elektromagnetischen Strahlung fällt auf einen zweiten Etalon unter einem Einfallswinkel ein, der nicht von der relativen Ausrichtung des ersten und zweiten Bauteils abhängt. Es wird eine Strahlungsintensität der durch den zweiten Etalon hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung gemessen. Somit steht ein Vergleichswert zur Verfügung, der nicht von der relativen Ausrichtung des ersten und zweiten Bauteils abhängt, jedoch von der Wellenlänge der auf den ersten Etalon und den zweiten Etalon auftreffenden Strahlung abhängt. Eine entsprechende Ausgestaltung der Anordnung weist daher eine Strahlungsintensitäts-Messeinrichtung auf, die ausgestaltet ist, die Strahlungsintensität der durch den zweiten Etalon hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung zu messen. Der zweite Etalon ist vorzugsweise ein Etalon mit den gleichen optischen Eigenschaften wie der erste Etalon. Allgemeiner formuliert hat der zweite Etalon vorzugsweise ebenfalls einen zwischen zwei benachbarten Maxima des Transmissionsgrades liegenden ersten Wellenbereich mit den oben beschriebenen Eigenschaften, d.h. der Transmissionsgrad nimmt in dem ersten Wellenlängenbereich stetig zu oder stetig ab und der Verlauf des Transmissionsgrades zwischen den beiden aufeinanderfolgenden Maxima ist asymmetrisch.

Um einen Messbereich von messbaren relativen Ausrichtungen des ersten Bauteils und des zweiten Bauteils einzustellen, gibt es verschiedene mögliche Maßnahmen, die einzeln oder in Kombination miteinander ausgeführt werden können. Außer einer Einstellung der Temperatur des Etalons, die nicht die bevorzugte Maßnahme ist, kann die Ausrichtung des Etalons relativ zu dem ersten Bauteil und/oder dem zweiten Bauteil eingestellt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Wellenlänge bzw. Frequenz der auf den Etalon einfallenden elektromagnetischen Strahlung eingestellt oder gewählt werden. Insbesondere kann ein Laser gewählt werden, der Strahlung der gewünschten Wellenlänge erzeugt. Selbstverständlich ist es alternativ oder zusätzlich möglich, einen

anderen Etalon mit einer anderen optischen Resonanz zu verwenden, um den Messbereich für die relative Ausrichtung einzustellen.

Insbesondere wird daher vorgeschlagen, einen kontinuierlichen Bereich für die Ermittlung von möglichen Werten der relativen Ausrichtung des ersten und des zweiten Bauteils durch Einstellung der Wellenlänge oder Frequenz der auf den Etalon einfallenden elektromagnetischen Strahlung und/oder durch Einstellen der Ausrichtung des Etalon relativ zu dem ersten Bauteil und dem zweiten Bauteil einzustellen.

Insbesondere kann bei einem ersten Wellenlängenbereich des Etalons, in dem der Transmissionsgrad linear ansteigt oder linear abfällt, eine Einstellung in der Weise erfolgen, dass die Wellenlänge der auf den Etalon einfallenden elektromagnetischen Strahlung (insbesondere Laserstrahlung) in der Mitte des ersten Wellenlängenbereichs liegt, wenn die relative Ausrichtung des ersten Bauteils und des zweiten Bauteils in der Mittelposition ist, die in der Mitte zwischen den maximalen relativen Ausrichtungen in entgegengesetzte Bewegungsrichtungen liegt.

Wie oben erwähnt kann die Anordnung zum Messen der Relativposition der Bauteile eine Ermittlungseinrichtung zum Ermitteln der relativen Ausrichtung des ersten und zweiten Bauteils aus einem Messergebnis der Messeinrichtung oder Messeinrichtungen aufweisen. In der folgenden Figurenbeschreibung werden jedoch Ausführungsbeispiele beschrieben, in denen die Ermittlungseinrichtung nicht dargestellt ist. Die dargestellten Anordnungen weisen lediglich die Messeinrichtung oder Messeinrichtungen zur Messung der Strahlungsintensität auf. Z.B. im Fall eines Bauteils eines Koordinatenmessgeräts kann die Ermittlungseinrichtung durch die Steuerungseinrichtung des Koordinatenmessgeräts realisiert werden oder durch eine andere Auswertungseinrichtung, die auch bei konventionellen Koordinatenmessgeräten die Messwerte auswertet, welche Informationen über die Koordinaten eines vermessenen Werkstücks enthalten. Insbesondere können die Messsignale einer als Fotodiode oder Feld von Fotodioden ausgestalteten Intensitätsmesseinrichtung optional in der Umgebung der Messeinrichtung für eine Übertragung aufbereitet werden oder unmittelbar, ohne vorherige Aufbereitung, über zumindest eine geeignete, z. B. elektrische oder optische Leitung zu der Auswertungseinrichtung übertragen werden. Schematisch könnte die Ermittlungseinrichtung daher z.B. in den im Folgenden beschriebenen Fig. 8 bis 22 durch ein Rechteck dargestellt werden, das über zumindest eine elektrische Leitung mit der Messeinrichtung verbunden ist.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nun unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung beschrieben. Die einzelnen Figuren der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1 den Transmissionsgrad eines konventionellen Etalons als Funktion der Wellenlänge der durch den Etalon hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung,
- Fig. 2 den Transmissionsgrad eines erfindungsgemäßen Etalons als Funktion der Wellenlänge,
- Fig. 3 einen Verlauf des Transmissionsgrades als Funktion der Wellenlänge für einen erfindungsgemäßen Etalon, wobei die Wellenlänge von einfallender Laserstrahlung markiert ist,
- Fig. 4 ein Diagramm wie in Fig. 3, wobei jedoch der Verlauf des Transmissionsgrades als Funktion der Wellenlänge gegenüber dem Verlauf in Fig. 3 verschoben ist, da die durch den Etalon hindurchtretende Strahlung einen Weg mit anderer optischer Länge durch den Etalon nimmt,
- Fig. 5 ein erstes Ausführungsbeispiel für einen erfindungsgemäßen Etalon,
- Fig. 6 ein zweites Ausführungsbeispiel für einen erfindungsgemäßen Etalon,
- Fig. 7 ein drittes Ausführungsbeispiel für einen erfindungsgemäßen Etalon,
- Fig. 8 eine Anordnung mit einer Strahlungsquelle, einem Etalon und einer Intensitäts-Messeinrichtung für die Messung der Intensität der durch Etalon hindurchgetretenen elektromagnetischen Strahlung,
- Fig. 9 die Anordnung aus Fig. 8, wobei jedoch der Etalon im Strahlengang von der Strahlungsquelle zu der Messeinrichtung geneigt ist,
- Fig. 10 eine Anordnung ähnlich der in Fig. 8 und Fig. 9, wobei jedoch zusätzlich ein Strahlteiler vorgesehen ist, der einen Teil der von der Strahlungsquelle erzeugten elektromagnetischen Strahlung aus dem Strahlengang Richtung Etalon auskoppelt und zu einer zweiten Intensitäts-Messeinrichtung leitet,
- Fig. 11 eine Anordnung ähnlich der in Fig. 10, wobei jedoch ein zusätzlicher Strahlteiler vorgesehen ist, um einen Teil der nicht auf den ersten Etalon einfallenden Strahlung auf einen zweiten Etalon zu leiten und zumindest die durch diesen zweiten Etalon hindurchtretende elektromagnetische Strahlung bezüglich ihrer Intensität zu messen,
- Fig. 12 eine Anordnung mit einer Strahlungsquelle und mehreren Etalons, die abhängig von der relativen Ausrichtung jeweils eines Paares von Bauteilen geneigt im Strahlengang angeordnet sind,

- Fig. 13 eine Anordnung ähnlich der in Fig. 8 bis 10, wobei im Verlauf der elektromagnetischen Strahlung zwischen der Strahlungsquelle und dem Etalon eine Strahlaufweitung stattfindet,
- Fig. 14 eine Anordnung ähnlich der in Fig. 13, wobei jedoch die Strahlaufweitung mit anderen optischen Komponenten erzielt wird,
- Fig. 15 eine Einrichtung eines Koordinatenmessgeräts, insbesondere ein Tastkopf, wobei Bauteile der Einrichtung relativ zueinander beweglich sind und die Relativposition durch eine erfindungsgemäße Anordnung messbar ist,
- Fig. 16 die Einrichtung gemäß Fig. 15, wobei jedoch die relativ zueinander beweglichen Bauteile der Einrichtung in einer anderen Relativposition zueinander angeordnet sind,
- Fig. 17 einen Tastkopf für ein Koordinatenmessgerät, wobei der Tastkopf drei lineare Freiheitsgrade der Bewegung hat, die paarweise senkrecht zueinander angeordnet sind, und wobei die Bewegungsposition aller drei Freiheitsgrade mit einer erfindungsgemäßen Messanordnung gemessen wird,
- Fig. 18 schematisch eine Draufsicht auf eine Membranfeder mit zwei senkrecht zueinander verlaufenden Freiheitsgraden der Bewegung und einer entsprechenden erfindungsgemäßen Messanordnung,
- Fig. 19 schematisch eine Seitenansicht auf die in Fig. 18 dargestellte Anordnung in einer ersten Bewegungsstellung,
- Fig. 20 eine Seitenansicht wie in Fig. 19, jedoch in einer anderen Bewegungsstellung,
- Fig. 21 schematisch eine Seitenansicht einer Einrichtung mit zwei relativ zueinander beweglichen Bauteilen, wobei Laserstrahlung mittels eines Reflektors umgelenkt wird und auf einen Etalon einfällt,
- Fig. 22 eine dreidimensionale, aufgeschnittene Darstellung eines Tastkopfes für ein Koordinatenmessgerät, wobei oben in der Figur schematisch eine Anordnung mit zwei Etalons dargestellt ist, die in den Tastkopf integrierbar ist,
- Fig. 23 schematisch eine Anordnung mit einfallender Strahlung, die von einer Umlenkeinrichtung, deren Neigungswinkel zu messen ist, auf ein Feld von strahlungsempfindlichen Detektorelementen umgelenkt wird,
- Fig. 24 eine Anordnung mit einem doppelbrechenden Etalon und mehreren Intensitäts-Messeinrichtungen zur Messung der reflektierten und der durchgehenden Strahlung, die wieder aus dem Etalon ausgetreten ist,

- Fig. 25 schematisch einen Reflektor, der auftreffende Strahlung aufteilt und auf zwei verschiedene Strahlengänge umlenkt,
- Fig. 26 schematisch eine Umlenkeinrichtung wie in Fig. 25, die jedoch zusätzlich einen separaten Polarisator zur Beeinflussung des Polarisationszustandes eines der beiden umgelenkten Strahlungsanteile aufweist,
- Fig. 27 schematisch eine Messanordnung zur Messung des Abstandes zwischen zwei entlang einer Linearachse zueinander beweglichen Bauteilen,
- Fig. 28 eine Teildarstellung ähnlich der in Fig. 27 dargestellten Messanordnung, jedoch mit einer zusätzlichen Baugruppe zur Messung von in Reflexionsrichtung aus einem Etalon austretender Strahlung,
- Fig. 29 ein Koordinatenmessgerät (KMG) in Portalbauweise mit drei Messanordnungen jeweils zur Messung eines Abstandes entlang einer von drei Linearachsen,
- Fig. 30 das KMG gemäß Fig. 29, wobei jedoch zwei der Messanordnungen ein gemeinsames Messmodul aufweisen,
- Fig. 31 ein KMG ähnlich wie in Fig. 29 und Fig. 30, wobei jedoch alle drei Messanordnungen ein gemeinsames Messmodul aufweisen,
- Fig. 32 eine Variante des KMG aus Fig. 31,
- Fig. 33 schematisch eine Messeanordnung zur Messung des Abstandes zweier relativ zueinander beweglicher Bauteile, wobei zirkular polarisierte Strahlung als Messstrahlung verwendet wird und wobei lediglich der Strahlungsanteil mit einer Polarisationsrichtung auf eine Etalon-Anordnung eingestrahlt wird, und
- Fig. 34 eine Anordnung ähnlich der in Fig. 33, wobei jedoch die Strahlungsanteile mit unterschiedlicher Polarisationsrichtung zunächst voneinander getrennt werden und dann separat auf jeweils einen oder eine Etalon-Anordnung eingestrahlt werden.

Ein konventioneller Etalon, z.B. ein Fabry-Perot-Interferometer, weist den in Fig. 1 dargestellten Verlauf des Transmissionsgrades T als Funktion der Wellenlänge λ auf. Es ist zu erkennen, dass mehrere Maxima m_1 , m_2 , m_3 bei konstanten Wellenlängenabständen vorhanden sind, wobei der Verlauf des Transmissionsgrades T bezüglich der Mitte jedes Paares von aufeinanderfolgenden Maxima m_1 , m_2 ; m_2 , m_3 symmetrisch ist. Ausgehend von z.B. dem Maximum m_1 fällt der Transmissionsgrad T daher mit zunehmender Wellenlänge λ auf ein lokales Minimum ab, um nahe an dem

benachbarten Maximum m_2 wieder in der gleichen Weise zuzunehmen, wobei der Verlauf symmetrisch und annähernd U-förmig ist.

Dagegen stellt Fig. 2 den Verlauf des Transmissionsgrades T für einen erfindungsgemäßen Etalon dar, jedoch beschränkt auf den Bereich um zwei benachbarte Maxima m_4 , m_5 . Ausgehend von dem Maximum m_4 fällt der Transmissionsgrad T mit zunehmender Wellenlänge λ zwar ebenfalls steil ab, aber nicht so steil, wie er nach Erreichen eines Minimums t_4 wieder zunimmt, um das benachbarte Maximum m_5 zu erreichen. In seinem Verlauf von dem Maximum m_4 zu dem Minimum t_4 durchläuft der Transmissionsgrad T auch einen Wellenlängenbereich $\Delta\lambda_1$, in dem er linear abnimmt. Insbesondere dieser so genannte erste Wellenlängenbereich, der den arithmetischen Mittelwert der Wellenlängen der lokalen Maxima m_4 , m_5 enthält, ist besonders gut für eine Messung der relativen Ausrichtung von zwei relativ zueinander beweglichen Bauteilen geeignet. Der erste Wellenlängenbereich $\Delta\lambda_1$ kann jedoch auch größer als in Fig. 2 dargestellt gewählt werden, sodass der stetig abnehmende Verlauf des Transmissionsgrades T nicht überall linear ist. Z.B. kann der erste Wellenlängenbereich so gewählt werden, dass er an seiner rechten Grenze, d.h. mit seinem maximalen Wellenlängenwert, an dem lokalen Minimum t_4 endet.

Der in Fig. 3 dargestellte Verlauf des Transmissionsgrades T als Funktion der Wellenlänge λ des auf den erfindungsgemäßen Etalon einfallenden Lichts (oder allgemeiner: der elektromagnetischen Strahlung) unterscheidet sich von dem Verlauf in Fig. 2 dadurch, dass der Transmissionsgrad T mit zunehmenden Wellenlängen im Bereich zwischen den lokalen Maxima m_6 , m_7 ansteigt. Die folgende Beschreibung gilt jedoch analog auch für einen Fall, in dem der Transmissionsgrad T mit zunehmenden Wellenlängen im Bereich zwischen den lokalen Maxima m_6 , m_7 abfällt.

Der erste Wellenlängenbereich ist wieder mit dem Bezugszeichen $\Delta\lambda_1$ bezeichnet. Außerdem ist ein noch größerer Wellenlängenbereich FSR dargestellt, der gleich dem Abstand zwischen den aufeinanderfolgenden lokalen Minima t_6 , t_7 ist und auch gleich dem Abstand der aufeinanderfolgenden lokalen Maxima m_6 , m_7 ist und somit gleich dem so genannten freien Spektralbereich des Etalons ist. Der freie Spektralbereich hängt von der optischen Dicke des Etalons ab, d.h. von dem Produkt aus Brechungsindex des Bereichs zwischen entgegengesetzten Reflektoren des Etalons und der geometrischen Dicke, d.h. des Abstandes der Reflektoren des Etalons. Wenn sich die Reflektoren des

Etalons nicht paarweise einander gegenüberstehen und daher die Strahlung nicht allein zwischen den einander gegenüberstehenden Reflektoren hin- und herreflektiert wird, sondern z.B. mehr als zwei Reflektoren zur mehrfachen Reflexion der Strahlung vorhanden sind, entspricht die geometrische Dicke dem Weg, den die elektromagnetische Strahlung für einen Zyklus der Reflexion durchläuft, bevor sie in einem weiteren Zyklus erneut von denselben Reflektoren reflektiert wird. Entsprechend dem freien Spektralbereich wirkt der Etalon als optischer Resonator, d.h. es findet derart eine konstruktive und destruktive Interferenz der mehrfach reflektierten Strahlung statt, dass sich der dargestellte Verlauf des Transmissionsgrades als Funktion der Wellenlänge ergibt.

In Fig. 3 ist auch die Wellenlängenposition λ_ℓ als vertikale Linie dargestellt, an der bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung monochromatisches oder nahezu monochromatisches Licht aus einem Laser auf den Etalon eingestrahlt wird. Die Linie schneidet den Verlauf des Transmissionsgrades an einer Stelle T1. Dementsprechend wirkt ein Transmissionsgrad T1 auf die Strahlung, die bei dieser Wellenlänge λ_ℓ eingestrahlt wird.

Wird die optische Dicke des Etalons verändert, insbesondere dadurch, dass das erste Bauteil und das zweite Bauteil, deren relative Ausrichtung gemessen werden soll, eine andere Relativstellung zueinander einnimmt und dadurch die relative Ausrichtung verändert wird, ergibt sich z.B. die in Fig. 4 dargestellte Situation. Aufgrund der Veränderung der optischen Dicke des Etalons hat sich der Verlauf des Transmissionsgrades T als Funktion der Wellenlänge λ zu kleineren Wellenlängen hin verschoben. Die eingestrahlte elektromagnetische Strahlung hat jedoch dieselbe Wellenlänge λ_ℓ wie in Fig. 3. Sie schneidet aufgrund der Verschiebung des Transmissionsgrades T dessen Verlauf bei einem anderen Wert T2 des Transmissionsgrades, der in dem Ausführungsbeispiel größer ist als der Wert T1. Aufgrund der Verschiebung des Verlaufs des Transmissionsgrades T hat sich anders ausgedrückt auch der erste Wellenlängenbereich $\Delta\lambda_1$ verschoben. Da der Transmissionsgrad T in diesem ersten Wellenlängenbereich linear ansteigt, kann die Verschiebung des Verlaufs des Transmissionsgrades als linear abhängig von der gemessenen Intensität des durch den Etalon hindurchtretenden Lichts betrachtet werden. Dies gilt auch für die optische Dicke und somit zumindest bei kleinen Änderungen der relativen Ausrichtung der beiden Bauteile annähernd auch für den Drehwinkel.

Bei der Messung der relativen Lage zweier Bauteile, wie oben beschrieben mittels zirkular polarisierter Strahlung und unter Verwendung eines Etalon mit doppelbrechendem Material, haben die Strahlungsanteile der zirkular polarisierten Strahlung mit verschiedener Polarisationsrichtung unterschiedliche optische Dicken auf ihrem Ausbreitungsweg durch den Etalon. Die Fig. 3 und 4 stellen ein Beispiel für zwei unterschiedliche optische Dicken dar. Der erste Strahlungsanteil mit der ersten Polarisationsrichtung könnte daher geschwächt entsprechend dem in Fig. 3 dargestellten Transmissionsgrad T_1 durch den Etalon hindurch treten, während der zweite Strahlungsanteil mit der zweiten Polarisationsrichtung geschwächt entsprechend dem in Fig. 4 dargestellten Transmissionsgrad T_2 durch den Etalon hindurch treten könnte. Es entsteht daher ein Verhältnis der Intensitäten der unterschiedlich polarisierten Strahlungsanteile in der durch den Etalon hindurchtretenden Strahlung, und analog (die Summe der Intensitäten der wieder austretenden reflektierten und wieder austretenden transmittierten Strahlung zuzüglich der in den Etalon absorbierten Strahlung ist für jede Polarisationsrichtung gleich der in den Etalon eingetretenen Strahlung) ebenfalls in der aus dem Etalon wieder austretenden, reflektierten Strahlung.

Insbesondere kann eine Mehrzahl der Etalons (z. B. jeweils als Teil der noch anhand von Fig. 24 zu beschreibenden Baugruppe) vorgesehen sein, wobei auf jedes der Etalons ein Anteil (die Anteile werden zum Beispiel durch eine Strahlteilung nach der Messstrecke erzeugt) derselben Messstrahlung mit derselben in der Messstrahlung enthaltenen Messinformation eingestrahlt wird. Die Etalons haben unterschiedliche Abstände zwischen den Reflektoren an ihren entgegengesetzten Enden und damit auch unterschiedliche optische Dicken. Auf diese Weise kann die Eindeutigkeit des Messergebnisses der Gesamt-Messanordnung erhöht werden. Bei der Erzeugung der genannten Anteile der Messstrahlung ist darauf zu achten, dass sich die Polarisationszustände der Anteile nicht unterscheiden oder in bekannter Weise verändert werden, so dass die Erzeugung der Anteile das Messergebnis nicht verfälscht.

Der in Fig. 5 dargestellte Etalon 1 weist ein transparentes Substrat G auf, das transparent für die durch den Etalon 1 hindurchtretende elektromagnetische Strahlung ist. Z.B. handelt es sich bei dem Material des Substrats G um Glas. Insbesondere kann es sich alternativ um ein doppelbrechendes Material wie Lithiumniobat handeln. An den gegenüberliegenden Enden des Substrats G befindet sich als Reflektor jeweils ein Schichtsystem mit einer Mehrzahl von Schichten aus einem anderen Material als das

Material des Substrats G. An dem links in Fig. 5 dargestellten Ende sind drei Schichten H, L, M parallel zueinander und nebeneinander angeordnet, wobei die mittlere Schicht L mit ihren einander gegenüberliegenden Grenzflächen an die jeweils benachbarte Schicht H, M angrenzt. Die Grenzflächen der drei Schichten verlaufen parallel zueinander. Bei der Schicht H handelt es sich um eine nicht elektrisch leitfähige Schicht mit hohem Brechungsindex, z.B. aus Titandioxid. Bei der Schicht L handelt es sich z.B. um eine nicht elektrisch leitfähige Schicht mit niedrigem Brechungsindex, z.B. aus Siliziumdioxid.

Entsprechendes gilt für den zweischichtigen Aufbau am entgegengesetzten Ende. Dort ist ebenfalls die äußere, von dem Substrat G abgewandte Schicht eine Schicht H aus demselben Material wie die Schicht H an dem entgegengesetzten Ende. Die Schicht H hat eine gemeinsame Grenzfläche mit der Schicht L, deren Schichtoberflächen sich parallel zu den Schichtoberflächen der Schicht H erstrecken. Ferner sind die Schichtoberflächen der Schichtsysteme an den entgegengesetzten Enden parallel zueinander, sodass Strahlung, die sich etwa senkrecht zu den Schichtoberflächen innerhalb des Substrats G ausbreitet, mehrfach zwischen den entgegengesetzten Enden hin- und herreflektiert wird. Der Grund dafür liegt darin, dass die Schichtkombinationen H, L als Reflektoren für die Strahlung ausgestaltet sind, soweit die Wellenlänge der Strahlung und die Schichtdicken der Schichtkombinationen H, L entsprechend aufeinander abgestimmt sind.

Erfindungsgemäß ist eine zusätzliche elektrisch leitfähige Schicht M Bestandteil des Schichtsystems am links in Fig. 5 dargestellten Ende des Substrats G. Bei der Schicht handelt es sich z.B. um eine Metallschicht, wobei die Dicke der elektrisch leitfähigen Schicht M so gewählt ist, dass sich ein deutlich asymmetrischer Verlauf des Transmissionsgrades des Etalons 1 zwischen benachbarten Maxima ergibt, z.B. der in Fig. 2, Fig. 3 oder Fig. 4 dargestellte Verlauf.

Die auf den Etalon einfallende elektromagnetische Strahlung wird z.B. in der Darstellung der Fig. 5 von links kommend senkrecht auf das linke Schichtsystem H, L, M eingestrahlt und wird mehrfach zwischen den Reflektoren reflektiert. Ein Teil der in den Etalon eingetretenen Strahlung tritt durch die Reflektoren wieder aus, da das Schichtsystem nicht vollständig reflektiert, sondern ein geringer Anteil der elektromagnetischen Strahlung transmittiert wird. Da der Etalon ein Resonator ist, ist in dem Resonator entsprechend seiner Güte (d.h. insbesondere eine geringe Absorption in dem Substrat G) die

Strahlungsflussdichte hoch und tritt Strahlung mit einer gut messbaren Strahlungsflussdichte aus dem Etalon aus, zum Beispiel durch den Reflektor rechts in Fig. 5.

Eine Abwandlung des in Fig. 5 dargestellten Etalons ist in Fig. 6 dargestellt. Dieser Etalon 1a weist als Bestandteile der Schichtsysteme an den entgegengesetzten Enden jeweils eine Schicht M1, M2 mit elektrisch leitfähigem Material auf. Z.B. bestehen die Schichten M1, M2 aus demselben Material, z.B. einem Metall oder einer Metall-Legierung. Jedoch sind in diesem Fall die Schichtdicken der Schichten M1, M2 unterschiedlich groß, um das gewünschte asymmetrische Verhalten des Transmissionsgrades zu erzielen.

Weitere Varianten sind möglich. Z.B. weist der in Fig. 7 dargestellte Etalon 1b an seinem links in der Figur dargestellten Schichtsystem denselben Aufbau wie in Fig. 5 auf. Jedoch ist der Aufbau des Schichtsystems an dem rechten, entgegengesetzten Ende ein anderer als in Fig. 5 und Fig. 6. Dieses Schichtsystem weist fünf parallel zueinander verlaufende und jeweils paarweise aneinander angrenzende Schichten aus nicht elektrisch leitfähigem Material auf, z.B. in der Schichtfolge HLHLH, wobei wie in Fig. 5 und Fig. 6 die Bezeichnungen H bzw. L auf eine Schicht mit hohem Brechungsindex bzw. mit niedrigem Brechungsindex hinweisen.

Weitere Variationen sind möglich. Z.B. kann das rechts in Fig. 7 dargestellte Schichtsystem ebenfalls zumindest eine Schicht aus elektrisch leitfähigem Material aufweisen.

Fig. 8 zeigt schematisch die einfachste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Anordnung mit einer Strahlungsquelle 3 (z.B. einem Laser), einem Etalon 1 und einer Intensitäts-Messeinrichtung 5, die derart angeordnet ist, dass sie von der Strahlungsquelle 3 erzeugte Strahlung, die auf den Etalon 1 einfällt und entsprechend dem Transmissionsgrad durch diesen hindurchtritt, misst. Der Etalon 1 befindet sich in einer ersten Drehposition. In Fig. 9 ist die Anordnung in einem Zustand dargestellt, in dem sich der Etalon 1 in einer anderen Drehposition befindet, wobei die Drehposition eindeutig von der relativen Ausrichtung der relativ zueinander beweglichen Bauteile abhängt, die in Fig. 8 und Fig. 9 nicht dargestellt sind. Da sich die optische Dicke mit der Drehposition des Etalons 1, d.h. mit dem Neigungswinkel der auf den Etalon 1 einfallenden Strahlung ändert, ändert sich in der anhand von Fig. 3 und Fig. 4 beschriebenen Weise auch die Intensität der auf die Messeinrichtung 5 einfallenden Strahlung.

Bei der Messeinrichtung 5 und auch in anderen Fällen handelt es sich z.B. um eine Fotodiode oder eine Anordnung mit mehreren Fotodioden, die für die durch den Etalon hindurchtretende oder aus ihm austretende, reflektierte Strahlung empfindlich ist/sind.

Bei der in Fig. 10 beschriebenen Variante der Anordnung aus Fig. 8 und Fig. 9 ist in dem Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle 3 und dem Etalon 1 ein Strahlteiler 7, z.B. ein semitransparenter Spiegel, vorgesehen, der aus dem Strahlengang einen Teil der Strahlung auskoppelt, welcher zu einer zweiten Intensitäts-Messeinrichtung 9 geleitet wird, z.B. ebenfalls zu einer Fotodiode. Die Messstrecke beginnt in diesem Fall an dem Strahlteiler 7 und endet an dem Etalon 1. Die Messstrecke kann jedoch auch kürzer sein, z. B. wenn im Strahlengang nach dem Strahlteiler 7 noch eine Umlenkeinrichtung folgt, die die Strahlung in die Messstrecke einkoppelt. Entsprechendes gilt für die Auskopplung der Strahlung aus der Messstrecke über eine Umlenkeinrichtung am Ende der Messstrecke.

Durch Bildung z.B. des Quotienten der Intensitätsmesswerte der Messeinrichtungen 5, 9 kann ein Maß für den Anteil der durch den Etalon 1 hindurchtretenden Strahlung gewonnen werden. Insbesondere ist dieses Maß unabhängig von zeitlichen Schwankungen der Intensität der von der Strahlungsquelle 3 erzeugten elektromagnetischen Strahlung und kann daher zur Feststellung solcher Schwankungen und optional zur Korrektur genutzt werden. Alternativ kann die Messstrecke zwischen der Strahlungsquelle 3 und dem Strahlteiler 7 liegen. Dadurch steht für Veränderungen der Intensität der durch den Etalon 1 hindurchtretenden Strahlung eine Referenz zur Verfügung.

Eine Baugruppe mit dem Strahlteiler 7 und der Intensitäts-Messeinrichtung 9, die zum Beispiel in Fig. 10 dargestellt sind, kann auch bei anderen Messanordnungen verwendet werden, die insbesondere ebenfalls zumindest eine Strahlungsquelle, zumindest einen Etalon und zumindest eine weitere Intensitäts-Messeinrichtung zur Messung der Intensität der aus dem Etalon austretenden Strahlung aufweisen. Gegenüber der noch anhand von Fig. 23 zu beschreibenden Baugruppe, die alternativ zur Intensitätsmessung verwendet werden kann, hat die Baugruppe mit dem Strahlteiler 7 und der Intensitäts-Messeinrichtung 9 den Vorteil, dass der Strahlengang ab dem Ende der Messstrecke immer der gleiche ist. Daher sind insbesondere schnelle Messungen mit hoher Genauigkeit möglich.

Fig. 11 stellt eine Variante der Anordnung aus Fig. 10 dar. Der aus dem Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle 3 und dem Etalon ausgekoppelte Teil der Strahlung wird auf einen zweiten Strahlteiler 11 gelenkt, bei dem es sich wiederum um einen semitransparenten Spiegel handeln kann. Ein erster Teil der auf den zweiten Strahlteiler 11 auftreffenden Strahlung wird zu einem zweiten Etalon 2 gelenkt, der im Gegensatz zu dem ersten Etalon 1 seine Ausrichtung nicht abhängig von der relativen Ausrichtung des ersten und zweiten Bauteils (nicht in Fig. 11 dargestellt) ändert, d.h. davon unabhängig ist. Alternativ oder zusätzlich kann der erste Etalon 1 zum Beispiel für die Strahlung doppelbrechend wirken und daher einer Abstandsmessung dienen. Ein zweiter Teil der auf den zweiten Strahlteiler auftreffenden Strahlung wird einer zweiten Intensitäts-Messeinrichtung 13 zugeführt, die dieselbe Funktion hat, wie die in Fig. 10 dargestellte zweite Messeinrichtung 9.

Die auf den zweiten Etalon 2 einfallende Strahlung tritt entsprechend dem Transmissionsgrad des zweiten Etalons 2 teilweise durch diesen hindurch und ihre Intensität wird von einer dritten Intensitäts-Messeinrichtung 15, z.B. wiederum einer Fotodiode, gemessen. Wie oben bereits vor der Figurenbeschreibung beschrieben, kann auf diese Weise unabhängig von Schwankungen der Wellenlänge und/oder der Intensität der von der Strahlungsquelle 3 emittierten elektromagnetischen Strahlung die Relativposition der beiden Bauteile gemessen werden. Ändert sich aufgrund der Änderung der Wellenlänge der wirksame Transmissionsgrad des ersten Etalons 1, dann ändert sich vorzugsweise in der gleichen Weise (weil es sich z.B. um ein baugleiches zweites Etalon handelt) auch der wirksame Transmissionsgrad des zweiten Etalons 2 und dies wird daher durch die dritte Intensitäts-Messeinrichtung 15 festgestellt. Insbesondere ist das Verhältnis der von den Messeinrichtungen 13, 15 gemessenen Intensitäten konstant, wenn sich die Intensität der einfallenden Strahlung ändert. Dies ermöglicht eine Korrektur oder zumindest eine Überprüfung, ob eine Intensitätsänderung stattgefunden hat.

Im Übrigen kann die Auswertung insbesondere in der gleichen Weise stattfinden wie anhand von Fig. 10 beschrieben.

Als optionales Merkmal enthält die Anordnung in Fig. 11 eine vierte Intensitäts-Messeinrichtung 8, die die Intensität der von dem zweiten Etalon 2 reflektierten, auf diesen einfallenden elektromagnetischen Strahlung misst. Dadurch ist es beispielsweise möglich, die von dem zweiten Etalon 2 absorbierte Strahlungsintensität zu bestimmen, die bei den momentan gegebenen Messbedingungen von dem zweiten Etalon 2 absorbiert

wird. Außerdem kann ähnlich wie bereits anhand von Fig. 10 und Fig. 11 beschrieben eine Berücksichtigung von Schwankungen der von der Strahlungsquelle 3 erzeugten Strahlungsintensität stattfinden. Eine konstante, die auch bei entsprechender Messung des an dem ersten Etalon 1 reflektierten Strahlungsanteils gültig wäre, kann durch Bildung der Summe der Strahlungsintensitäten der Messeinrichtungen 8, 15 und durch Division der Summe durch die von der Messeinrichtung 13 gemessene Intensität erhalten werden. Wird die Strahlungsintensität der von der Strahlungsquelle 3 erzeugten Strahlung größer, dann wird der Quotient kleiner und kann auch der Messwert der ersten Messeinrichtung 5 entsprechend korrigiert werden. Ändert sich die Wellenlänge der Strahlung, ändert sich auch der von den Etalons 1 und 2 absorbierte Anteil und führt z.B. bei einer Erhöhung des absorbierten Anteils zu einer Verringerung des Quotienten. Wiederum kann dann auch der Messwert der ersten Messeinrichtung 5 entsprechend korrigiert werden.

Eine Baugruppe mit dem Etalon 2, der Intensitäts-Messeinrichtung 8 zur Intensitätsmessung der reflektierten Strahlung und der Intensitäts-Messeinrichtung 15 zur Messung der durchgehenden Strahlung, die zum Beispiel in Fig. 11 dargestellt sind, kann auch bei anderen Messanordnungen verwendet werden, die insbesondere ebenfalls zumindest eine Strahlungsquelle und optional zumindest einen weiteren Etalon aufweisen. Insbesondere kann eine solche Baugruppe anstelle des Etalons 1 und der Intensitäts-Messeinrichtung 5 in Fig. 11 vorgesehen sein. Durch die Messung der Intensitäten der aus dem Etalon austretenden Strahlung, sowohl in Reflexionsrichtung als auch in Transmissionsrichtung kann die Messsicherheit erhöht werden insbesondere, wie oben erwähnt, auch die Intensität der von dem Etalon absorbierten Strahlung bestimmt werden.

Alternativ kann die Baugruppe lediglich eine der Intensitäts-Messeinrichtungen 8, 15 aufweisen, d.h. es wird lediglich entweder die Intensität der von dem Etalon reflektierten Strahlung oder die Intensität der durch den Etalon hindurchtretenden Strahlung gemessen. Insbesondere bei Messung der Intensität der reflektierten Strahlung wird es bevorzugt, dass die Messstrahlung unter einem kleinen Winkel von zum Beispiel maximal 1° bis 3° geneigt gegen die Oberflächennormale auf den Etalon einfällt. Da bei der Hin- und Herreflexion der Strahlung innerhalb des Etalon zwischen den Reflektoren in diesem Fall jeweils pro Reflexion ein Parallelversatz der Strahlung stattfindet, kann so die wieder aus dem Etalon austretende reflektierte Strahlung gegen die direkt an der Oberfläche des Etalon reflektierte Strahlung versetzt werden. Die Neigung in Neutralposition ist aber

vorzugsweise so groß, dass im Fall der Messung der relativen Ausrichtung von Bauteilen auch bei dem maximal möglichen Drehwinkel der Bauteile noch eine Neigung besteht.

Fig. 12 zeigt schematisch eine Anordnung, mit der gleichzeitig die relativen Ausrichtungen von drei Paaren von relativ zueinander beweglichen Bauteilen gemessen werden können. Dabei kann es sich um sechs verschiedene Bauteile handeln oder zumindest ein Bauteil in zwei verschiedenen Paaren kann dasselbe Bauteil sein. Insbesondere ist in den drei Paaren von Bauteilen ein Bauteil das gleiche Bauteil. Ein entsprechendes Ausführungsbeispiel wird noch näher erläutert.

Für jede der drei Messungen wird Strahlung auf jeweils ein Etalon eingestrahlt. Es wird Strahlung aus derselben Strahlungsquelle 3 dafür verwendet. In dem Ausführungsbeispiel wird die von der Strahlungsquelle 3 erzeugte Strahlung zunächst einem ersten Strahlteiler 17 zugeführt, der einen Teil der Strahlung auskoppelt und einem ersten Etalon 12 zuführt. Jedem der drei Etalons 1, 12, 14 ist eine Intensitäts-Messeinrichtung 4, 5, 6 zugeordnet, die die durch den jeweiligen Etalon hindurchgetretene Strahlung bezüglich ihrer Intensität misst.

Der nicht ausgekoppelte Teil der Strahlung, der auf den ersten Strahlteiler 17 einfällt, wird zu einem zweiten Strahlteiler 7 gelenkt oder trifft auf diesen auf, wobei der zweite Strahlteiler 7 einen Teil der Strahlung auskoppelt und einer Referenzintensitäts-Messeinrichtung 9 zuführt, die insbesondere die Funktion der Messeinrichtung 9 aus Fig. 10 hat. Ein anderer Teil der auf den zweiten Strahlteiler 7 auftreffenden Strahlung wird einem dritten Strahlteiler 19 zugeführt oder trifft darauf auf, der einen Teil der Strahlung auskoppelt und einem zweiten Etalon 14 zuführt. Ein weiterer Teil der auf den dritten Strahlteiler 19 auftreffenden Strahlung wird einem dritten Etalon 1 zugeführt oder trifft darauf auf.

Die Intensität-Messung der aus zumindest einem der Etalons austretenden Strahlung kann insbesondere wie zuvor beschrieben anders ausgestaltet sein. Zum Beispiel kann sowohl die Intensität der austretenden Strahlung in Reflexionsrichtung als auch die Intensität der austretenden Strahlung in Transmissionsrichtung gemessen werden. Insbesondere kann die in Fig. 12 dargestellte Anordnung in entsprechender Weise wie in Fig. 11 dargestellt und oben beschrieben modifiziert werden. Auch kann variiert werden, welcher der hintereinander geschalteten Strahlteiler 17, 7, 19 die Strahlung für die Referenzmessung durch die Messeinrichtung 9 auskoppelt. Bei weiteren Varianten ist

eine andere Anzahl von Etalons vorgesehen, z.B. lediglich zwei oder mehr als drei Etalons. Jeder der Etalons wird aber vorzugsweise mit elektromagnetischer Strahlung bestrahlt, die nicht durch einen der anderen Etalons hindurchgetreten ist oder von diesem reflektiert worden ist. Insbesondere kann jeder der Etalons entweder für die Messung der relativen Ausrichtung zweier Bauteile, die Messung des Abstandes der Bauteile oder sowohl für die Messung des Abstandes als auch der relativen Ausrichtung der Bauteile verwendet werden.

Generell wird bevorzugt, wenn wenigstens einer der Etalons der Messeanordnung oder der einzige Etalon der Messeanordnung zur Abstandsmessung verwendet wird, dass die zumindest eine Strahlungsquelle (z. B. ein Laser als Quelle linear polarisierter Strahlung) mit einem $\lambda/4$ -Element zur Erzeugung zirkular polarisierter Strahlung kombiniert wird. Dabei kann optional zwischen der Strahlungsquelle und dem $\lambda/4$ -Element ein optischer Isolator und/oder einer Lochblende im Strahlengang (das heißt in Ausbreitungsrichtung der Messstrahlung) angeordnet sein.

Bei der in Fig. 13 dargestellten Anordnung handelt es sich wiederum um eine schematische Darstellung, die wie anhand von Fig. 10 bis Fig. 12 beschrieben modifiziert werden kann. Z.B. kann zumindest ein entsprechender Strahlteiler zusätzlich vorgesehen sein, vorzugsweise im Strahlengang hinter der Lochblende 21, auf die die von der Strahlungsquelle 3 erzeugte elektromagnetische Strahlung auftrifft und teilweise durch diese hindurchtritt. Die hindurchgetretene Strahlung erreicht einen optischen Isolator 23, um Rückreflexe zu dem Laser zu vermeiden. Bei einer Variante der in Fig. 13 dargestellten Anordnung ist lediglich entweder die Lochblende 21 oder der optische Isolator 23 vorhanden. In vielen Fällen reicht dies aus. Die durch den optischen Isolator hindurchgetretene Strahlung erreicht eine Zerstreuungslinse 25 und anschließend eine Sammellinse 27, die derart ausgestaltet und aufeinander abgestimmt sind, dass eine Strahlaufweitung stattfindet und die im Strahlengang hinter der Sammellinse 27 vorhandene Strahlung auf parallelen Strahlen auf den Etalon 1 auftrifft. Die durch diesen Etalon 1 hindurchtretende Strahlung wird von einer Messeinrichtung 5 bezüglich der Intensität gemessen. Wiederum ist die Intensität der hindurchtretenden Strahlung von der Drehstellung des Etalons 1 abhängig.

Fig. 14 zeigt eine Modifikation der in Fig. 13 dargestellten Anordnung. Wie auch in den vorangegangenen Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit denselben

Bezugszeichen bezeichnet. Ebenfalls findet eine Strahlaufweitung statt, jedoch nicht mit einer Zerstreuungslinse 25 und der in Fig. 13 folgenden Sammellinse 27, sondern mit einer ersten Sammellinse 24, im Strahlengang gefolgt von einer Lochblende 28 und einer zweiten Sammellinse 26. Die Elemente 24, 26, 28 sind wiederum derart aufeinander abgestimmt, dass die im Strahlengang hinter der zweiten Sammellinse 26 vorhandene Strahlung auf parallelen Strahlen auf den Etalon 1 einfällt. Bei der in Fig. 14 gezeigten Variante ist lediglich der optische Isolator 23, nicht aber die Lochblende 21, vorhanden. Es können bezüglich der Elemente 21, 23 dieselben Modifikationen wie anhand von Fig. 13 erläutert vorgenommen werden.

Die in Fig. 13 und 14 dargestellten Messanordnungen können alternativ oder zusätzlich zum Zweck der Messung der relativen Ausrichtung zweier Bauteile zum Zweck der Abstandsmessung der Bauteile verwendet werden. In diesem Fall ist insbesondere im Strahlengang nach dem optischen Isolator 23 ein $\lambda/4$ -Element zur Erzeugung zirkular polarisierter Strahlung vorgesehen.

Die Messstrecke, über die hinweg sich die zirkular polarisierte Strahlung in der Abstandsrichtung der Bauteile ausbreitet, beginnt im Strahlengang frühestens mit dem $\lambda/4$ -Element. Optional kann in der jeweiligen Messanordnung zumindest eine Umlenkeinrichtung vorhanden sein, die ein Ende der Messstrecke darstellt. Zum Beispiel ist die Umlenkeinrichtung mit einem der beiden Bauteile verbunden und lenkt die Messstrahlung am Beginn der Messstrecke in die Messstrecke hinein oder am Ende der Messstrecke aus der Messstrecke heraus. Der Etalon liegt im Strahlengang nach der Messstrecke.

Fig. 15 und Fig. 16 zeigen schematisch eine Einrichtung mit einem ersten Bauteil 31 und einem zweiten Bauteil 32, die relativ zueinander beweglich sind. Bei der Einrichtung handelt es sich insbesondere um eine Einrichtung eines Koordinatenmessgeräts, z.B. einen Tastkopf. In diesem Fall kann das erste Bauteil 31 z.B. mit einem Arm oder einer Pinole eines Koordinatenmessgeräts fest verbunden werden oder sein und kann das zweite Bauteil 32 einen Taster oder Sensor des Koordinatenmessgeräts tragen. Der Sensor ist z.B. ein optischer Sensor zum optischen Abtasten eines Werkstücks und dadurch zum Erzeugen von Messwerten von Koordinaten des Werkstücks. Der Sensor kann aber auch ein mechanischer Sensor sein, der mittels eines mechanischen Tasters die Oberfläche eines Werkstücks taktil antastet, um Informationen über die Koordinaten

des Werkstücks zu gewinnen. Bei einer Variante kann die in Fig. 15 und Fig. 16 dargestellte Einrichtung selbst die Sensorik aufweisen.

In jedem Fall ist es das Ziel, die Relativbewegung der Bauteile 31, 32 zu messen, und zwar in der linearen Richtung, die horizontal in Fig. 15 und Fig. 16 verläuft. Die Bauteile 31, 32 sind im dem konkreten Ausführungsbeispiel über elastisch verformbare Teile 32, 33 und formstabile Teile 34a, 34b in der Art eines Federparallelogramms miteinander verbunden. Wie Fig. 16 im Vergleich zu Fig. 15 zeigt, können die Teile 34a, 34b aufgrund der elastisch verformbaren Teile 32a, 32b sowie 33a, 33b ihre Ausrichtung relativ zu dem ersten Bauteil 31 und dem zweiten Bauteil 32 ändern. Dies geschieht insbesondere dann, wenn eine entsprechende Auslenkungskraft an dem zweiten Bauteil 32 angreift und dieses wie in Fig. 16 dargestellt nach links aus der in Fig. 15 dargestellten Neutralposition auslenkt. Die elastisch verformbaren Teile 32, 33 sind jeweils paarweise an dem ersten Bauteil 31 und an dem zweiten Bauteil 32 befestigt und bilden Verbindungen zwischen den Bauteilen 31 und 34 bzw. den Bauteilen 34 und dem zweiten Bauteil 32. In dem konkret dargestellten Ausführungsbeispiel ist jeweils ein Paar elastisch verformbarer Teile 32a, 32b zur Verbindung des ersten Bauteils 31 mit jeweils einem der Bauteile 34a, 34b vorgesehen und ein Paar elastisch verformbarer Bauteile 33a, 33b für die Verbindung zwischen den Bauteilen 34a bzw. 34b und dem zweiten Bauteil 32 vorgesehen.

In der vorgeschlagenen Messanordnung ist ein Etalon 1 mit einem der Bauteile 34a, 34b, nämlich hier mit dem Bauteil 34a, fest verbunden. Ferner ist eine Strahlungsquelle 3, z.B. ein Laser, fest mit dem ersten Bauteil 31 verbunden. Außerdem ist ein Strahlungsreflektor 29 vorgesehen, der von der Strahlungsquelle 3 erzeugte elektromagnetische Strahlung in Richtung des Etalons 1 reflektiert, sodass diese durch den Etalon 1 hindurchtritt und auf eine Strahlungs-Messeinrichtung 5 fällt. Dadurch wird wie bereits beschrieben die Intensität der gemäß dem Transmissionsgrad des Etalons 1 hindurchtretenden Strahlung gemessen. Es können die in den vorangegangenen Figuren beschriebenen Modifikationen an dem messtechnischen Aufbau vorgesehen sein, z.B. die Referenzintensitätsmessung und/oder die Strahlaufweitung.

Durch Messung des Neigungswinkels des Teils 34a relativ zu dem ersten Bauteil 31 kann auch die Relativposition der Bauteile 31, 32 eindeutig bestimmt werden, da es sich um das beschriebene Federparallelogramm handelt. In der oben, vor der Figurenbeschreibung verwendeten Terminologie sind das erste Bauteil 31 und das Teil

34a das erste und zweite Bauteil, welche ihre Ausrichtung relativ zueinander ändern können, d.h. relativ zueinander beweglich sind.

Fig. 17 zeigt eine Ausführungsform des bereits anhand von Fig. 12 beschriebenen Prinzips, wonach mehrere Etalons 1, 12, 14 mit elektromagnetischer Strahlung aus derselben Strahlungsquelle 3 bestrahlt werden können und verschiedene Freiheitsgrade der Bewegung messen können. Es handelt sich z.B. um eine Einrichtung, die als Tastkopf für ein Koordinatenmessgerät verwendbar ist, ähnlich wie bereits zu Fig. 15 und Fig. 16 beschrieben wurde.

Das feststehende erste Bauteil 31, das dem Bauteil 31 aus Fig. 15 und 16 entspricht, wird z.B. an den Arm oder die Pinole eines Koordinatenmessgeräts fest angekoppelt. Relativ zu diesem ersten Bauteil 31 beweglich, über zumindest ein elastisch verformbares Element 37a, ist ein zweites Bauteil 35 vorgesehen, das sich in der in Fig. 17 vertikal verlaufenden Richtung (z-Richtung) bewegen kann. Mit ihm fest verbunden ist ein erster Etalon 12. Bewegt sich das zweite Bauteil 35 in der z-Richtung, ändert sich auch die Ausrichtung des von ihm getragenen ersten Etalons 12.

Insbesondere durch eine Öffnung in der Anordnung wird elektromagnetische Strahlung von einer Strahlungsquelle 3 (z.B. einem Laser) in den Innenraum der dargestellten Einrichtung eingestrahlt und trifft auf einen ersten Strahlteiler 17, der an dem ersten Bauteil 31 befestigt ist. Ein Teil der auf den Strahlteiler 17 einfallenden Strahlung wird durch diesen hindurch zu dem ersten Etalon 12 transmittiert. Ein weiterer Teil der auftreffenden Strahlung wird von dem ersten Strahlteiler 17 umgelenkt und tritt durch eine Öffnung in dem zweiten Bauteil 35 oder durch einen für die Strahlung transparenten Teil hindurch (in z-Richtung) und tritt ferner durch einen unterhalb des zweiten Bauteils 35 angeordnetes drittes Bauteil 36 hindurch. Dieses dritte Bauteil 36 ist über zumindest ein weiteres elastisch verformbares Teil 37b mit dem zweiten Bauteil 35 beweglich verbunden. Ferner ist das dritte Bauteil 36 aus Stabilitätsgründen über ein weiteres elastisch verformbares Teil 37c beweglich mit dem ersten Bauteil 31 verbunden. Das dritte Bauteil 36 ist aufgrund dieser verschiedenen elastischen Bauteile 37a, 37b, 37c relativ zu dem ersten Bauteil 31 in der z-Richtung beweglich. Bei Bewegung des unteren Bereichs 43 der gesamten Einrichtung, bei dem es sich um eine Schnittstelle zum Koppeln weiterer Bauteile (z.B. eines taktilen Tasters zum Abtasten von Werkstücken) handeln kann, in z-Richtung bewegt sich auch das zweite Bauteil 35 in der z-Richtung.

Das zweite Bauteil 36 trägt eine zweite Intensitäts-Messeinrichtung 6 für das zweite Etalon 14, auf dessen Funktion noch näher eingegangen wird.

Ein viertes Bauteil 38 ist relativ zu dem dritten Bauteil 36 in einer linearen Richtung (x-Richtung) beweglich, wobei die x-Richtung in der Darstellung der Fig. 17 horizontal verläuft. Allgemeiner formuliert verlaufen die x-Richtung und die z-Richtung sowie eine weitere noch zu erläuternde y-Richtung jeweils paarweise senkrecht zueinander. Die Beweglichkeit des dritten Bauteils 36 und des vierten Bauteils 38 sind so ausgestaltet, wie bereits anhand von Fig. 15 und Fig. 16 für die dort vorkommenden Bauteile 31, 32 erläutert wurde. Daher sind zur Ausbildung eines Federparallelogramms ebenfalls in der Ausgestaltung der Fig. 17 Bauteile 34a, 34b vorhanden, die jeweils über Paare von elastisch verformbaren Bauteilen 32a, 32b sowie 33a, 33b die bewegliche Kopplung zwischen dem dritten Bauteil 36 und dem vierten Bauteil 38 herstellen. An dem Teil 34a ist der zweite Etalon 14 befestigt. Die von dem ersten Strahlteiler 17 umgelenkte Strahlung tritt wie erwähnt durch das zweite Bauteil 35 und auch durch das dritte Bauteil 36 hindurch und trifft auf einen zweiten Strahlteiler 19, der ein Teil der auftreffenden Strahlung zu dem zweiten Etalon 14 umlenkt. Die Intensität der durch den zweiten Etalon 14 hindurchgetretenen Strahlung wird von der zweiten Messeinrichtung 6 gemessen.

In der gleichen Art wie die Kopplung zwischen dem dritten Bauteil 36 und dem vierten Bauteil 38 ist das vierte Bauteil 38 mit einem fünften Bauteil 42 beweglich gekoppelt. Jedoch ist das entsprechende Federparallelogramm um 90° um die z-Achse der Anordnung gedreht, sodass die Beweglichkeit in der y-Richtung besteht, die senkrecht zu der Bildebene der Fig. 17 verläuft. Dementsprechend ist das vierte Bauteil 38 über ein erstes Paar von elastisch verformbaren Teilen 39a, 39b mit einem nicht formveränderlichen Teil 41b gekoppelt (ein weiteres nicht formveränderliches Teil 41a ist in Fig. 17 nicht erkennbar, da es hinter dem Teil 41b angeordnet ist). Ferner sind die nicht formveränderlichen Teile 41a, 41b über ein weiteres Paar von elastisch verformbaren Teilen 40a, 40b mit dem fünften Bauteil 41 verbunden, das den unteren Bereich 43 der Einrichtung trägt. Aus Stabilitätsgründen kann dieser untere Teil 43 der Einrichtung über nicht näher bezeichnete elastisch verformbare Teile einerseits mit dem ersten Bauteil 31 und andererseits mit dem dritten Bauteil 36 verbunden sein.

Mit dem Teil 41b ist der dritte Etalon 1 verbunden. Über nicht dargestellte Befestigungsmittel ist die dritte Intensitäts-Messeinrichtung 5 z.B. mit dem ersten Bauteil 31 oder dem dritten Bauteil 36 verbunden.

Die von dem zweiten Strahlteiler 19 nicht umgelenkte Strahlung tritt durch diesen hindurch und tritt ebenfalls durch das vierte Bauteil 38 hindurch und wird über einen nicht explizit dargestellten Strahlteiler oder Reflektor in Richtung des dritten Etalons 1 umgelenkt. Ansonsten erfolgt die Bestimmung der relativen Position der Bauteile 38, 42 in der gleichen Weise wie die Bestimmung der relativen Position der Bauteile 36, 38. Das Prinzip wurde anhand von Fig. 15 und Fig. 16 erläutert.

Fig. 18 zeigt schematisch eine Draufsicht auf eine Membranfeder 49, die Verdrehungen um 2 zueinander senkrecht verlaufende Drehachsen erlaubt. Die Membranfeder 49 ist im Wesentlichen aus konzentrisch zueinander angeordneten Bereichen 43, 45, 47 aufgebaut. Durch die Drehbeweglichkeit um die zwei Drehachsen sind der zentrale Bereich 43 und der periphere Bereich 47 relativ zueinander beweglich. Der zentrale Bereich 43 ist über zwei elastisch verformbare Kopplungsbereiche 44a, 44b mit einem mittleren Bereich 45 drehbeweglich um die in vertikaler Richtung in Fig. 18 verlaufende Drehachse gekoppelt. Der mittlere Bereich 45 ist über zwei elastisch verformbare Kopplungsbereiche 46a, 46b um die in horizontaler Richtung in Fig. 18 verlaufende Drehachse mit dem peripheren Bereich 47 beweglich gekoppelt. Die beiden Drehachsen verlaufen senkrecht zueinander in der Bildebene der Fig. 18 und kreuzen sich im Zentrum des zentralen Bereichs 43. Bei der Drehbewegung um die jeweilige Drehachse tordieren die jeweiligen entlang der Drehachse hintereinander angeordneten Kopplungsbereiche 44a, 44b bzw. 46a, 46b.

Zur Messung der Drehpositionen um die beiden Drehachsen ist eine Anordnung mit zwei Etalons 1, 12 vorgesehen. Ähnlich wie bereits anhand der vorangegangenen Figuren beschrieben ist jeweils eine Intensitäts-Messeinrichtung 4, 5 zur Messung der Intensität der durch den Etalon hindurchgetretenen Strahlung vorgesehen. Z.B. Strahlung aus derselben Strahlungsquelle (nicht in Fig. 18 dargestellt) wird im zentralen Bereich 43 erzeugt oder in diesen eingestrahlt und umgelenkt, sodass ein Teil der Strahlung wie durch Pfeile angedeutet durch den ersten Etalon 1 hindurchtritt, der fest mit dem mittleren Bereich 45 verbunden ist, und sodass ein anderer Teil der Strahlung durch den zweiten Etalon 12 hindurchtritt, der fest mit dem peripheren Bereich 47 verbunden ist.

Fig. 19 und Fig. 20 zeigen schematisch zwei Seitenansichten der Anordnung in Fig. 18 in verschiedenen Bewegungszuständen. Die Bewegungspositionen der Fig. 19 und Fig. 20 unterscheiden sich dadurch, dass der mittlere Bereich 45 relativ zu dem zentralen Bereich

43 um die in Fig. 18 vertikal verlaufende Drehachse gedreht wurde, wobei diese Drehachse in Fig. 19 und Fig. 20 senkrecht zur Bildebene verläuft.

Die von der Strahlungsquelle 3 erzeugte Strahlung (alternativ Strahlung, die in den zentralen Bereich 43 umgelenkt wird) wird wie durch einen Doppelpfeil in Fig. 19 und Fig. 20 dargestellt auf den ersten Etalon 1 eingestrahlt. In dem in Fig. 19 dargestellten Zustand steht die Oberfläche des Etalons 1 etwa senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Strahlung, während in Fig. 20 die Strahlung unter einem Neigungswinkel entsprechend der Drehbewegung auf die Oberfläche des Etalons 1 auftrifft. Dementsprechend hat sich gegenüber dem Zustand in Fig. 19 die optische Dicke des Etalons 1 für die hindurchtretende Strahlung geändert. Die entsprechende Intensitätsänderung ist ein Maß für die Veränderung der Drehposition.

Die in Fig. 21 dargestellte Seitenansicht hat Ähnlichkeiten mit der Darstellung in Fig. 19, da ebenfalls eine Membranfeder mit konzentrischen Bereichen 43, 45, 47 vorgesehen ist, wobei jedoch die Blickrichtung im Vergleich zu Fig. 19 in entgegengesetzte Richtung weist. Auch ist im zentralen Bereich der Einrichtung gemäß Fig. 21 keine Strahlungsquelle 3 vorgesehen, sondern ein Reflektor 48. Ferner ist mit dem peripheren Bereich 47 ein erstes Bauteil 31 verbunden, das ähnlich wie in der Ausführungsform der Fig. 15 und Fig. 16 sowie der Fig. 17 z.B. der Ankopplung an den Arm oder eine Pinole eines Koordinatenmessgeräts dient. Die Einrichtung ist in Fig. 21 nicht vollständig dargestellt. Z.B. kann mit dem zentralen Teil 43 ähnlich wie in Fig. 17 dargestellt ein Kopplungsbereich zum Koppeln der Einrichtung mit einem taktilen Taster zum Abtasten eines Werkstücks verbunden sein. Auch können weitere elastisch verformbare Elemente und nicht verformbare Bauteile vorgesehen sein, um die Anordnung zu stabilisieren.

Der mit dem ersten Bauteil 31 und damit mit dem peripheren Bereich 47 fest verbundene Laser (allgemeiner: Strahlungsquelle) erzeugt elektromagnetische Strahlung, die von dem Reflektor 48 in Richtung des Etalons 1 umgelenkt wird. Auf diese Weise kann ähnlich wie anhand von Fig. 19 und Fig. 20 erläutert wurde, eine Drehbewegung des zentralen Teils 43 um eine senkrecht zur Bildebene der Fig. 21 verlaufende Drehachse festgestellt werden. Optional ist zusätzlich außerdem ähnlich wie anhand von Fig. 18 erläutert wurde ein zweiter Etalon 12 vorgesehen. Allerdings ist dieser zweite Etalon fest mit dem zentralen Bereich 43 verbunden, wenn Strahlung aus derselben Strahlungsquelle 3 wie oben in Fig. 21 dargestellt auf den zweiten Etalon eingestrahlt wird.

Anhand von Fig. 22 wird nochmals das Prinzip der Integration von Etalons in Einrichtungen eines Koordinatenmessgeräts erläutert. Der mittlere und untere Teil der Fig. 22 zeigen ein an sich vorbekanntes Bauteil, das insbesondere bereits in der DE 10 2004 011 728 A1 (dort in Fig. 2) dargestellt ist und beschrieben wurde. Im oberen Bereich der Fig. 22 sind jedoch schematisch die Anordnung von zwei Etalons 1, 12 mit zugeordneten Intensitäts-Messeinrichtungen 5, 4 dargestellt sowie die Strahlungsausbreitungsrichtungen, die eingestrahlte elektromagnetische Strahlung nach Teilung durch einen Strahlteiler 17 durchläuft. Die Anordnung wird insbesondere im mittleren Bereich der Einrichtung 56 angeordnet, nämlich insbesondere so wie anhand von Fig. 18 bis Fig. 20 beschrieben wurde. Alternativ kann der zweite Etalon, wie ebenfalls bereits anhand von Fig. 21 beschrieben wurde, nicht mit dem peripheren Bereich, sondern mit dem zentralen Bereich der Membranfeder 52 verbunden werden. Die für die Bestrahlung der Etalons 1, 12 benötigte elektromagnetische Strahlung wird vorzugsweise, ähnlich wie anhand von Fig. 21 bereits erläutert wurde, von oben, parallel zur axialen Richtung, in den Bereich der Membranfeder 52 eingestrahlt und wie oben in Fig. 22 schematisch dargestellt durch einen Strahlteiler 17 in die zwei Messstrahlen aufgeteilt.

In Fig. 22 ist die Einrichtung 56 zum Beispiel ein Tastkopf für ein Koordinatenmessgerät. Ein Kinematikmodul des Tastkopfes besitzt ein feststehendes Gehäuseteil 68, das mit dem Gehäuse des Tastkopfes verbunden ist oder auch Bestandteil des Tastkopfgehäuses sein kann. Das Gehäuseteil 68 besitzt eine zylindrische Bauform. In seinem Inneren sind ein erstes und ein zweites zylinderschalenförmiges Teil 50, 51 angeordnet. Das erste zylinderschalenförmige Teil 50 ist über zwei Blattfedern 44, 46 beweglich an dem Gehäuseteil 68 befestigt. Das zweite zylinderschalenförmige Teil 51 ist über zwei weitere Blattfedern 58, 60 beweglich an dem ersten beweglichen Teil 50 befestigt. Dabei stehen sich die beiden beweglichen Teile 50, 51 diametral gegenüber. Insgesamt wird durch die Anordnung aus Gehäuseteil 68, den beweglichen Teilen 50, 51 sowie den Blattfedern 44, 46, 58, 60 ein sogenanntes Doppelfederparallelogramm gebildet. Dieses ermöglicht eine Auslenkung des Taststiftes in Z-Richtung gegenüber dem Gehäuseteil 68. Innerhalb des Doppelfederparallelogramms ist eine Membranfeder 52 angeordnet. Die Membranfeder 52 sitzt etwa mittig zwischen den Blattfedern 44, 58 auf der einen Seite des Doppelfederparallelogramms und den Blattfedern 60, 46 auf der anderen Seite. Sie ist ferner zwischen den beiden beweglichen Teilen 50, 51 befestigt und trägt eine Taststiftverlängerung 54. Die Taststiftverlängerung 54 ist ihrerseits mit dem Schaft 78 eines Taststifts verbunden. Durch die gezeigte Anordnung der Blattfedern 44, 46, 58, 60

und der Membranfeder 52 kann die Taststiftverlängerung 54 (und mit ihr der Taststift) in drei Raumrichtungen relativ zu dem feststehenden Gehäuseteil 68 ausgelenkt werden. In X- und Y-Richtung erfolgt die Auslenkung in einer Kardanebene 76, die durch die Membranfeder 52 festgelegt wird. Die Auslenkung senkrecht dazu, d.h. in Z-Richtung, wird durch das Doppelfederparallelogramm ermöglicht. Um die Größe der Auslenkungen des Taststiftes relativ zum Tastkopf zu bestimmen, wird insbesondere die Anordnung der Etalons 1, 12 verwendet.

Fig. 23 zeigt eine Baugruppe mit einer Umlenkeinrichtung 100, die z.B. ein Spiegel oder ein Reflektor ist. In der Figur von links einfallende Strahlung trifft auf die Umlenkeinrichtung 100 und wird abhängig von der veränderlichen Winkelstellung der Umlenkeinrichtung umgelenkt. In der dargestellten Winkelstellung ist die Umlenkeinrichtung 100 z.B. um den Winkel α aus der Neutralposition ausgelenkt. Die Richtung der umgelenkten Strahlung entspricht der Auslenkung.

Die umgelenkte Strahlung trifft bei jeder zulässigen Winkelstellung der Umlenkeinrichtung 100 auf ein (ein-oder zweidimensionales) Feld 104 von strahlungssensitiven Detektorelementen 104a-104d, wobei optional im Strahlengang zwischen der Umlenkeinrichtung 100 und dem Feld 104 zumindest ein optisches Element 102 vorgesehen ist, sodass insbesondere die Ortsauflösung der Detektion der umgelenkten Strahlung durch das Feld 104 vergrößert ist.

Die in Fig. 23 dargestellte Baugruppe kann statt der oben im Zusammenhang mit Fig. 10 erwähnten Baugruppe verwendet werden, da sie im Gegensatz zu einer einzelnen Intensitäts-Messeinrichtung 5 in Fig. 10 ein Feld von Detektorelementen besitzt, wobei jedes der Detektorelemente ebenfalls die Intensität der auftreffenden Strahlung misst, d.h. ein entsprechendes Intensitätssignal erzeugt.

Die in Fig. 24 schematisch dargestellte Anordnung weist einen Etalon 112 auf. Von links in der Figur auf den Etalon 112 einfallende Strahlung ist durch einen durchgehenden Pfeil dargestellt. Je nach Ausgestaltung und Funktionsweise der Messanordnung kann die Einfallrichtung der einfallenden Strahlung gegen die Oberflächennormale des Etalons 112 geneigt sein (wie dargestellt) oder nicht. In jedem Fall wird von der Baugruppe sowohl die Intensität der aus dem Etalon 112 austretenden Strahlung in Reflexionsrichtung (dargestellt durch gestrichelte Pfeile) als auch in Transmissionsrichtung (dargestellt durch

durchgehende Pfeile) gemessen. Außerdem wird durch einen polarisierenden Strahlteiler 107 im Strahlengang der reflektierten Strahlung und durch einen polarisierenden Strahlteiler 114 im Strahlengang der transmittierten Strahlung jeweils eine Aufteilung der aus dem Etalon 112 austretenden Strahlung in Anteile mit unterschiedlichen, insbesondere senkrecht zueinander stehenden Polarisationsrichtungen vorgenommen. Die Intensitäten der resultierenden Strahlungsanteile werden bezüglich der reflektierten Strahlung von einer ersten Intensitäts-Messeinrichtung 108 und von einer zweiten Intensitäts-Messeinrichtung 109 und bezüglich der transmittierten Strahlung von einer dritten Intensitäts-Messeinrichtung 115 und einer vierten Intensitäts-Messeinrichtung 116 gemessen. Ein polarisierender Strahlteiler kann auch als Strahlteiler mit Polarisationsfilter bezeichnet werden.

Die Baugruppe eignet sich daher insbesondere zur Abstandsmessung, wenn der Etalon 112 doppelbrechend wirkt und die Polarisationsrichtungen der Strahlteiler 107 und 114 auf die Richtung der aus dem Etalon 112 austretenden Strahlung abgestimmt sind, sodass die aufgrund der doppelbrechenden Wirkung des Etalons von dem Etalon unterschiedlich beeinflussten Strahlungsanteile der austretenden Strahlung mit den senkrecht zueinander stehenden Polarisationsrichtungen möglichst zu 100 % in die Strahlungsanteile aufgeteilt werden, deren Intensitäten dann von den Intensitäts-Messeinrichtungen 108, 109 sowie 115, 116 gemessen werden.

Bei der Baugruppe handelt es sich um eine bevorzugte Ausführungsform einer Baugruppe zum Messen der Intensitäten der unterschiedlich polarisierten Strahlungsanteile von zirkular polarisierter Strahlung, welche aus dem Etalon austritt. Da sowohl die reflektierte als auch die transmittierte Strahlung gemessen werden, ist die Eindeutigkeit der Messung erhöht. Alternativ könnte lediglich die reflektierte Strahlung gemessen werden oder die transmittierte Strahlung gemessen werden. Ferner ist es denkbar, für die reflektierte Strahlung lediglich die Intensität der Strahlung mit einer Polarisationsrichtung und für die transmittierte Strahlung lediglich die Strahlungsintensität der Strahlung mit der anderen Polarisationsrichtung zu messen.

Die nun anhand von Fig. 25 und Fig. 26 beschriebenen Umlenkeinrichtungen sind geeignet, die oben, vor der Figurenbeschreibung beschriebene Rollmessung zu ermöglichen.

Der in den Darstellungen oben von links nach rechts weisende Pfeil repräsentiert die auf die Umlenkeinrichtung 124 einfallende Strahlung, welche z.B. durch einen Strahlteiler 126 der Umlenkeinrichtung 124 oder auf andere Weise (z.B. durch Aufteilung in einen gebeugten und einen reflektierten, polarisierten Strahl) in zwei umgelenkte Strahlengänge aufgeteilt wird. Dabei ist vorzugsweise die Strahlung in einem der umgelenkten Strahlengänge polarisiert oder anders polarisiert als die einfallende Strahlung, während die Strahlung in dem anderen umgelenkten Strahlengang entweder nicht polarisiert ist oder anders als in dem anderen umgelenkten Strahlengang polarisiert ist oder genauso wie die auf die Umlenkeinrichtung 124 einfallende Strahlung polarisiert ist. In jedem Fall unterscheiden sich die Polarisationszustände der Strahlungen auf den beiden umgelenkten Strahlengängen. Dabei ist der Polarisationszustand des Strahlungsanteils auf dem ersten umgelenkten Strahlengang von der Drehstellung der Umlenkeinrichtung abhängig. Würde die Umlenkeinrichtung 124 daher eine um eine in der Figurenebene horizontal verlaufende Drehachse andere Drehstellung einnehmen, wäre auch der Polarisationszustand des Strahlungsanteils auf den ersten Strahlengang anders.

Bei der Ausführungsform in Fig. 25 findet die Polarisation (abhängig von der Drehstellung der Umlenkeinrichtung 124) innerhalb der Umlenkeinrichtung 124 bzw. durch die Reflexion oder Beugung statt, die die Umlenkeinrichtung bewirkt. Dagegen ist bei der Ausführungsform in Fig. 26 ein zusätzlicher Polarisator 128 vorgesehen, der in Kombination mit der Umlenkeinrichtung 124 die Polarisation abhängig von der Drehstellung der Umlenkeinrichtung 124 erzeugt, z.B. da er z. B. Strahlung mit bestimmten Polarisationszuständen ohne Schwächung oder nahezu ohne Schwächung passieren lässt, während er Strahlung mit anderen Polarisationszuständen nicht oder stark geschwächt passieren lässt. In allen Varianten kann es sich bei der Umlenkeinrichtung 124 z.B. um einen Retroreflektor handeln.

Die in Fig. 27 dargestellte Anordnung weist eine Strahlungsquelle 130 auf, z.B. zumindest einen Laser, der linear polarisierte Strahlung erzeugt. Im Strahlengang der von der Strahlungsquelle 130 erzeugten Strahlung folgt zunächst nach rechts in Fig. 27 ein optischer Isolator 132 und dann ein $\lambda/4$ -Element 134 zur Erzeugung von zirkular polarisierter Strahlung. Außerdem kann die optische Strahlaufbereitung vorgesehen sein, die zum Beispiel bereits anhand anderer Figuren beschrieben wurde, zum Beispiel in Fig. 13 und 14. Diese Strahlung trifft auf einen Strahlteiler 137, der die auftreffende Strahlung in zwei Strahlengänge aufteilt, wobei der Polarisationszustand in beiden Strahlengängen

am Ort des Strahlteilers 137 gleich sind und wobei der Strahlteiler 137 unabhängig von der Intensität der auf ihn auftreffenden Strahlung vorzugsweise immer Strahlungsanteile mit demselben Verhältnis ihrer Intensitäten erzeugt. Der eine Strahlengang führt in Fig. 27 nach oben auf eine Baugruppe, die dazu dient, Referenzmesswerte zu erzeugen. Oben wurde bereits mehrfach, z.B. anhand von Fig. 10, die Messung eines Referenzwertes der Strahlungsintensität beschrieben. Die Referenzbaugruppe in Fig. 27 oberhalb des Strahlteilers 137 unterscheidet sich davon dadurch, dass die Baugruppe einen Etalon 138 mit insbesondere denselben Eigenschaften wie ein zweiter Etalon 146 aufweist, welcher die Strahlung empfängt, die sich über die Messstrecke ausgebreitet hat. Dies wird noch näher beschrieben.

Die Referenzbaugruppe weist außer dem ersten Etalon 138 (der das nächstgelegene Element der Referenzbaugruppe zu dem Strahlteiler 137 ist) einen polarisierenden Strahlteiler 140 und zwei Intensitäts-Messeinrichtungen 142, 144 auf. Der Strahlteiler 140 und die beiden Intensitäts-Messeinrichtungen 142, 144 funktionieren z.B. in der gleichen Weise wie der Strahlteiler 114 und die Intensitäts-Messeinrichtungen 115, 116 aus Fig. 24. Es werden daher die Intensitäten der beiden unterschiedlich polarisierten Anteile der aus dem ersten Etalon 138 austretenden Strahlung gemessen. Somit stehen Referenz-Intensitätswerte für die beiden Strahlungsanteile unterschiedlicher Polarisation zur Verfügung. Die Referenzbaugruppe kann insbesondere so justiert werden, dass in einer Neutralstellung der beiden relativ zueinander linear beweglichen Bauteile von den Intensitäts-Messeinrichtungen der Referenzbaugruppe dasselbe Intensitätsverhältnis gemessen wird wie von entsprechenden Intensitäts-Messeinrichtungen der Messbaugruppe mit dem zweiten Etalon 146. Wenn die Bauteile daher in die Neutralstellung relativ zueinander gebracht werden oder in eine Stellung, in der dasselbe Verhältnis der Intensitäten der beiden unterschiedlich polarisierten Strahlungsanteile der Strahlung erzielt wird, kann analog wie oben zu Fig. 10 und Fig. 11 beschrieben ein Abgleich mit Hilfe der Referenzmesswerte stattfinden. Insbesondere kann mit der Referenzbaugruppe eine Intensitätsschwankung und/oder ein Driften der Intensität der von der Strahlungsquelle erzeugten oder der am Strahlteiler 137 auftreffenden Strahlung korrigiert werden.

Der von dem Strahlteiler 137 nach rechts in Fig. 27 verlaufende Strahlengang stellt die Messstrecke dar. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel endet die Messstrecke an einem Reflektor 136, bei dem es sich z.B. um einen Spiegel oder um einen Retroreflektor handeln kann. Der Reflektor 136 reflektiert die Messstrahlung zurück auf den Strahlteiler

137, sodass die Messstrecke aufgrund der Reflexion doppelt so groß ist und daher die Auflösung der Abstandsmessung verbessert ist.

Alternativ kann sich dort, wo der Reflektor 136 dargestellt ist, die Messbaugruppe mit dem zweiten Etalon und den zusätzlichen Intensitäts-Messeinrichtungen befinden. Wiederum alternativ kann sich am Ort des in Fig. 27 dargestellten Reflektors 136 eine Umlenkeinrichtung befinden, z.B. die Umlenkeinrichtung 100 aus Fig. 23, wobei jedoch zusätzlich zu der anhand von Fig. 23 beschriebenen Baugruppe im Strahlengang der umgelenkten Strahlung der zweite Etalon angeordnet ist, gefolgt von einem Strahlteiler. Jeweils ein Feld von strahlungsempfindlichen Messsensoren (wie in Fig. 23 dargestellt) kann daher für beide Strahlengänge vorgesehen sein, die der erwähnte polarisierende Strahlteiler im Strahlengang nach dem zweiten Etalon erzeugt. Alternativ kann statt einem Detektorfeld, das die Messung einer Verkipfung der Umlenkeinrichtung ermöglicht, nur eine Intensitäts-Messeinrichtung vorhanden sein, die lediglich einen einzigen Intensitäts-Messwert liefern kann, der der am Ort der Messeinrichtung auftreffenden Strahlung entspricht. In diesem Fall findet keine orts aufgelöste Messung statt. Alternativ oder zusätzlich kann statt der Umlenkeinrichtung 100 aus Fig. 23 z.B. die Umlenkeinrichtung aus Fig. 25 oder die Anordnung aus Fig. 26 vorgesehen sein.

Die Umlenkeinrichtung aus Fig. 25 und die Anordnung aus Fig. 26 ermöglichen die bereits beschriebene Rollmessung, d.h. die Bestimmung der Drehung der relativ zueinander beweglichen Bauteile um die Richtung der Messstrecke, und zwar durch dieselbe Messanordnung, die auch den Abstand der Bauteile über die Länge der Messstrecke misst.

Allgemein formuliert definiert daher der Strahlteiler 137 aus Fig. 27 den Beginn der Messstrecke und entweder ein Reflektor 136, eine Umlenkeinrichtung oder die Messbaugruppe das andere Ende der Messstrecke. Die genannten Elemente, die die entgegengesetzten Enden der Messstrecke definieren, sind so mit den relativ zueinander beweglichen Bauteilen verbunden oder gekoppelt, dass deren Relativbewegung messbar ist, da die Relativbewegung die Länge der Messstrecke ändert und wiederum die Länge der Messstrecke gemessen wird.

In dem Ausführungsbeispiel der Fig. 27 fällt die von dem Reflektor 136 auf den Strahlteiler 137 zurückreflektierte Strahlung auf den Strahlteiler 137 ein und wird zumindest teilweise zu der Messbaugruppe umgelenkt. Die Messbaugruppe weist im Strahlengang von dem

Strahlteiler 136 nächstliegend zunächst den zweiten Etalon 146 auf und dann einen polarisierenden Strahlteiler 148, der wie auch der Strahlteiler 140 der Referenzbaugruppe die aus dem Etalon austretende transmittierte Strahlung in die beiden Anteile mit unterschiedlichen, insbesondere senkrecht zueinander stehenden Polarisationsrichtungen aufteilt. Die Intensität des einen aufgeteilten Strahlungsanteils wird von einer dritten Intensitäts-Messeinrichtung 150 und die Intensität des anderen Strahlungsanteils von einer vierten Intensitäts-Messeinrichtung 152 gemessen.

Bei der Variante, die in Fig. 28 dargestellt ist, befindet sich zwischen dem ersten Strahlteiler 137 und dem zweiten Etalon 146 noch ein weiterer Strahlteiler 145. Die von dem ersten Strahlteiler 137 in Richtung des zweiten Etalons 146 umgelenkte Messstrahlung passiert den weiteren Strahlteiler 145 zunächst möglichst ungeschwächt und trifft auf den zweiten Etalon 146 auf. Der wieder aus dem Etalon austretende Strahlungsanteil in Reflexionsrichtung jedoch wird von dem weiteren Strahlteiler 145 umgelenkt und trifft auf einen weiteren Teil der Messbaugruppe mit einem polarisierenden Strahlteiler 158, der analog wie der Strahlteiler 148 funktioniert und die auf ihn auftreffende Strahlung in die zwei Anteile mit den unterschiedlichen Polarisationsrichtungen aufteilt. Deren Intensitäten werden von einer fünften Intensitäts-Messeinrichtung 154 und einer sechsten Intensitäts-Messeinrichtung 156 gemessen. Statt des weiteren Strahlteilers 145 wird vorzugsweise ein lediglich einseitig reflektierender Reflektor verwendet, sodass die von dem ersten Strahlteiler 137 ausgehende Messstrahlung nahezu ungehindert auf den zweiten Etalon 146 einfällt und die von dem Etalon 146 reflektierte Strahlung aber nahezu vollständig in Richtung des polarisierenden Strahlteilers 158 reflektiert wird.

Selbstverständlich kann bei anderen Ausführungsformen auf die Referenzbaugruppe verzichtet werden, wenn eine Referenzmessung nicht benötigt wird oder nicht gewünscht wird.

Ferner kann, ähnlich wie bereits anhand von Fig. 12 beschrieben wurde, die von der Strahlungsquelle aus gesehen auf den ersten Strahlteiler 137 auftreffende Strahlung in zumindest zwei Strahlengänge aufgeteilt werden, von denen zumindest einer nochmals in zumindest zwei Strahlengänge aufgeteilt wird. Dies ermöglicht es, optional wieder eine Referenzmessung durchzuführen und auf jeden Fall Strahlengänge für verschiedene Messstrecken zu erzeugen. Um es zu ermöglichen, dass die Messstrecken in unterschiedlicher Richtung verlaufen, können weitere Umlenkeinrichtungen und

Reflektoren verwendet werden. Anhand von Ausgestaltungen eines Koordinatenmessgerätes werden noch Ausführungsformen mit mehreren Messstrecken beschrieben.

Bei sämtlichen Intensitäts-Messeinrichtungen, insbesondere aber bei den Intensitäts-Messeinrichtungen der Messbaugruppe, kann es sich um Messeinrichtungen mit einem Feld von strahlungsempfindlichen Detektoren oder um einzelne Detektoren handeln, die lediglich den Intensitätswert der Strahlung an einem Messort messen können.

Wenn mehrere Messstrecken realisiert sind, kann z.B. jeweils die Messbaugruppe aus Fig. 27 oder aus Fig. 28 für die Messstrecke vorgesehen werden. Jede Messstrecke kann entweder ihrem Ende einen Reflektor oder eine Umlenkeinrichtung aufweisen oder die Messbaugruppe.

Eine Variante der Messbaugruppe aus Fig. 28, die ebenfalls bei irgendeiner der Messstrecken oder bei einer Messanordnung mit einer einzigen Messstrecke eingesetzt werden kann, weist im Gegensatz zu Fig. 28 nicht den Strahlteiler 145 oder den einseitig reflektierenden Reflektor auf, wobei dennoch auch die in Reflexionsrichtung aus dem Etalon 146 austretende Strahlung gemessen wird. Z. B. Kann die in Fig. 24 dargestellte Messbaugruppe verwendet werden, bei der z.B. die Messstrahlung unabhängig von der zu messenden Relativposition der Bauteile geneigt zur Oberflächennormalen des Etalons der Messbaugruppe auf diesen einfällt.

Ähnliche Messanordnungen, die anhand von Fig. 27 und Fig. 28 beschrieben wurden, können ohne polarisierenden Strahlteiler für die Messung der Intensität der aus dem Etalon austretenden Strahlung auskommen, wenn nicht der Polarisationszustand von zirkular polarisierter Strahlung gemessen werden soll, wie es bei der Abstandsmessung der Fall ist. Z.B. wenn lediglich die relative Ausrichtung der beiden Bauteile gemessen werden soll und daher der Einfallswinkel der auf den Etalon auftreffenden Strahlung abhängig von der relativen Ausrichtung ist, reicht eine einzige Intensitäts-Messvorrichtung jeweils für die in Transmissionsrichtung oder in Reflexionsrichtung aus dem Etalon austretende Strahlung aus.

Wenn die Messstrahlung mehrere Wellenlängen aufweist, insbesondere um den Eindeutigkeitsbereich (s.o.) zu vergrößern, wird es bevorzugt, dass die zumindest eine Messbaugruppe und optional auch die Referenzbaugruppe Messeinrichtungen für die

nach Wellenlängen getrennte Messung der Intensitäten aufweist. Insbesondere wird zumindest ein wellenlängensensitiver Strahlteiler (vorzugsweise Interferenzfilter, da Absorptionsfilter in der Regel nicht die gewünschte Trennschärfe haben) verwendet. Vorzugsweise werden die Intensitäten der verschiedenen Wellenlängen gleichzeitig erfasst. Wenn lediglich zwei Wellenlängen vorkommen, könnte die Strahlung der ersten Wellenlänge lediglich für den in Transmissionsrichtung aus dem Etalon austretenden Teil der Strahlung gemessen werden und die Strahlung der zweiten Wellenlänge lediglich für den in Reflexionsrichtung aus dem Etalon austretenden Teil der Strahlung gemessen werden. Bevorzugt wird aber die Messung aller Wellenlängen sowohl für die Transmissionsrichtung als auch für die Reflexionsrichtung. Bei der Rollwinkelmessung mit Strahlung zumindest zweier Wellenlängen reicht es aus, wenn lediglich die Strahlung einer der Wellenlängen oder allgemein formuliert nicht aller Wellenlängen von der Polarisationsrichtung entsprechend dem Rollwinkel beeinflusst wird. Alternativ können die Strahlungsanteile unterschiedlicher Wellenlängen alternierend, das heißt zeitlich im Wechsel, erzeugt und gemessen werden. Wenn sich aber die Messgröße während dessen ändert, ist die gleichzeitige Erfassung genauer.

Die Messanordnung zur Messung der Relativposition zweier relativ zueinander beweglicher Teile kann insbesondere in Koordinatenmessgeräten, Robotern und Werkzeugmaschinen zur Fertigung von Gegenständen eingesetzt werden. Diese Geräte und Maschinen weisen üblicherweise mehrere Paare von relativ zueinander beweglichen Bauteilen auf. Es können daher insbesondere wie anhand von Ausführungsbeispielen bereits beschrieben wurde, mehrere Paare von Bauteilen mit einer gemeinsamen Messanordnung gemessen werden, wobei jedoch insbesondere mehrere Messstrecken zur Abstandsbestimmung und/oder Drehwinkelbestimmung vorhanden sind, die z.B. eine gemeinsame Strahlungsquelle nutzen. Zumindest eine Drehwinkelmessung und eine Abstandsmessung können auch wie oben beschrieben einen gemeinsamen Etalon nutzen. Zu der Drehwinkelmessung gehört auch die beschriebene Rollwinkelmessung.

Vorhandene Messsysteme der Geräte und Maschinen, die z.B. Inkrementalmaßstäbe nutzen, können mit einer solchen Messanordnung ergänzt oder durch eine solche Messanordnung ersetzt werden. Ferner kann z.B. die Bewegung eines Bauteils (z. B. eines Messkopfes) des Geräts oder der Maschine, welches jeweils durch mehrere Paare von relativ zueinander beweglichen Bauteilen mehrere Freiheitsgrade der Bewegung bezüglich einer Basis des Geräts oder der Maschine hat, mit einer derartigen Messanordnung oder einer Mehrzahl derartiger Messanordnungen gemessen werden.

Z.B. weist ein Koordinatenmessgerät in Portalbauweise - oder eine Werkzeugmaschine mit den gleichen Freiheitsgraden der Bewegung - z.B. drei Linearachsen auf, die insbesondere als Koordinatenachsen eines kartesischen Koordinatensystems definiert werden können. Die drei Linearachsen stehen daher paarweise senkrecht zueinander. Davon sind jedoch Modifikationen möglich. Z.B. kann eine Linearachse unter einem anderen Winkel als 90° geneigt gegen eine andere Linearachse verlaufen. Ferner kann zusätzlich zu mindestens einer Linearachse, entlang der ein erstes Bauteil relativ zu einem zweiten Bauteil beweglich ist, eine Drehachse vorhanden sein, um die z.B. das zweite Bauteil relativ zu einem dritten Bauteil drehbar ist. In den genannten Fällen sind die Freiheitsgrade der Bewegung z.B. des genannten ersten Bauteils kaskadiert, d.h. eine Bewegung um die Drehachse oder entlang der Linearachse am Anfang der Kaskade führt dazu, dass sämtliche bis zum Ende der Kaskade miteinander gekoppelten Drehachsen und/oder Linearachsen ebenfalls mitbewegt werden. Auf ein entsprechendes Beispiel mit drei kaskadierten Linearachsen wird noch anhand von Fig. 29 bis Fig. 32 näher eingegangen.

Es wird nun vorgeschlagen, die Bewegung von zumindest zwei Achsen (Linearachsen und/oder Drehachsen), insbesondere kaskadierte Achsen, unter Verwendung desselben Messmoduls zu messen. Das Messmodul stellt eine bautechnische Einheit dar, die zumindest eine Messbaugruppe zur Messung der relativen Ausrichtung und/oder des Abstandes zweier relativ zueinander beweglicher Bauteile des Geräts oder der Maschine aufweist. Das Messmodul kann jedoch auch mehr als eine Messbaugruppe aufweisen, die z.B. jeweils einen Abstand und optional auch zumindest einen Drehwinkel messen. Vorzugsweise wird die Messstrahlung, welche den mehreren Messbaugruppen zur Messung des Abstandes und/oder des Drehwinkels zugeführt wird, von derselben Strahlungsquelle (z.B. einem Laser oder einer Kombination von Lasern, die Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen erzeugen, welche aber ein gemeinsames Strahlungsbündel für die Messstrahlung bilden) erzeugt. Alternativ oder zusätzlich dient zumindest eine der Messbaugruppen dazu, den Rollwinkel oder dessen Änderung zu messen. Zumindest eine Messbaugruppe kann auch dazu dienen, den Versatz von Achsen, insbesondere von Linearachsen relativ zueinander, zu messen.

Insbesondere kann das Messmodul auch die zumindest eine Strahlungsquelle enthalten. Dies ist aber nicht zwingend erforderlich. Es ist auch möglich, z.B. über Umlenkeinrichtungen und/oder Blenden und/oder optische Fasern, Messstrahlung von einer Strahlungsquelle außerhalb des Messmoduls zuzuführen und/oder an einem Ende

der Messstrecke in die Messstrecke einzukoppeln oder zu erzeugen. Wenn die zumindest eine Strahlungsquelle in das Messmodul integriert ist, weist das Messmodul z.B. zumindest eine weitere optische Komponente zur Aufbereitung der Messstrahlung auf. Beispiele dafür, wie optischer Isolator und $\lambda/4$ -Element sowie Strahlaufweitungsanordnung und Strahlteiler, insbesondere für eine Referenzmessung und/oder für mehrere Messstrecken, wurden bereits beschrieben.

Es wird bevorzugt, dass zumindest eine Messbaugruppe des Messmoduls redundante Informationen über die Messgröße (z.B. Abstand oder Drehwinkel) ermittelt, wie es z.B. bei der Messung der Intensität der in Transmissionsrichtung aus dem Etalon austretenden Strahlung und zusätzlich der Intensitätsmessung der in Reflexionsrichtung aus dem Etalon austretenden Strahlung der Fall ist. Redundante Informationen führen zu einer robusteren und störsicheren Auswertung.

Insbesondere zur Zuführung der Messstrahlung zu der Messstrecke und/oder zur Übertragung der Messstrahlung von der Messstrecke zu der zumindest einen Messbaugruppe kann zumindest eine optische Faser verwendet werden, die von der Strahlung durchstrahlt wird und die insbesondere Laserstrahlung auf gekrümmten Wegen überträgt oder übertragen kann. Eine Übertragung mittels optischer Faser oder optischen Fasern ist insbesondere bei einer Drehwinkelmessung des Drehwinkels entsprechend der relativen Ausrichtung zweier Bauteile um eine Drehachse von Vorteil. Mit der zumindest einen optischen Faser lässt sich die Messstrahlung zwischen Strahlungsquelle oder Messbaugruppe einerseits und der Messstrecke andererseits besonders dann zweckmäßig übertragen, wenn die Strahlungsquelle und/oder die Messbaugruppe in dem Messmodul verhältnismäßig weit von der Drehvorrichtung entfernt angeordnet ist und z.B. die Drehvorrichtung eine kompakte Drehvorrichtung mit kleinen Abmessungen ist. Wie erwähnt kann zusätzlich eine Umlenkeinrichtung am Beginn und/oder am Ende der Messstrecke eingesetzt werden. Die Verwendung zumindest einer optischen Faser und/oder zumindest einer Umlenkeinrichtung ist aber auch abhängig von der Konstruktion des Geräts oder der Maschine bei der Abstandsmessung von Bauteilen von Vorteil.

Wenn zumindest eine optische Faser zur Zuführung der Messstrahlung zu der Messstrecke verwendet wird, wird es bevorzugt, dass die optischen Elemente zur Aufbereitung der Messstrahlung im Strahlengang nach dem Ende der optischen Faser angeordnet sind. Auf diese Weise können Fehler und Störungen der Messung, die

ansonsten von der optischen Faser verursacht werden könnten, am sichersten und einfachsten vermieden werden. Als optische Elemente können zum Beispiel ein Polarisator (insbesondere zur Erzeugung linear polarisierter Strahlung) und/oder ein $\lambda/4$ -Element im Strahlengang nach dem Ende der optischen Faser angeordnet sein. Insbesondere kann der Polarisator für einen definierten Ausgangszustand der Strahlung sorgen, die von dem $\lambda/4$ -Element in zirkular polarisierte Strahlung umgewandelt wird.

Die Verwendung des erwähnten Messmoduls, das eine Mehrzahl von Messbaugruppen für die Messung jeweils einer Achse enthält, hat den Vorteil, dass zumindest bei kaskadierten Bewegungsachsen Verkippungen und Verschiebungen der Bewegungsachsen relativ zueinander erkannt werden können, die bei getrennten, voneinander beabstandeten Orten der Messung unerkannt bleiben können.

Die Messstrecken sowohl bei Drehachsen als auch bei Linearachsen können insbesondere (ggf. mit Ausnahme einer Umlenkung am Ende der Messstrecke) vollständig außerhalb von Festkörpermateriale verlaufen. Dies hat den Vorteil, dass unbekannte und veränderliche Eigenschaften von Festkörpermateriale die Messung nicht stören oder verfälschen können. Allerdings kann auch ein Gas, z. B. Luft, durch das sich die Messstrecke hindurcherstreckt, die Messung verfälschen, wenn an den Gasteilchen Beugung und/oder Absorption von Strahlung stattfindet. In Bezug auf Luft wird es daher bevorzugt, dass Messstrahlung mit Wellenlängen verwendet wird, die nicht von Wasserdampf in der Luft beeinflusst sind. Dies ist z. B. im sogenannten Wasserfenster der Luft bei Wellenlängen im Bereich von 1300 bzw. 1500 nm der Fall. Es können z. B. aber auch Wellenlängen im ultravioletten, sichtbaren und/oder infraroten Strahlungsbereich genutzt werden.

Wie bereits erwähnt, kann die Messstrahlung insbesondere zwei oder mehr Wellenlängen aufweisen, die z. B. jeweils von einem zugeordneten Laser oder von einem gemeinsamen Laser als unterschiedlichen Moden erzeugt werden. Wenn zumindest zwei Wellenlängen der Messstrahlung vorkommen, können die optischen Eigenschaften des Mediums entlang der Messstrecke aus der Messung bestimmt und korrigiert werden oder durch die Messung eliminiert werden. Z. B. kann auf diese Weise eine Korrektur des Brechungsindex einer Luft-Messstrecke durchgeführt werden. Dabei kann die Messstrahlung z. B. gleichzeitig die zumindest zwei Wellenlängen aufweisen oder die zumindest zwei Wellenlängen können abwechselnd, z. B. zyklisch nacheinander die

Messstrahlung bilden. Diese alternierende Vorgehensweise hat den Vorteil, dass eine messtechnische Trennung der Strahlungsanteile mit unterschiedlichen Wellenlängen nicht erforderlich ist.

Z. B. unter Verwendung der genannten elektro-optischen Materialien oder der genannten Materialien zur Ausnutzung des Faraday-Effekts, wobei die genannten Materialien Teil eines Etalons sind, können die optischen Eigenschaften des Etalons zeitlich verändert werden, insbesondere periodisch, sodass eine Auswertung der Messung mit an sich bekannten frequenzorientierten Verfahren (z. B. Messung im Frequenzraum statt im Zeitraum) möglich ist. Die Variation der optischen Eigenschaften kann insbesondere in der Art eines Wobbelns erfolgen.

Die tragenden Teile des Messmoduls, die bei thermischer Ausdehnung oder Kontraktion zu einer Veränderung der Position und/oder Ausrichtung der optischen Teile des Messmoduls (einschließlich der Teile für die Strahlungsdetektion) führen können, werden vorzugsweise aus Materialien mit niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten hergestellt, z. B. aus sogenannten neuen, d. h. künstlich hergestellten Materialien. Auf diese Weise wird die Messung unempfindlich für Temperaturschwankungen.

Alternativ oder zusätzlich kann die Strahlungsquelle, die optische Aufbereitung der Messstrahlung und/oder die zumindest eine Messbaugruppe durch aktives Heizen und/oder Kühlen thermisch stabilisiert werden. Eine Aufheizung und ein Betrieb dieser Teile bei wenigen Kelvin über Umgebungstemperatur (z. B. bis zu 10 Kelvin) ist von Vorteil, da in diesem Fall auf Grund des Temperaturgefälles eine definierte Abfuhr von Wärme an die Umgebung stattfindet und insbesondere im Fall einer Regelung der Temperatur sehr stabile Verhältnisse geschaffen werden können.

Vorzugsweise ist ein Strahlungsweg der Messstrahlung, insbesondere entlang der gesamten Messstrecke, innerhalb eines Hohlraums und/oder Gehäuses angeordnet, um unerwünschte äußere Einflüsse wie Strahlungseinfall von außen in die Messstrecke zu vermeiden. Dies ermöglicht es ferner, die typischer Weise in dem Hohlraum und/oder Gehäuse vorhandene Luft zu homogenisieren. Dazu wird die Luft z. B. verwirbelt und/oder strömt permanent durch das Volumen innerhalb des Hohlraumes bzw. des Gehäuses hindurch. Dadurch werden definierte und zeitlich konstante Verhältnisse geschaffen. Z. B. wird ein Ventilator eingesetzt und/oder wird über Luftdüsen unter Druck stehende Luft in den Hohlraum und/oder das Gehäuseinnere eingeleitet.

Alternativ oder zusätzlich kann die Temperatur, der Druck und/oder die Feuchte des Gases (z. B. Luft), durch das die Messstrecke verläuft gemessen werden und können die Messergebnisse der Strahlungsmessung entsprechend korrigiert werden. Dadurch kann die Auflösung der Messung verbessert werden und z. B. eine Auflösung von weniger als ein Mikrometer pro Meter Messstrecke erzielt werden. Zur Messung der genannten Einflussgrößen kann z. B. jeweils ein Messsensor oder jeweils eine Mehrzahl von Messsensoren verwendet werden. Z. B. befinden sich entlang der Messstrecken mehrere Temperatursensoren und/oder Feuchtesensoren. Auch in dem genannten Messmodul kann zumindest ein solcher Sensor verwendet werden. Entsprechendes gilt für die Strahlungsquelle.

Im Folgenden wird nun unter Bezugnahme auf Fig. 29 bis Fig. 32 lediglich als Beispiel für ein Gerät mit kaskadierten Bewegungsachsen ein Koordinatenmessgerät in Portalbauweise beschrieben, das mit zumindest einer erfindungsgemäßen Messanordnung ausgestattet ist. Bei dem Koordinatenmessgerät in Portalbauweise handelt es sich um ein Gerät mit drei kaskadierten Linearachsen.

Das in Fig. 29 dargestellte Koordinatenmessgerät (im Folgenden kurz: KMG) 210 weist eine Basis 212 auf, relativ zu der ein Portal 214 in y-Richtung eines kartesischen Koordinatensystems linear beweglich ist. Das Portal 214 weist zwei sich nach oben erstreckende Säulen auf, die in einem Abstand zueinander aufragen und oben über einen Querträger miteinander verbunden sind. Relativ zu den Querträgern und damit relativ zu dem Portal 214 ist ein Schlitten 216 in x-Richtung des kartesischen Koordinatensystems linear beweglich. Ferner ist eine Pinole 218 relativ zu dem Schlitten 216 in z- Richtung des kartesischen Koordinatensystems beweglich. Am unteren Ende der Pinole 218 ist z. B. ein Messkopf 220 mit einem daran angeordneten Taststift 222 angeordnet. Das KMG 210 ist dazu geeignet auf Grund der beschriebenen Freiheitsgrade der Bewegung den Taststift 222 (innerhalb eines Volumens über dem Messtisch 212) in beliebige Positionen zu bringen und z. B. das quaderförmig dargestellte Werkstück 232 mechanisch abzutasten. Bei Berührung der Oberfläche des Werkstücks 232 mit dem Taststift 222 werden Messsignale des KMG 210 erzeugt, die es erlauben, den Ort der Berührung z. B. in dem genannten Koordinatensystem zu bestimmen. Dazu ist es erforderlich, dass die Relativpositionen der genannten Bauteile, also Messtisch 212, Portal 214, Schlitten 216 sowie Pinole 218 gemessen werden. Üblicherweise haben Koordinatenmessgeräte in

Portalbauweise entsprechende Inkrementalmaßstäbe, auf die jedoch mit den im Folgenden beschriebenen Messanordnungen verzichtet werden kann.

Zuvor wurden bereits Messmodule beschrieben, die zumindest einen erfindungsgemäßen Etalon zur Abstandsmessung aufweisen. In den in Fig. 29 bis Fig. 32 dargestellten Ausführungsbeispielen von Messanordnungen weist das jeweilige Messmodul außerdem die Strahlungsquelle auf, insbesondere eine oder mehrere Laser, der/die linear polarisierte Strahlung erzeugt/erzeugen. Ferner, da es sich jeweils um eine Abstandmessung handelt, ist dem Laser jeweils eine Einrichtung zur Erzeugung zirkular polarisierter Messstrahlung zugeordnet. Diese Messstrahlung breitet sich entlang der Messstrecke aus, wobei pro Messstrecke zumindest eine Umlenkeinrichtung zum Einsatz kommt, die die Strahlung umlenkt, so dass die Strahlung wieder zurück zu dem Messmodul gelangt und dort von zumindest einer Messbaugruppe des Messmoduls gemessen wird. Da auf diese Weise die Messstrahlung den zu messenden Abstand zweimal durchläuft, ist die Messstrecke insgesamt doppelt so lang wie der zu messende Abstand.

Generell gilt, dass in dieser Beschreibung unter einer Abstandsmessung nicht nur die Bestimmung des absoluten Abstandwertes verstanden wird, sondern alternativ oder zusätzlich die Messung einer Änderung des Abstandes. Wenn z. B. die momentane Relativposition zwischen den zwei relativ zueinander beweglichen Bauteilen bekannt ist, reicht es aus, wenn die Abstandsänderung (oder im Fall einer Drehachse die Drehwinkeländerung) gemessen wird.

Das in Fig. 29 dargestellte KMG weist drei Messanordnungen auf, die jeweils einen Abstand parallel zu einer der Koordinatenachsen des kartesischen Koordinatensystems messen. Ein erstes Messmodul 238 ist mit dem Schlitten 216 verbunden, im Ausführungsbeispiel in den Schlitten 216 integriert. Die von dem ersten Messmodul 238 erzeugte Messstrahlung breitet sich in x- Richtung in Richtung einer Umlenkeinrichtung 239 (z. B. ein Retroreflektor) aus und wird von ihr in Richtung des ersten Messmoduls 238, d. h. in entgegengesetzte Richtung zurück reflektiert. Dementsprechend kann der Abstand in x-Richtung bestimmt werden.

An der Basis 212 (im Ausführungsbeispiel rechts vorne seitlich an der Basis) ist ein zweites Messmodul 240 befestigt. Die von ihm erzeugte Messstrahlung durchläuft die in y-Richtung verlaufende Messstrecke bis zu einer Umlenkeinrichtung 241 (z. B. wieder ein

Retroreflektor), der an einem Fuß 224 des Portals 214 befestigt ist. Die von der Umlenkeinrichtung 241 in entgegengesetzter Richtung zurück reflektierte Messstrahlung wird von zumindest einer Messbaugruppe des zweiten Messmoduls 240 gemessen.

An dem Schlitten 216 ist ein drittes Messmodul 242 befestigt (im Ausführungsbeispiel rechts seitlich), das Messstrahlung erzeugt, die sich in z-Richtung bis zu einer Umlenkeinrichtung 243 ausbreitet, welche unten an der Pinole 218 befestigt ist. Die von ihr in entgegengesetzte Richtung zurückreflektierte Messstrahlung wird von dem dritten Messmodul 242 gemessen und so der Abstand in z-Richtung bestimmt.

Varianten der Gesamt-Messanordnung werden noch anhand von Fig. 30 bis Fig. 32 beschrieben. Es sind jedoch zahlreiche weitere Varianten möglich. Z. B. ist in keiner der Fig. 29 bis Fig. 32 ein mögliches Gehäuse dargestellt in dessen Innenraum sich die Messstrecke befindet. Ferner kann sich die Messstrecke jeweils ganz oder teilweise durch eines der Bauteile hindurch erstrecken (z. B. in einem Hohlraum des Bauteils), dessen Relativbewegung gemessen werden soll. Z. B. kann sich ein solcher Hohlraum innerhalb der Pinole 218 in z-Richtung erstrecken und ist die Umlenkeinrichtung 243 in diesem Fall ebenfalls innerhalb der Pinole 218 angeordnet. Dementsprechend wird es bevorzugt, dass das dritte Messmodul 242 innerhalb des Schlittens 216 angeordnet ist und z. B. über zumindest eine weitere Umlenkeinrichtung und durch eine Öffnung am Rand der Pinole 218 die Messstrahlung in die in z-Richtung verlaufende Messstrecke eingekoppelt wird und wieder ausgekoppelt wird.

Das in Fig. 30 dargestellt KMG 210 ist mit einer im Gegensatz zu Fig. 29 modifizierten Gesamt-Messanordnung ausgestattet. Im Folgenden werden lediglich die Unterschiede beschrieben. Das erste Messmodul 238 übernimmt die Funktion auch des dritten Messmoduls 242 aus Fig. 29. Daher erzeugt das erste Messmodul 238 sowohl die Messstrahlung, die die in x-Richtung verlaufende Messstrecke durchläuft, als auch die Messstrahlung, die die in z-Richtung verlaufende Messstrecke durchläuft. Der Vorteil dieser Gesamt-Messanordnung besteht darin, dass mögliche Fehler aufgrund einer Veränderung der Relativposition des ersten Messmoduls 238 und des dritten Messmoduls 242 aus Fig. 29 (z. B. auf Grund einer thermischen Ausdehnung des Schlittens 216) minimiert sind.

Die in Fig. 31 dargestellte Gesamt-Messanordnung weist ein gemeinsames Messmodul 246 für die Bestimmung der Abstände in jeder der drei Richtungen x, y und z des

Koordinatensystems auf. In dem Ausführungsbeispiel ist das gemeinsame Messmodul 246 am Portal 214 befestigt und zwar z. B. an der Innenseite der rechten Säule und unterhalb des Querträgers, entlang dem der Schlitten 216 in x-Richtung beweglich ist. In dem Ausführungsbeispiel bildet das Messmodul 246 für die Abstandsmessung in x-Richtung den Beginn der Messstrecke. Das entgegengesetzte Ende dieser Messstrecke wird durch eine an dem Schlitten 216 befestigte Umlenkeinrichtung 249 gebildet. Ansonsten ist die Funktion bezüglich dieser Messstrecke die gleiche wie in den Beispielen aus Fig. 29 und Fig. 30.

Das Messmodul 246 erzeugt jedoch auch die Messstrahlung für die Messungen der Abstände in y-Richtung und in z-Richtung. Sie bildet aber nicht den Anfang der jeweiligen Messstrecken. Vielmehr wird die Messstrahlung über eine Umlenkeinrichtung 250, die mit dem Schlitten 216 verbunden ist, in die Messstrecke zur Messung des Abstandes in z-Richtung eingekoppelt, durchläuft die Messstrecke bis zu dem z. B. bereits aus Fig. 29 und Fig. 30 bekannten Reflektor (Umlenkeinrichtung 243), wird zurückreflektiert und ebenfalls über die Umlenkeinrichtung 250 in Richtung des Messmoduls 246 zurückreflektiert und dort gemessen. Bezüglich der Messung des Abstandes in y-Richtung ist die Ausführung entsprechend. Die von dem Messmodul 246 erzeugte Messstrahlung wird über eine unten am Portal 214 befestigte Umlenkeinrichtung 248 in die in y-Richtung verlaufende Messstrecke eingekoppelt und am anderen Ende der Messstrecke von einer Umlenkeinrichtung 247, die mit der Basis 212 verbunden ist, zurückreflektiert. Am Anfang der Messstrecke wird die zurückreflektierte Strahlung über die Umlenkeinrichtung 248 wieder in Richtung des Messmoduls 246 umgelenkt und dort gemessen.

Messfehler auf Grund von Veränderungen der Relativpositionen verschiedener Messmodule können bei der Gesamt-Messanordnung gemäß Fig. 31 minimiert oder ausgeschlossen werden.

Bei der in Fig. 32 dargestellten Variante wird die Messung des Abstandes in x-Richtung und die Messung des Abstandes in z-Richtung wie anhand von Fig. 31 beschrieben ausgeführt. Bei der Messung des Abstandes in y-Richtung kann jedoch auf eine zusätzliche Umlenkeinrichtung verzichtet werden. Die Messstrecke beginnt bereits an dem Messmodul 246. Die sich in y-Richtung ausbreitende Messstrahlung wird von einem auf der Höhe des Messmoduls 246 platzierten Reflektor 254 in Richtung des Messmoduls 246 zurückreflektiert. Der Reflektor 254 ist mittels einer Säule 252 mit Fuß 253 auf der Basis 212 abgestützt.

Bei der Messanordnung in Fig. 31 ist außerdem noch eine unten an dem Portal 214 befestigte Umlenkeinrichtung 251 vorhanden, auf die das Messmodul 246 einen Referenzstrahl einstrahlt, der von der Umlenkeinrichtung 251 direkt zu dem Messmodul 246 zurückreflektiert wird. Dadurch kann der Effekt, den die Einkopplung der Messstrahlung für die Abstandsmessung in y-Richtung bewirkt, im Wege einer Referenzmessung des Messmoduls 246 gemessen werden. Dehnt sich z.B. das Portal 214 thermisch aus und vergrößert sich daher der Abstand des Messmoduls 246 zu den Umlenkeinrichtungen 248, 251, wird dies durch die Abstands-Referenzmessung festgestellt. Der Effekt kann daher bei der Abstandsmessung in y-Richtung kompensiert werden.

Entsprechendes gilt für die Abstandsmessung in z-Richtung. In diesem Fall kann jedoch die ohnehin benötigte Abstandsmessung in x-Richtung als zusätzliche Referenzmessung genutzt werden.

Bei beiden Referenzmessungen ist es nicht zwingend erforderlich, dass die Messstrecke der Referenzmessung und die Strecke für die Einkopplung der Messstrahlung in die Messstrecke gleich lang sind. Es ist jedoch von Vorteil, wenn diese Strecken ungefähr gleich lang sind. Wenn der Unterschied der beiden Längen oder ihr Verhältnis bekannt ist, kann trotzdem unter Verwendung der Messergebnisse der Referenzmessung eine Korrektur bzw. Kompensation stattfinden.

Der in Fig. 32 dargestellte Messaufbau ist insbesondere bei einer anderen Art von Koordinatenmessgeräten von Vorteil, bei der z.B. parallel zu dem Querträger des Portals etwa auf gleicher Höhe oder leicht darüber oder in geringem Abstand darüber oder darunter ein feststehender Querträger verläuft, der relativ zu der Basis feststeht. In diesem Fall kann auf die Säule 252 verzichtet werden und kann die Umlenkeinrichtung 254 unmittelbar an dem feststehenden Querträger angeordnet werden.

Der in Fig. 31 und 32 gewählte Ort für das Messmodul hat den Vorteil, dass eine stabile Befestigung des Messmoduls möglich ist und die Strahlungswege für die Zuführung der Messstrahlung in die Messstrecken in keinem Fall über zwei Achsen verlaufen, wie es bei einer Anordnung des Messmodul unten an dem Portal der Fall wäre. Wie auch im Fall der Fig. 30 werden für die Ein-/ Auskopplung in die bzw. aus der Messstrecke und die Umlenkung am Ende der Messstrecke lediglich passive Umlenkeinrichtungen benötigt.

Insbesondere kann zumindest eine der in Fig. 29 bis 32 dargestellten Messstrecken auch für eine Rollwinkelmessung genutzt werden, wie bereits beschrieben. Dazu befindet sich z. B. am jeweiligen Ende der Messstrecke eine für die Rollwinkelmessung geeignete Umlenkeinrichtung. Auf diese Weise kann im Vergleich zu einem Inkrementalmaßstab zusätzliche Messinformation gewonnen werden.

Die in Fig. 33 dargestellte Messanordnung weist zumindest eine Strahlungsquelle 130 auf, die optional mit Strahlungsaufbereitungseinrichtungen 132, 134 kombiniert ist, wie z. B. bereits anhand von Fig. 27 und 28 beschrieben wurde. Anstelle der in Fig. 33 (gleiches gilt für Fig. 34) dargestellten Anordnung mit den Einrichtungen 130, 132, 134 kann jedoch auch eine andere Strahlungsquelle mit optionaler Strahlungsaufbereitung vorgesehen sein.

Die erzeugte und optional aufbereitete Messstrahlung wird über einen am Beginn der Messstrecke 161 angeordneten Reflektor 160 in die Messstrecke 161 eingekoppelt und trifft am Ende der Messstrecke auf einen zweiten Reflektor 162, der die Messstrahlung aus der Messstrecke 161 auskoppelt. Alternativ kann sich am Ende der Messstrecke, ähnlich wie bereits anhand von Fig. 27 und Fig. 28 dargestellt wurde, ein Reflektor befinden, der die Messstrahlung in entgegengesetzter Richtung oder nahezu entgegengesetzter Richtung zurückreflektiert, sodass sie die Messstrecke erneut durchläuft.

Die aus der Messstrecke 161 ausgekoppelte Messstrahlung trifft auf einen Polarisationsfilter 163, der lediglich Strahlung einer bestimmten Polarisationsrichtung passieren lässt. Alternativ kann eine Umlenkeinrichtung verwendet werden, die lediglich Strahlung mit einer bestimmten Polarisationsrichtung in eine umgelenkte Richtung umlenkt.

Wenn zirkular polarisierte Messstrahlung die Messstrecke 161 durchläuft und auf den Polarisationsfilter 163 trifft, wird daher lediglich einer der Strahlungsanteile hindurch gelassen oder umgelenkt. Dieser Strahlungsanteil trifft auf eine Etalon-Anordnung 164. Vorzugsweise handelt es sich dabei um eine Anordnung, die verschiedene optische Dicken hat, wobei in diesem Fall durch einen nicht dargestellten Strahlteiler der Strahlungsanteil mit der bestimmten Polarisationsrichtung in mehrere Strahlen aufgeteilt wird, die auf die einzelnen Etalons auftreffen. Schematisch ist in Fig. 33 dargestellt, dass

die Intensität der aus den Etalons austretenden Strahlungen durch eine Intensitätsmesseinrichtung 150 gemessen wird. Z. B. kann jedem der Etalons eine Fotodiode oder ein Feld von Fotodioden zugeordnet sein.

Gegenüber der direkten Messung der Strahlungsintensität des am Ausgang des Polarisationsfilters 163 zur Verfügung stehenden Strahlungsanteils hat die Messanordnung den Vorteil, dass die Eindeutigkeit der Messung verbessert ist. Jeder der Etalons erzeugt ein eigenes, sich von den anderen Etalons unterscheidendes Intensitätssignal. Dies gilt jedenfalls im Allgemeinen, da aufgrund der unterschiedlichen optischen Dicken der Etalons auch der freie Spektralbereich verschieden ist und daher der Verlauf des Transmissionsgrades und des Reflexionsgrades der Etalons in dem oben erwähnten sog. ersten Wellenlängenbereich verschieden ist.

Die Anordnung in Fig. 33 wird allerdings nicht bevorzugt, da sie lediglich einen der Strahlungsanteile auswertet. Der andere Strahlungsanteil, der insbesondere in der Richtung senkrecht zu der Polarisationsrichtung des ersten Strahlungsanteils polarisiert ist, wird aber bei der in Fig. 34 dargestellten modifizierten Anordnung zur Messung verwendet.

Gemäß Fig. 34 ist statt des in Fig. 33 dargestellten Polarisationsfilters 163 ein polarisierender Strahlteiler 167 vorgesehen. Auf die Etalon-Anordnung 164 (die in diesem Fall alternativ auch lediglich einen einzigen Etalon aufweisen kann) wird der erste Strahlungsanteil mit der ersten Polarisationsrichtung eingestrahlt und die aus der Etalon-Anordnung 164 austretende Strahlung wird von der zugeordneten Intensitäts-Messeinrichtung 150 gemessen. Der zweite Strahlungsanteil mit der senkrecht stehenden Polarisationsrichtung wird von dem Strahlteiler 167 auf eine zweite Etalon-Messanordnung 165 (die ebenfalls lediglich einen einzigen Etalon oder mehrere Etalons mit unterschiedlichen optischen Dicken aufweisen kann) eingestrahlt. Die aus dem zumindest einen Etalon austretende Strahlung wird von einer zweiten Intensitäts-Messeinrichtung 170 gemessen, die der Intensitäts-Messeinrichtung 150 entspricht.

Die in Fig. 34 dargestellte Anordnung ist der Verwendung einer Messanordnung mit zumindest einem doppelbrechenden Etalon äquivalent, wenn sich die optischen Dicken der ersten und der zweiten Etalon-Messanordnung 164, 165 voneinander unterscheiden. Umgekehrt folgt daraus, dass ein doppelbrechender Etalon den Vorteil hat, keinen weiteren Etalon zu benötigen.

In den anhand von Fig. 33 und Fig. 34 beschriebenen Fällen wird es jeweils bevorzugt, dass (wie z. B. bereits anhand von Fig. 24 erläutert wurde) nicht nur die durch den jeweiligen Etalon transmittierte Strahlung, sondern auch die von dem jeweiligen Etalon reflektierte Strahlung gemessen wird, d. h. es wird eine zusätzliche Intensitäts-Messeinrichtung für die reflektierte Strahlung verwendet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen einer Relativposition von relativ zueinander beweglichen Bauteilen (31, 34a; 31, 35; 36, 34a; 38, 41b; 212, 214, 216, 218) einer Vorrichtung (30; 210), insbesondere eines Koordinatenmessgerätes oder einer Werkzeugmaschine, wobei ein erstes Bauteil (31; 36; 38; 212, 214, 216) und ein zweites Bauteil (34a; 35; 41b; 214, 216, 218) der Vorrichtung derart relativ zueinander beweglich sind, dass sich mit der Bewegung eine relative Ausrichtung und/oder eine relative Lage des ersten (31; 36; 38; 212, 214, 216) und zweiten (34a; 35; 41b; 214, 216, 218) Bauteils ändert, und wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:
 - Bestrahlen zumindest eines Etalons (1; 12; 14; 112; 146), d.h. eines Interferometers mit Reflektoren (H, L) zum Reflektieren elektromagnetischer Strahlung, dessen Reflektoren (H, L) einen optischen Resonator bilden, mit einer elektromagnetischen Strahlung, wobei
 - ein Einfallswinkel, mit dem die elektromagnetische Strahlung auf den Etalon (1; 12; 14) einfällt, von der relativen Ausrichtung des ersten (31; 36; 38) und zweiten (34a; 35; 41b) Bauteils abhängt und daher die elektromagnetische Strahlung bei einer bestimmten relativen Ausrichtung der Bauteile (31, 34a; 31, 35; 36, 34a; 38, 41b) mit einem zugeordneten Einfallswinkel auf den Etalon (1; 12; 14) einfällt, und/oder
 - eine Strahlungsintensität, mit der die elektromagnetische Strahlung auf den Etalon (1; 12; 14) einfällt, oder Strahlungsintensitäten, mit denen unterschiedlich polarisierte Teile der elektromagnetischen Strahlung auf den Etalon (1; 12; 14) oder auf eine Mehrzahl der Etalons (164, 165) einfallen, von der relativen Lage des ersten (212, 214, 216) und zweiten (214, 216, 218) Bauteils abhängen und daher die unterschiedlich polarisierten Teile der elektromagnetischen Strahlung bei einer bestimmten relativen Lage der Bauteile (212, 214, 216, 218) mit zugeordneten Strahlungsintensitäten auf den Etalon (112; 146) oder die Etalons (164, 165) einfallen,
 - Messen zumindest einer Strahlungsintensität von aus dem zumindest einen Etalon (1; 12; 14; 112; 146; 164, 165) austretender Strahlung und/oder Messen eines Anteils der auf den Etalon einfallenden oder der erzeugten

elektromagnetischen Strahlung, der aus dem Etalon (1; 12; 14; 112; 146; 164, 165) austritt, und Ausgeben eines entsprechenden Messergebnisses,

- Ermitteln der relativen Ausrichtung und/oder der relativen Lage aus dem Messergebnis,

wobei ein Etalon (1; 12; 14; 112; 146; 164, 165) verwendet wird, dessen Transmissionsgrad (T) als Funktion der Wellenlänge (λ) der elektromagnetischen Strahlung entsprechend den Bedingungen für die optische Resonanz der Reflektoren (H, L) Maxima (m) bei verschiedenen Wellenlängen-Werten aufweist, und wobei der Transmissionsgrad (T) des verwendeten Etalon (1; 12; 14; 112; 146; 164, 165) in einem ersten Wellenlängenbereich ($\Delta\lambda_1$) zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima (m), der sich über das arithmetische Mittel der Wellenlängen bei den aufeinanderfolgenden Maxima (m) hinweg erstreckt, entweder stetig ansteigt oder stetig abfällt.

2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die elektromagnetische Strahlung, die auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) einfällt, ausschließlich Wellenlängen aufweist, die innerhalb eines dritten Wellenlängenbereichs (λ_ℓ) liegen, der mindestens um einen Faktor zehn, insbesondere mindestens um einen Faktor 100 schmaler ist als der erste Wellenlängenbereich ($\Delta\lambda_1$).
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die elektromagnetische Strahlung, die die unterschiedlich polarisierten Teile aufweist, zirkular polarisierte elektromagnetische Strahlung ist oder enthält.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die elektromagnetische Strahlung als unpolarisierte oder polarisierte Messstrahlung eine Messstrecke entlang einer geradlinigen Linearachse durchläuft, unpolarisiert oder in einem ersten Polarisationszustand an einem Ende der Messstrecke oder eines Abschnitts der Messstrecke auf eine Polarisationseinrichtung trifft, von der Polarisationseinrichtung abhängig von einem Drehwinkel der zwei relativ um die Linearachse drehbeweglichen Bauteile beeinflusst wird, sodass die Messstrahlung oder ein Teil der Messstrahlung einen zweiten Polarisationszustand erhält, der dem Drehwinkel entspricht, und wird der Drehwinkel und/oder eine Veränderung des Drehwinkels unter Berücksichtigung des zweiten Polarisationszustandes bestimmt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) einfallende elektromagnetische Strahlung vor dem Auftreffen auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) aufgeweitet wird, sodass die durch die Aufweitung entstandenen verschiedenen Ausbreitungswege der elektromagnetischen Strahlung unmittelbar vor dem Auftreffen auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) parallel zueinander verlaufen.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) einfallende elektromagnetische Strahlung von einer Strahlungsquelle (3; 130) erzeugt wird und wobei die Strahlungsintensität eines Teils der von der Strahlungsquelle (3; 130) erzeugten elektromagnetischen Strahlung, der nicht auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) auftrifft, als Referenzintensität gemessen wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die auf den Etalon (1; 12; 14) einfallende elektromagnetische Strahlung von einer Strahlungsquelle (3) erzeugt wird und wobei ein erster Teil der von der Strahlungsquelle (3) erzeugten elektromagnetischen Strahlung die elektromagnetische Strahlung bildet, die mit einem von der relativen Ausrichtung des ersten (31; 36; 38) und zweiten (34a; 35; 41b) Bauteils abhängigen Einfallswinkel auf den Etalon (1; 12; 14) einfällt, wobei ein zweiter Teil der von der Strahlungsquelle (3) erzeugten elektromagnetischen Strahlung auf einen zweiten Etalon (2) unter einem Einfallswinkel einfällt, der nicht von der relativen Ausrichtung des ersten (31; 36; 38) und zweiten (34a; 35; 41b) Bauteils abhängt, und wobei eine Strahlungsintensität der durch den zweiten Etalon (2) hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung gemessen wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein kontinuierlicher Bereich für die Ermittlung von möglichen Werten der Relativposition des ersten (31; 36; 38; 212, 214, 216) und des zweiten (34a; 35; 41b; 214, 216, 218) Bauteils durch Einstellung der Wellenlänge oder Frequenz der auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) einfallenden elektromagnetischen Strahlung und/oder durch Einstellen der Ausrichtung des Etalons (1; 12; 14) relativ zu dem ersten Bauteil (31; 36; 38; 212, 214, 216) und dem zweiten (34a; 35; 41b; 214, 216, 218) Bauteil eingestellt wird.

9. Anordnung zum Messen einer Relativposition von relativ zueinander beweglichen Bauteilen (31, 34a; 31, 35; 36, 34a; 38, 41b; 212, 214, 216, 218) einer Vorrichtung, insbesondere eines Koordinatenmessgerätes oder einer Werkzeugmaschine, wobei die Anordnung ein erstes Bauteil (31; 36; 38; 212, 214, 216) und ein zweites Bauteil (34a; 35; 41b; 214, 216, 218) aufweist, die derart relativ zueinander beweglich sind, dass sich mit der Bewegung eine relative Ausrichtung und/oder eine relative Lage des ersten (31; 36; 38; 212, 214, 216) und zweiten (34a; 35; 41b; 214, 216, 218) Bauteils ändert, und wobei die Anordnung aufweist:
- eine Strahlungsquelle (3) zur Erzeugung elektromagnetischer Strahlung,
 - einen Etalon (1; 12; 14; 112; 146), d.h. ein Interferometer mit Reflektoren (H, L) zum Reflektieren elektromagnetischer Strahlung, dessen Reflektoren (H, L) einen optischen Resonator bilden, wobei die Strahlungsquelle und der Etalon (1; 12; 14; 112; 146) derart angeordnet sind, dass
 - ein Einfallswinkel elektromagnetischer Strahlung, die von der Strahlungsquelle (3) erzeugt wird und die mit dem Einfallswinkel auf den Etalon (1; 12; 14) einfällt, von der relativen Ausrichtung des ersten (31; 36; 38) und zweiten (34a; 35; 41b) Bauteils abhängt und daher die elektromagnetische Strahlung, wenn die Bauteile (31, 34a; 31, 35; 36, 34a; 38, 41b) eine bestimmte relative Ausrichtung haben, mit einem zugeordneten Einfallswinkel auf den Etalon (1; 12; 14) einfällt, und/oder
 - eine Strahlungsintensität, mit der die elektromagnetische Strahlung auf den Etalon einfällt, oder Strahlungsintensitäten, mit denen unterschiedlich polarisierte Teile der elektromagnetischen Strahlung auf den Etalon (112; 146) oder auf eine Mehrzahl der Etalons (164, 165) einfallen, von der relativen Lage des ersten (31; 36; 38) und zweiten (34a; 35; 41b) Bauteils abhängen und daher die unterschiedlich polarisierten Teile der elektromagnetischen Strahlung bei einer bestimmten relativen Lage der Bauteile (31, 34a; 31, 35; 36, 34a; 38, 41b) mit zugeordneten Strahlungsintensitäten auf den Etalon (112; 146) oder auf die Etalons (164, 165) einfallen,
 - eine erste Messeinrichtung (4; 5; 6) zur Messung zumindest einer Strahlungsintensität von aus dem Etalon (1; 12; 14; 112; 146) oder aus den Etalons (164, 165) austretender Strahlung und/oder Messen eines Anteils der auf den Etalon oder auf die Etalons (164, 165) einfallenden oder der

erzeugten elektromagnetischen Strahlung, der aus dem Etalon (1; 12; 14; 112; 146) oder aus den Etalons (164, 165) austritt,

- eine Ermittlungseinrichtung zum Ermitteln der relativen Ausrichtung und/oder der relativen Lage des ersten (31; 36; 38; 212, 214, 216) und zweiten (34a; 35; 41b; 214, 216, 218) Bauteils aus einem Messergebnis der ersten Messeinrichtung (4; 5; 6),

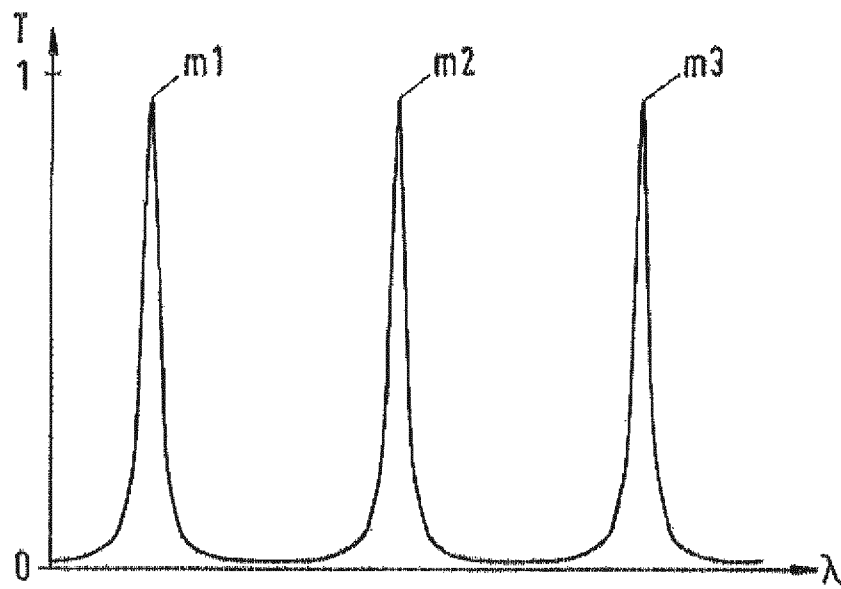
wobei der Etalon (1; 12; 14; 112; 146; 164, 165) einen Transmissionsgrad (T) hat, der als Funktion der Wellenlänge (λ) der elektromagnetischen Strahlung entsprechend den Bedingungen für die optische Resonanz der Reflektoren (H, L) Maxima (m) bei verschiedenen Wellenlängen-Werten aufweist, wobei der Transmissionsgrad (T) des verwendeten Etalon (1; 12; 14; 112; 146) in einem ersten Wellenlängenbereich ($\Delta\lambda_1$) zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima (m), der sich über das arithmetische Mittel der Wellenlängen bei den aufeinanderfolgenden Maxima (m) hinweg erstreckt, entweder stetig ansteigt oder stetig abfällt.

10. Anordnung nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der Etalon (1; 12; 14) zusätzlich zu den Reflektoren (H, L) zumindest einen Strahlungsabsorber (M) aus elektrisch leitfähigem Material aufweist, durch den elektromagnetische Strahlung, welche innerhalb des Etalons (1; 12; 14) von den Reflektoren (H, L) reflektiert wird, hindurchtritt und dabei teilweise absorbiert wird.
11. Anordnung nach Anspruch 9 oder 10, wobei die Anordnung ausgestaltet ist, die elektromagnetische Strahlung, die auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) einfällt, ausschließlich auf Wellenlängen zu begrenzen, die innerhalb eines dritten Wellenlängenbereichs (λ_ℓ) liegen, der mindestens um einen Faktor zehn, insbesondere um mindestens einen Faktor 100, schmaler ist als der erste Wellenlängenbereich ($\Delta\lambda_1$), und vorzugsweise einen Laser als Strahlungsquelle (3) aufweist.
12. Anordnung nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anordnung einen Zirkularpolarisator aufweist, der zumindest einen Anteil der erzeugten elektromagnetischen Strahlung zirkular polarisiert oder der Teil der Strahlungsquelle ist, so dass von der Strahlungsquelle zirkular polarisierte elektromagnetische Strahlung erzeugt wird.

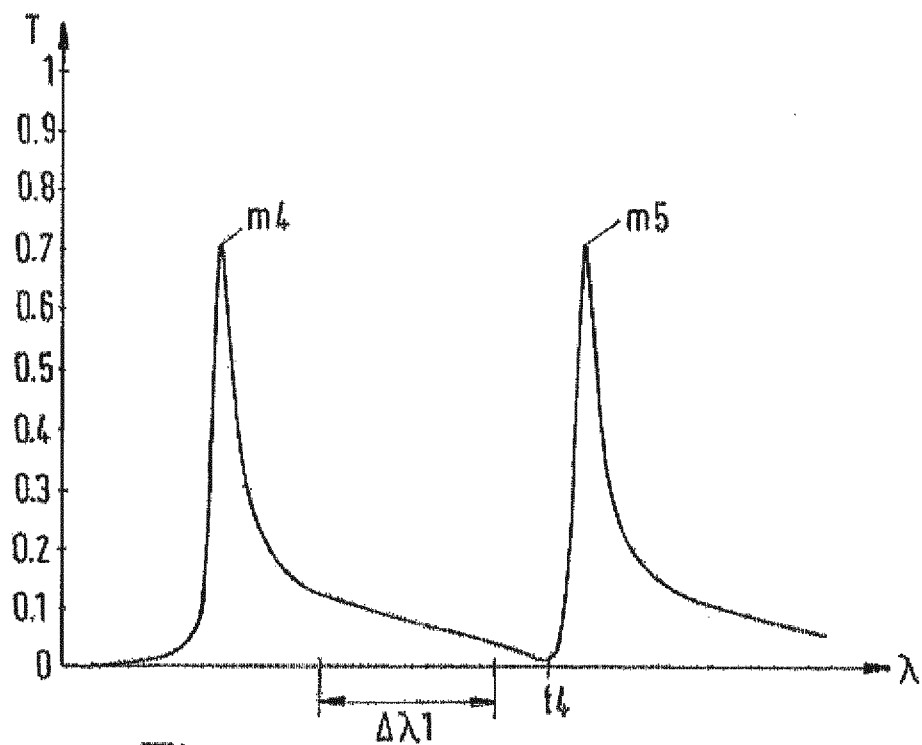
13. Anordnung nach einem der vier vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anordnung eine Messstrecke aufweist, die von elektromagnetischer Strahlung als unpolarisierte oder polarisierte Messstrahlung entlang einer geradlinigen Linearachse durchlaufen wird, wobei an einem Ende der Messstrecke oder eines Abschnitts der Messstrecke eine Polarisationseinrichtung angeordnet ist, auf die die elektromagnetische Strahlung unpolarisiert oder in einem ersten Polarisationszustand trifft, wobei die Polarisationseinrichtung abhängig von einem Drehwinkel der zwei relativ um die Linearachse drehbeweglichen Bauteile die Messstrahlung beeinflusst, sodass die Messstrahlung oder ein Teil der Messstrahlung einen zweiten Polarisationszustand erhält, der dem Drehwinkel entspricht, und wobei eine Bestimmungseinrichtung den Drehwinkel und/oder eine Veränderung des Drehwinkels unter Berücksichtigung des zweiten Polarisationszustandes bestimmt.
14. Anordnung nach einem der Ansprüche 9-13, wobei die Anordnung eine Strahlungs-Aufweitungs Vorrichtung (25, 27; 24, 26, 28) aufweist, die im Strahlengang zwischen der Strahlungsquelle (3) und dem Etalon (1; 12; 14; 112; 146) angeordnet ist und ausgestaltet ist, auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) einfallende elektromagnetische Strahlung vor dem Auftreffen auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) aufzuweiten, sodass die durch die Aufweitung entstandenen verschiedenen Ausbreitungswege der elektromagnetischen Strahlung unmittelbar vor dem Auftreffen auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) parallel zueinander verlaufen.
15. Anordnung nach einem der Ansprüche 9-14, wobei die Anordnung eine Referenzintensitäts-Messeinrichtung (9; 13; 142, 144) aufweist, die ausgestaltet ist, die Strahlungsintensität eines Teils der von der Strahlungsquelle (3; 130) erzeugten elektromagnetischen Strahlung, der nicht auf den Etalon (1; 12; 14; 112; 146) auftrifft, als Referenzintensität zu messen.
16. Anordnung nach einem der Ansprüche 9-15, wobei die Anordnung ausgestaltet ist, den Etalon (1; 12; 14), auf den die elektromagnetische Strahlung mit einem von der relativen Ausrichtung des ersten (31; 36; 38) und zweiten (34a; 35; 41b) Bauteils abhängigen Einfallswinkel einfällt, mit einem ersten Teil der von der Strahlungsquelle (3) erzeugten elektromagnetischen Strahlung zu bestrahlen und einen zweiten Etalon (2) mit einem zweiten Teil der von der Strahlungsquelle (3)

erzeugten elektromagnetischen Strahlung zu bestrahlen, wobei der zweite Teil der elektromagnetischen Strahlung auf den zweiten Etalon (2) unter einem Einfallswinkel einfällt, der nicht von der relativen Ausrichtung des ersten (31; 36; 38) und zweiten (34a; 35; 41b) Bauteils abhängt, und wobei die Anordnung eine Strahlungsintensitäts-Messeinrichtung (15) aufweist, die ausgestaltet ist, die Strahlungsintensität der durch den zweiten Etalon (2) hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung zu messen.

17. Sensor für ein Koordinatenmessgerät mit einer Anordnung nach einem der Ansprüche 9-16, wobei die Ermittlungseinrichtung der Anordnung optional nicht Teil des Sensors ist, wobei der Sensor ausgestaltet ist, mit einem mechanisch abtastenden Taster zum Abtasten eines zu vermessenden Werkstücks gekoppelt zu werden, so dass das erste Bauteil (31; 36; 38; 212, 214, 216) und das zweite (34a; 35; 41b; 214, 216, 218) Bauteil beim Abtasten des Werkstücks relativ zueinander bewegt werden.



Stand der Technik

Fig.1**Fig.2**

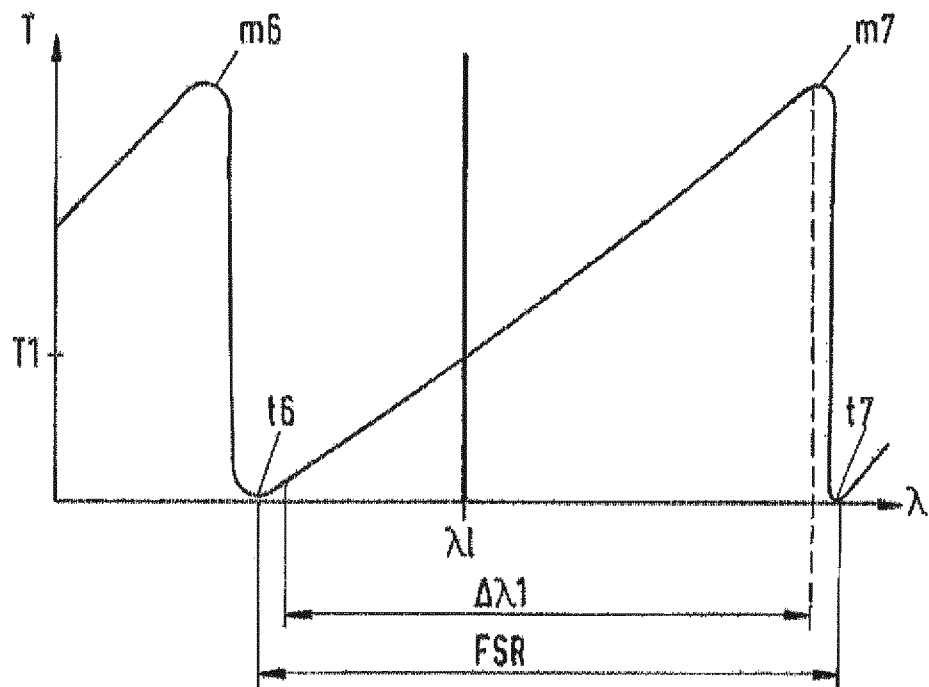


Fig.3

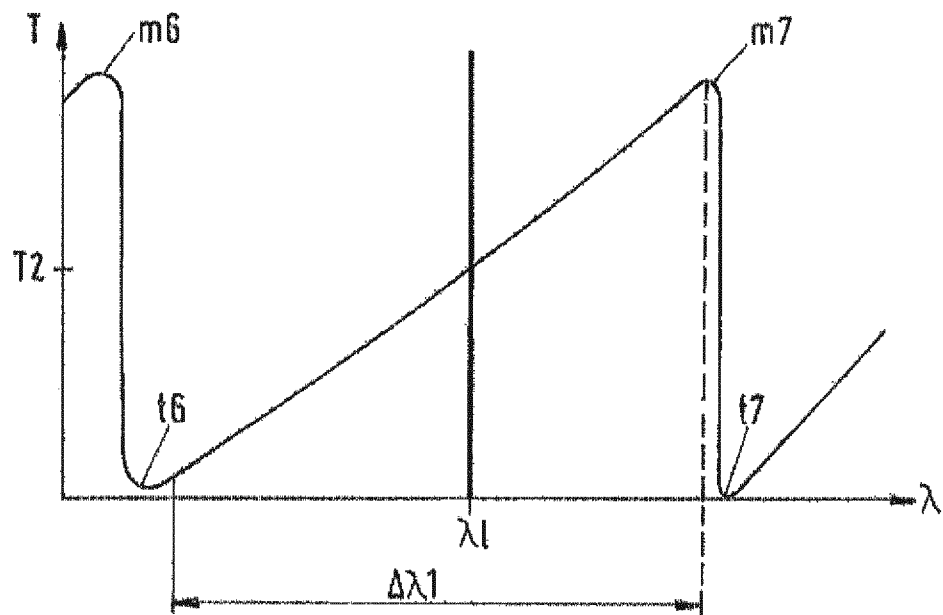


Fig.4

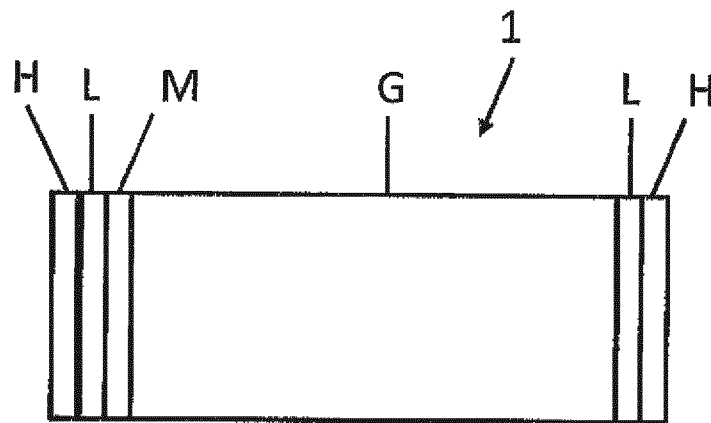


Fig. 5

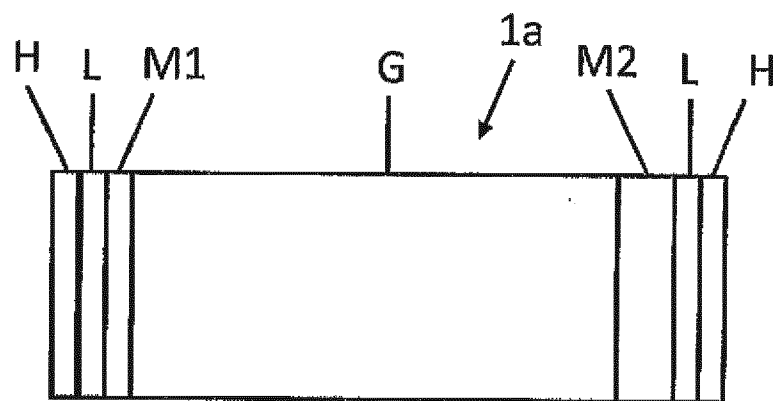


Fig. 6

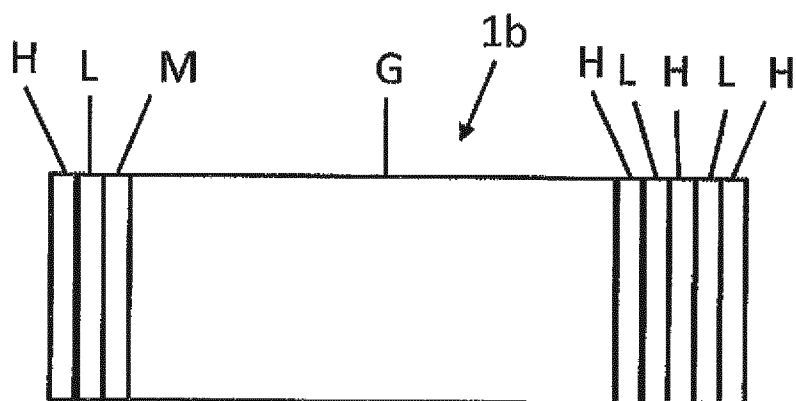


Fig. 7

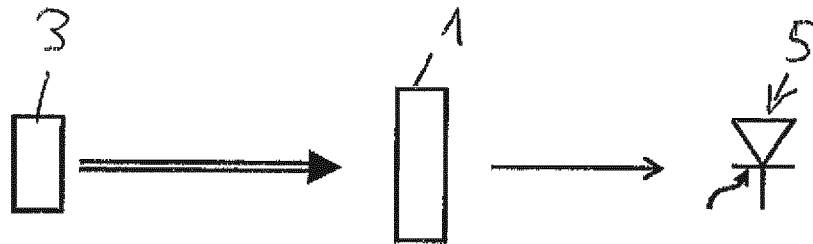


Fig. 8

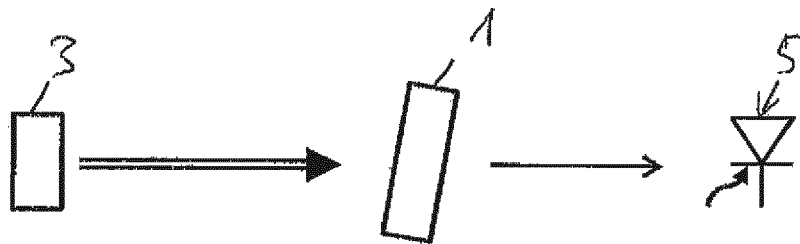


Fig. 9

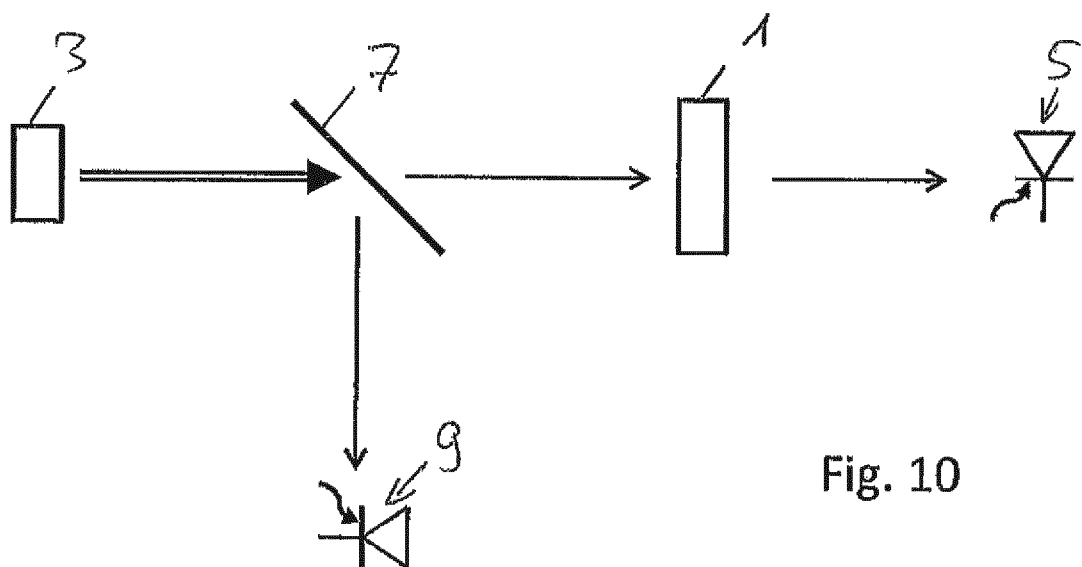


Fig. 10

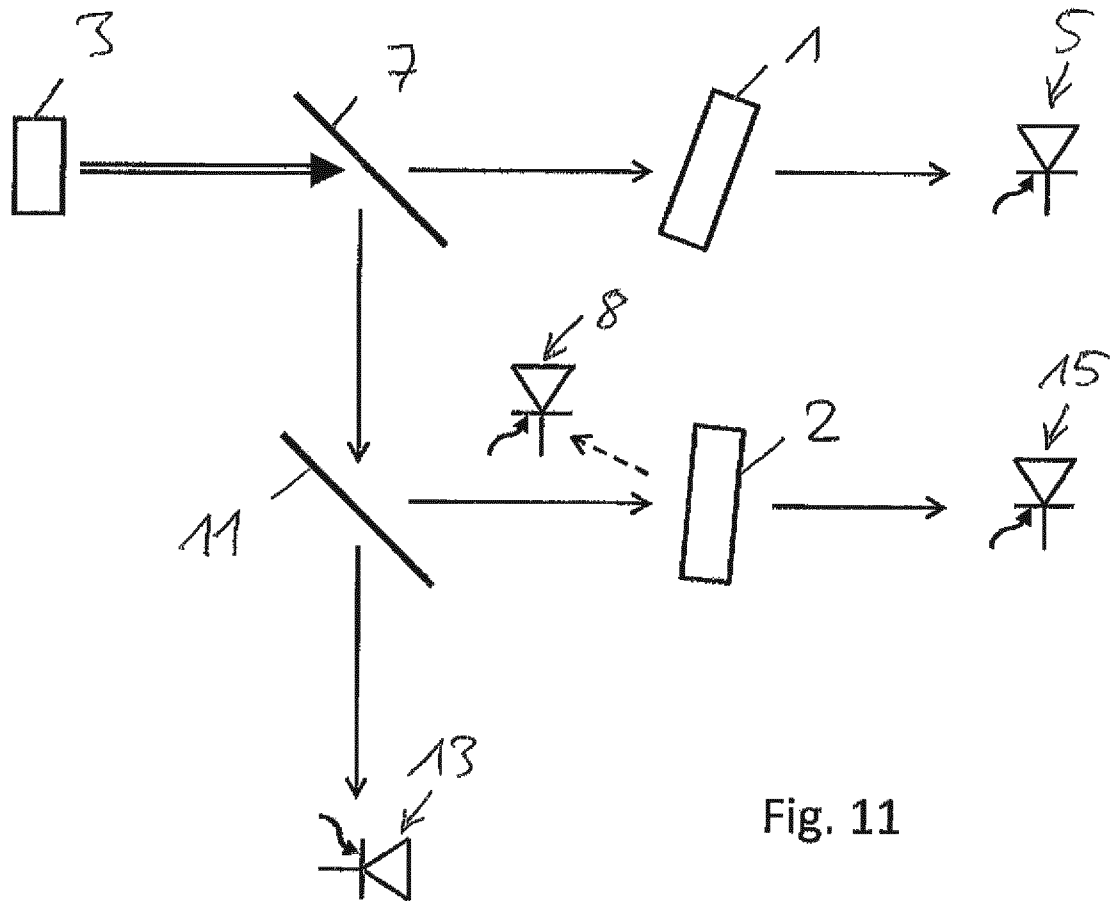


Fig. 11

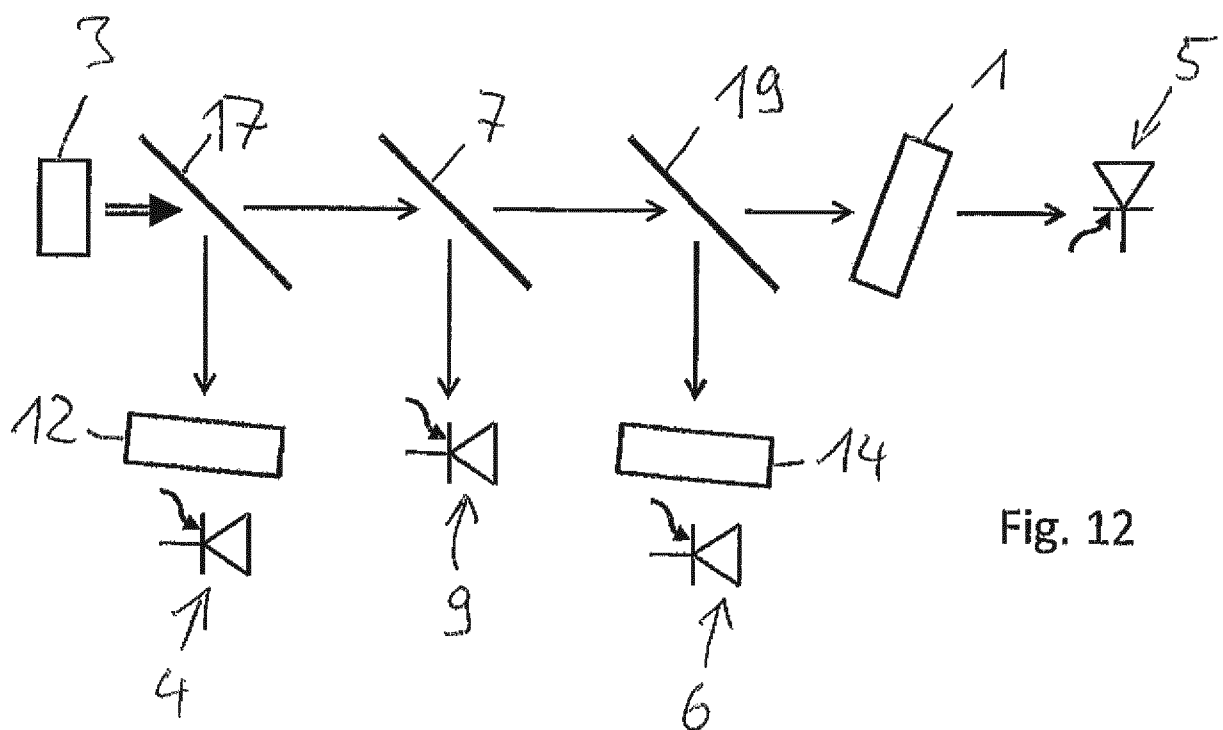


Fig. 12

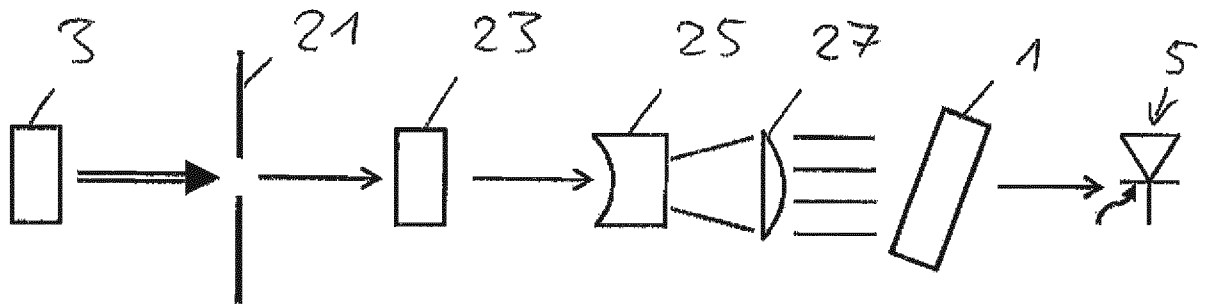


Fig. 13

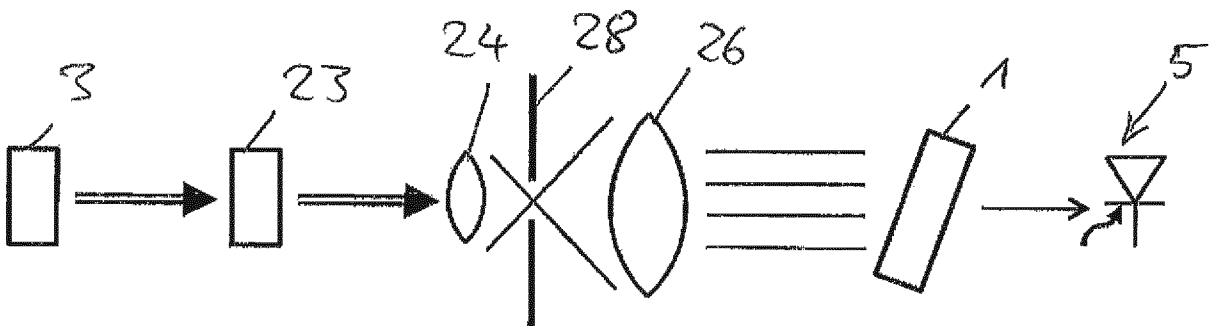
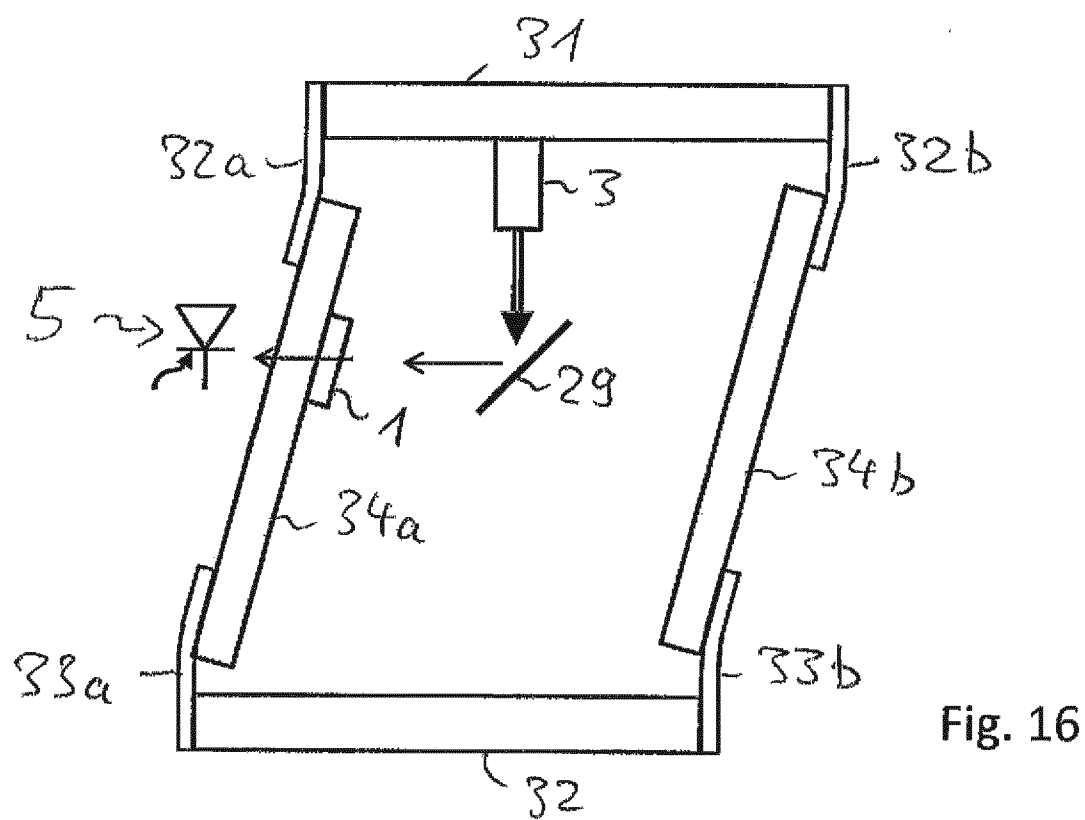
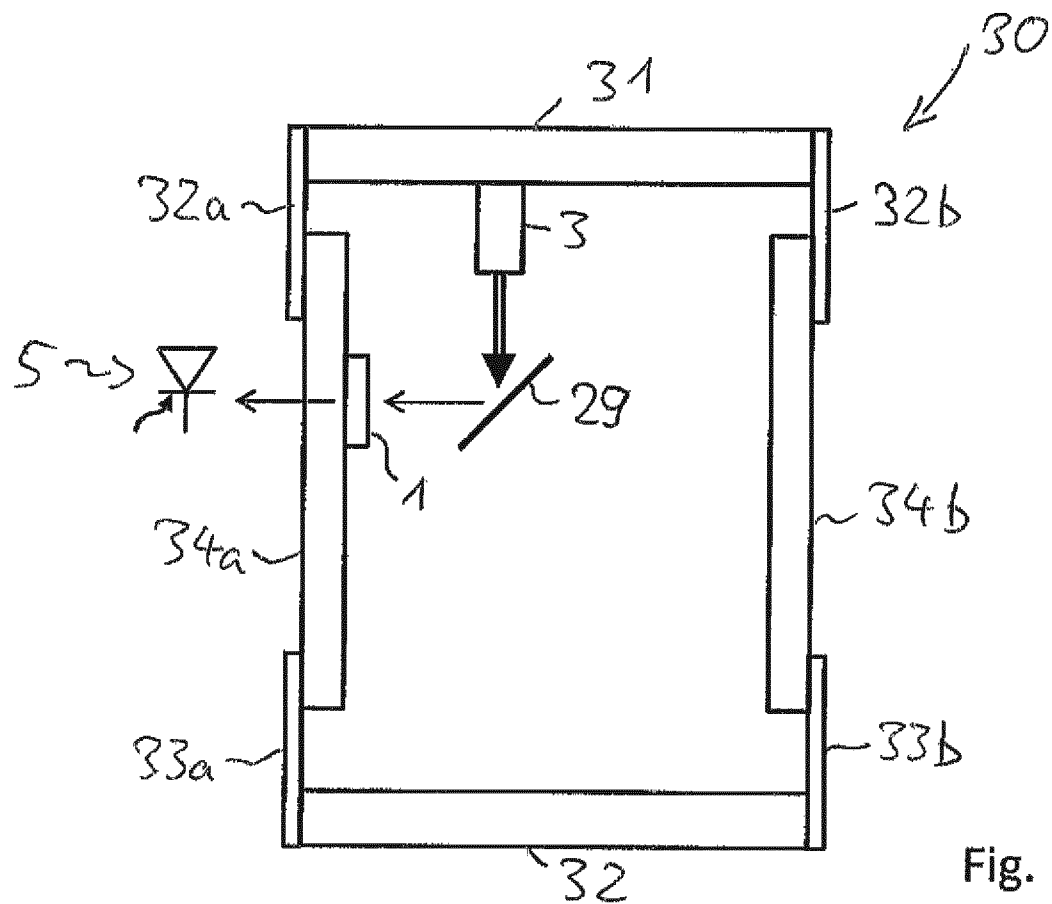


Fig. 14



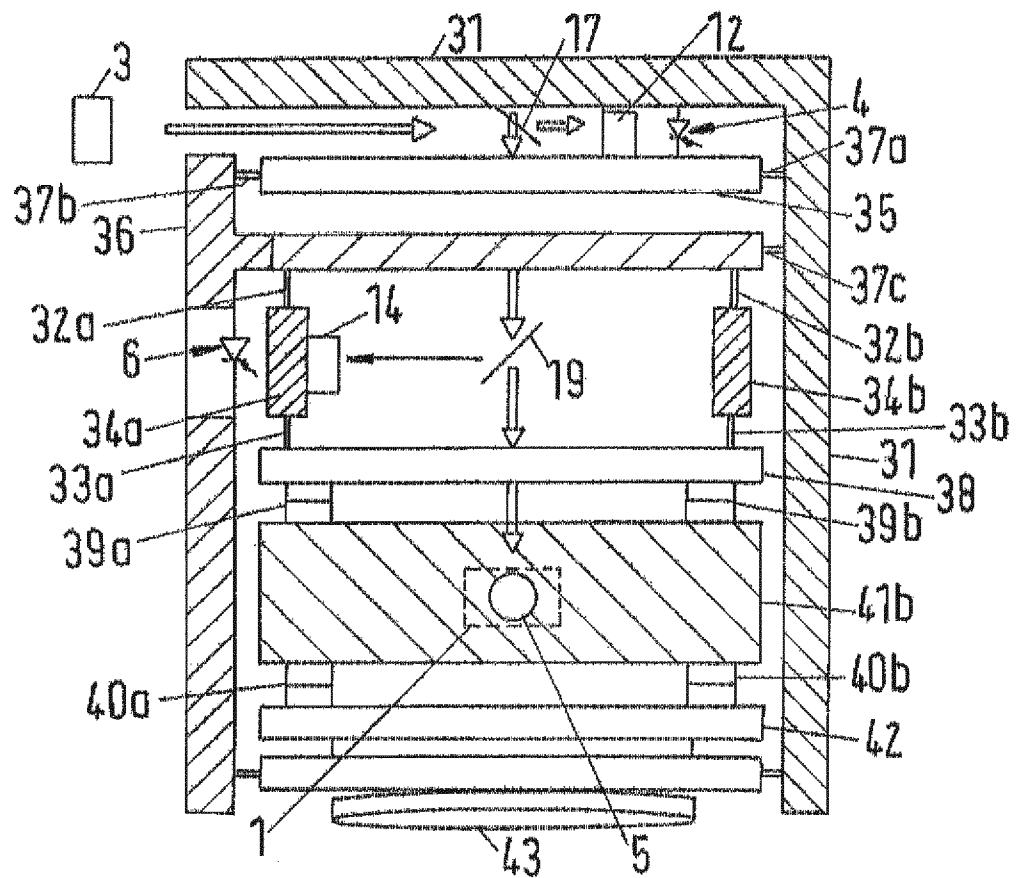


Fig.17

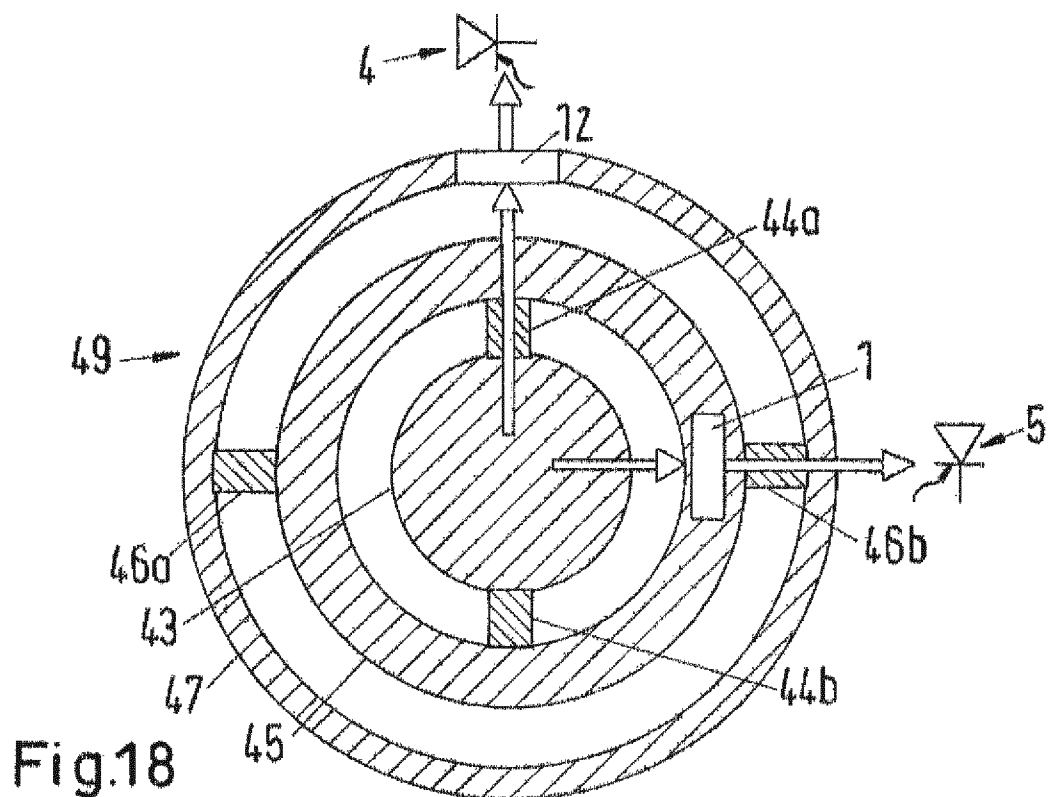


Fig.18

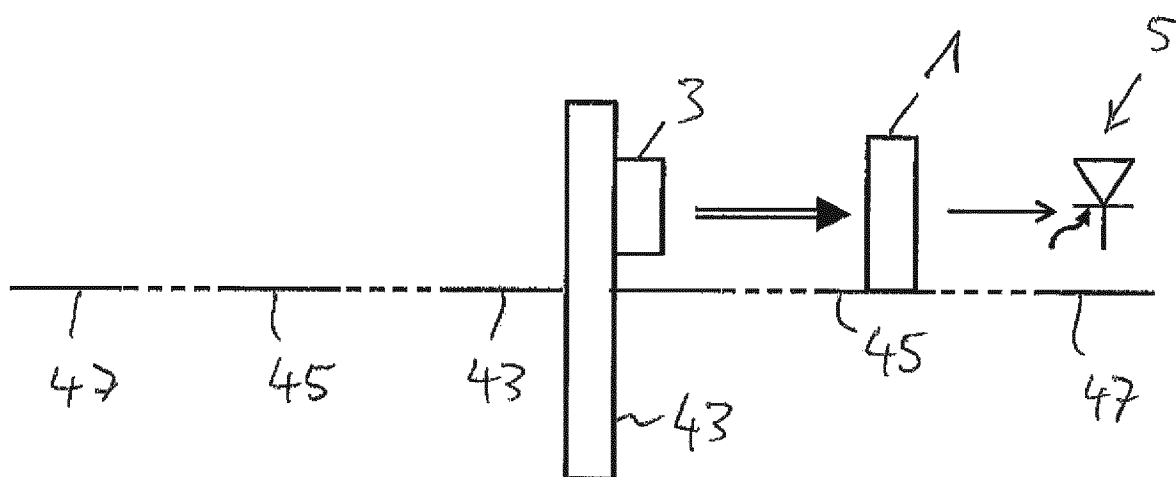


Fig. 19

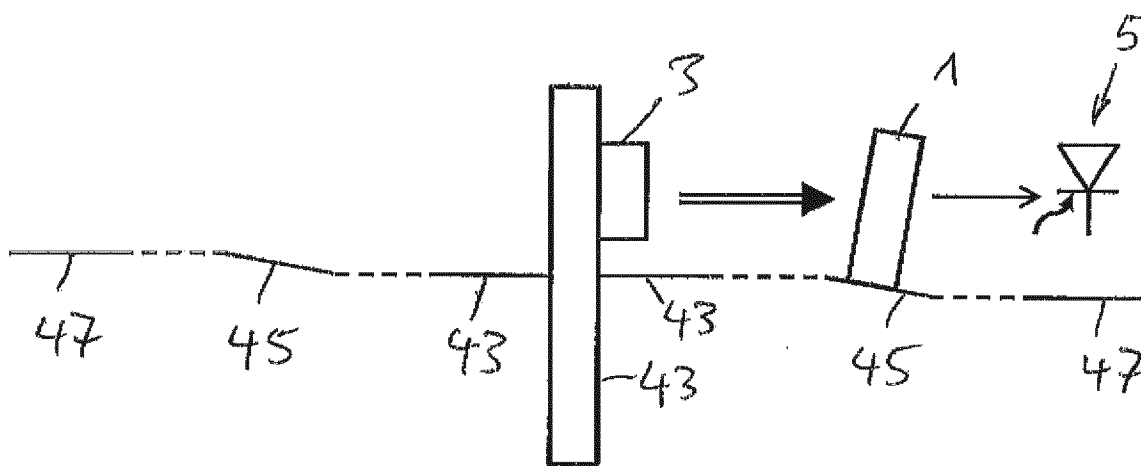


Fig. 20

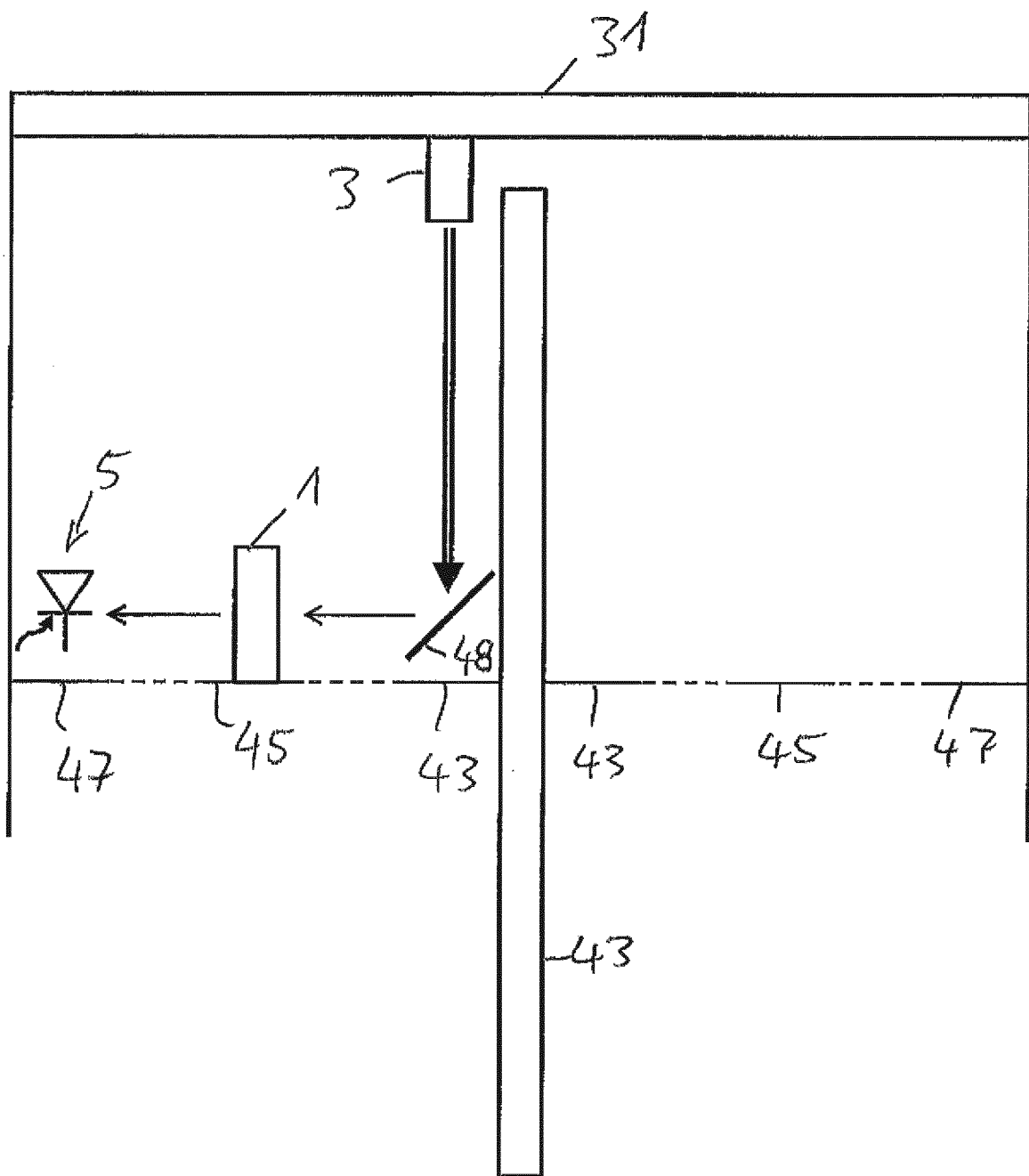


Fig. 21

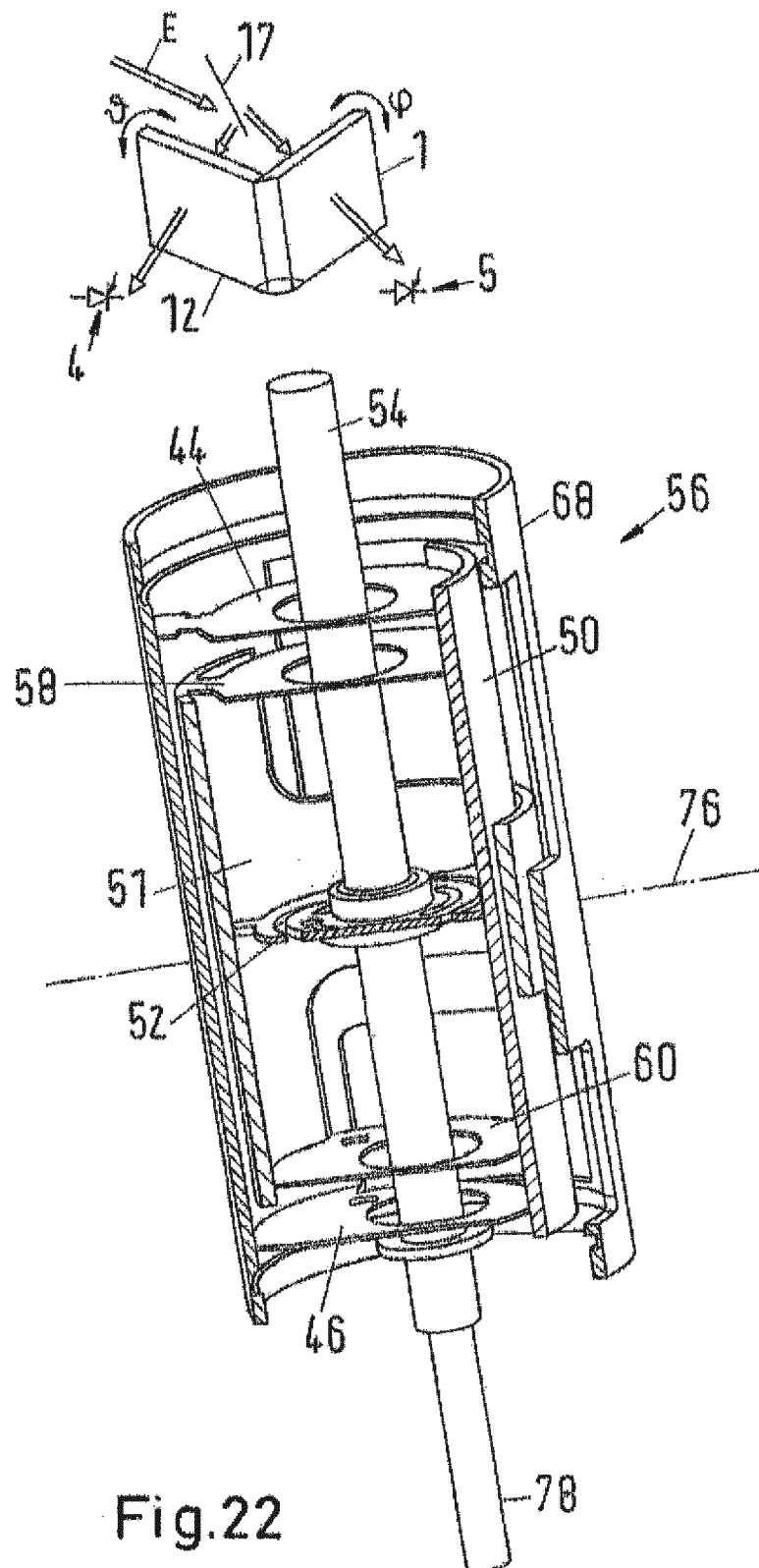


Fig. 23

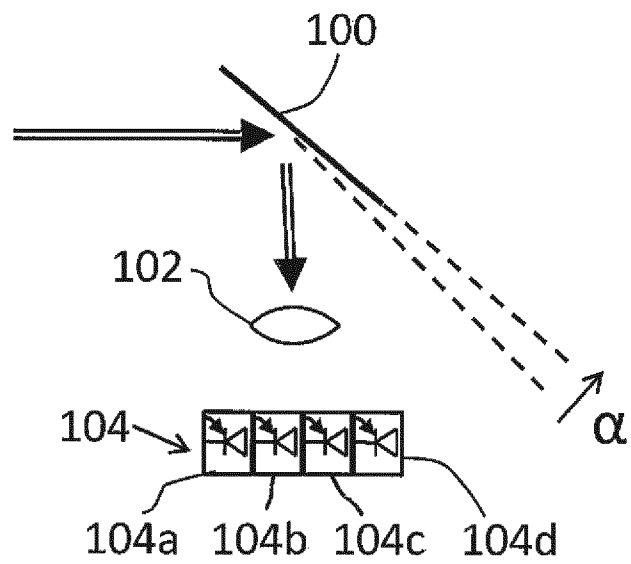
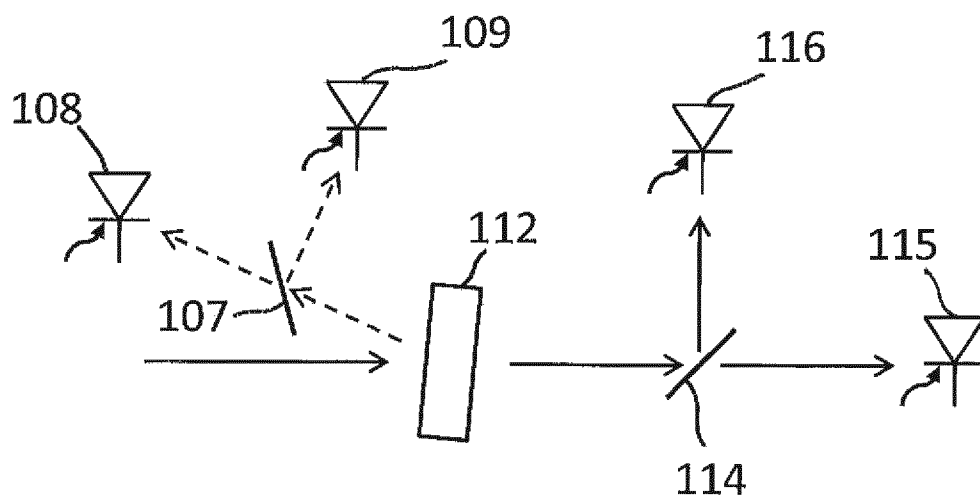


Fig. 24



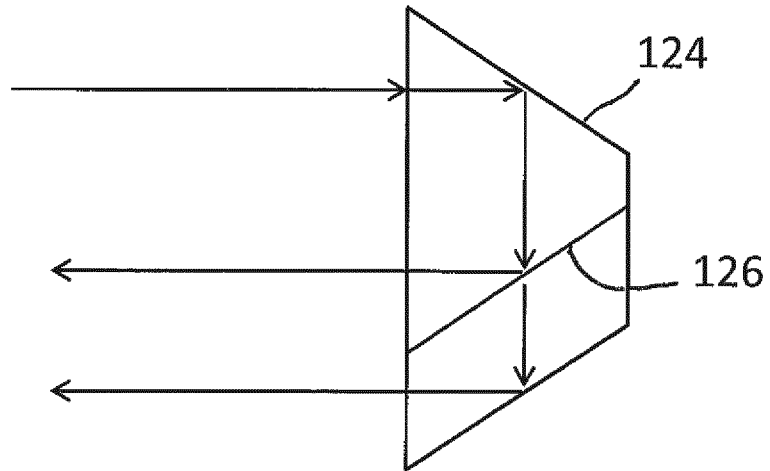


Fig. 25

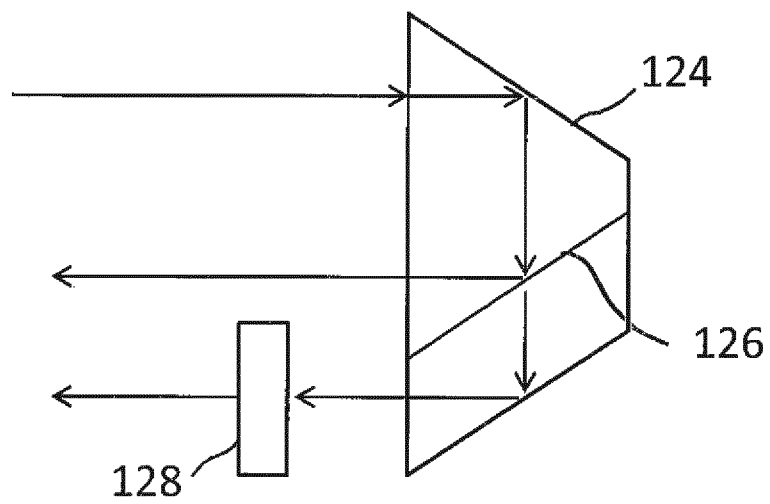


Fig. 26

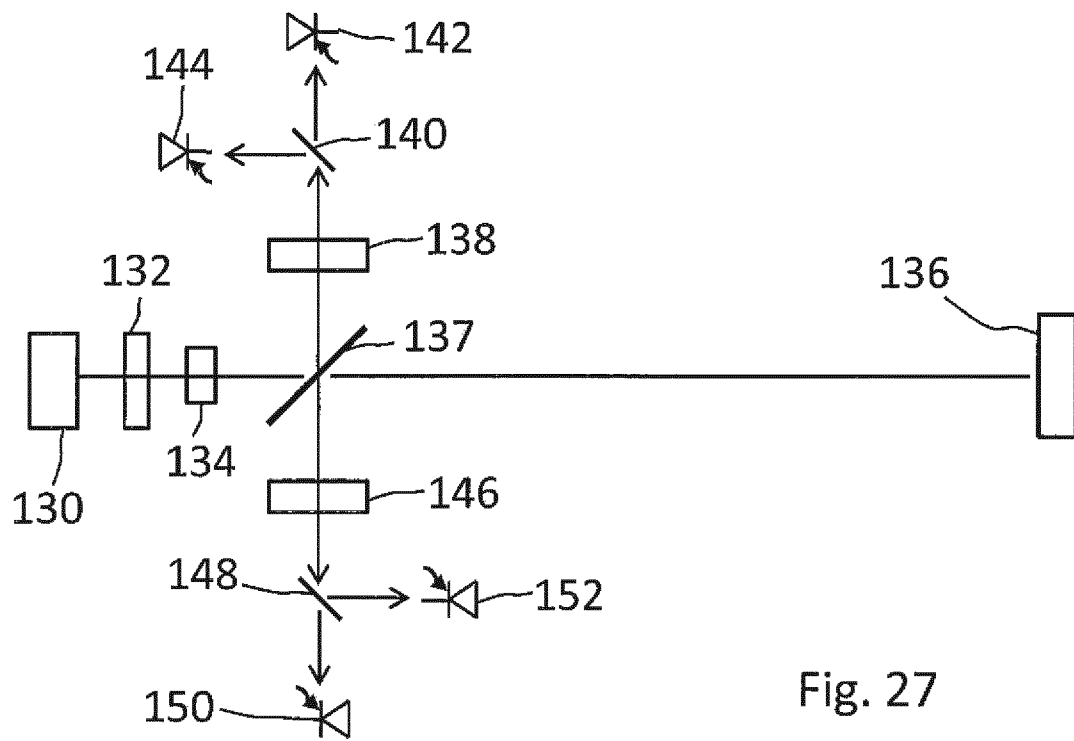


Fig. 27

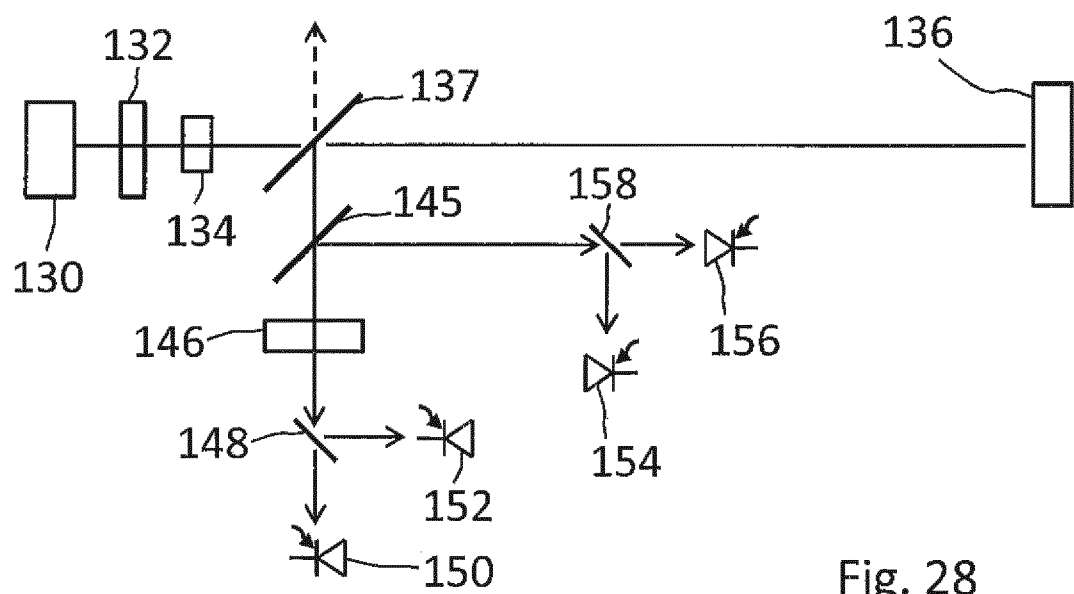
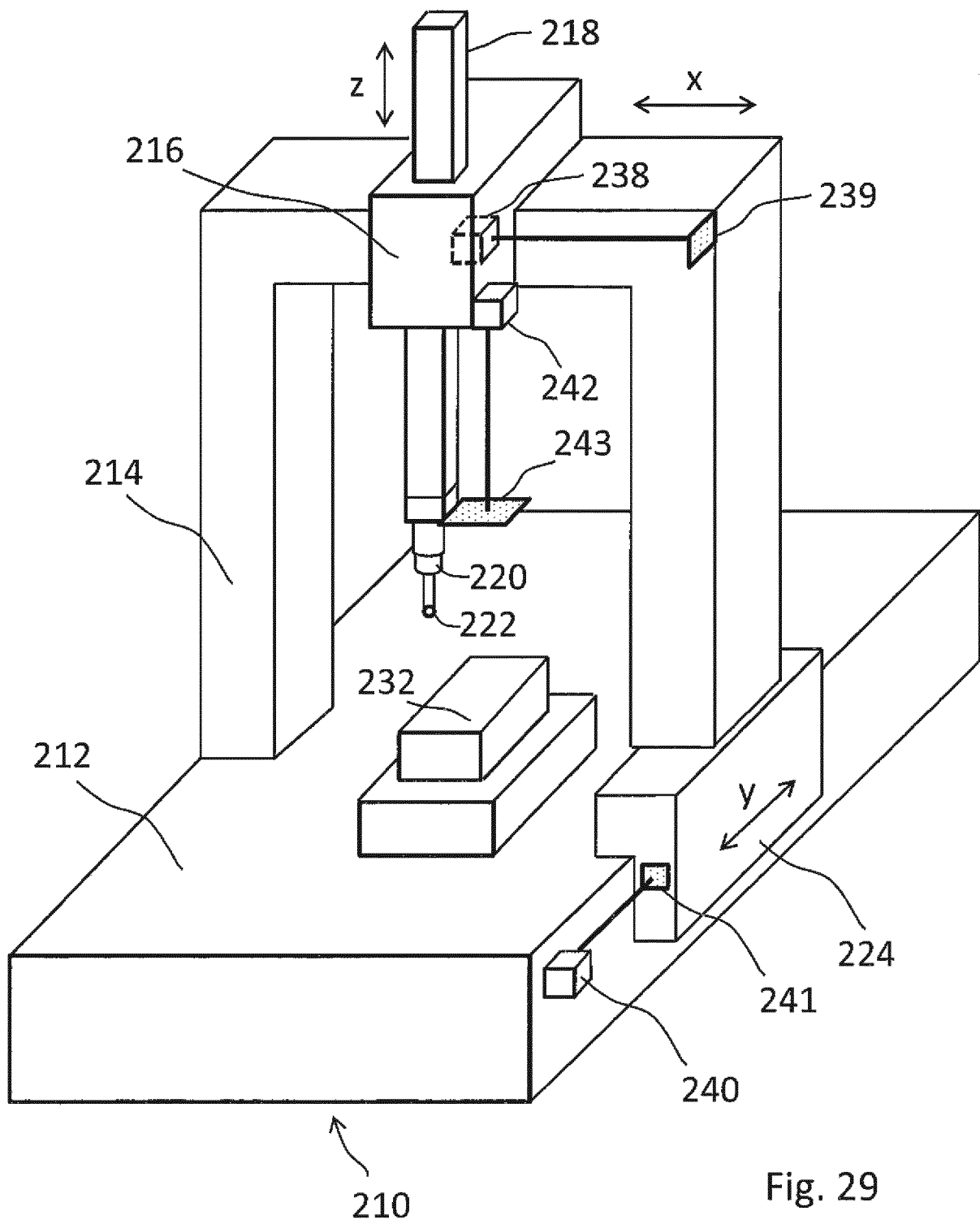
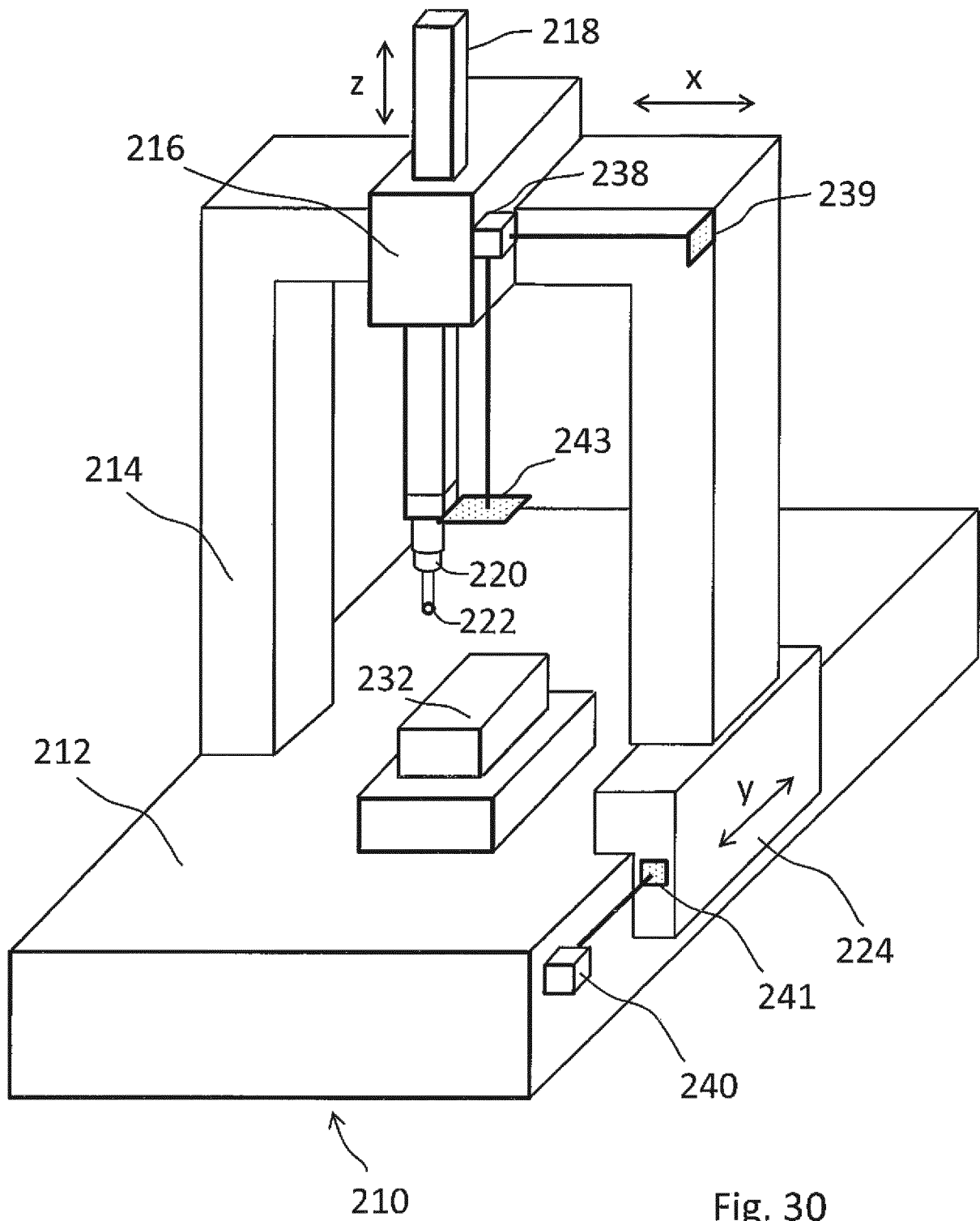
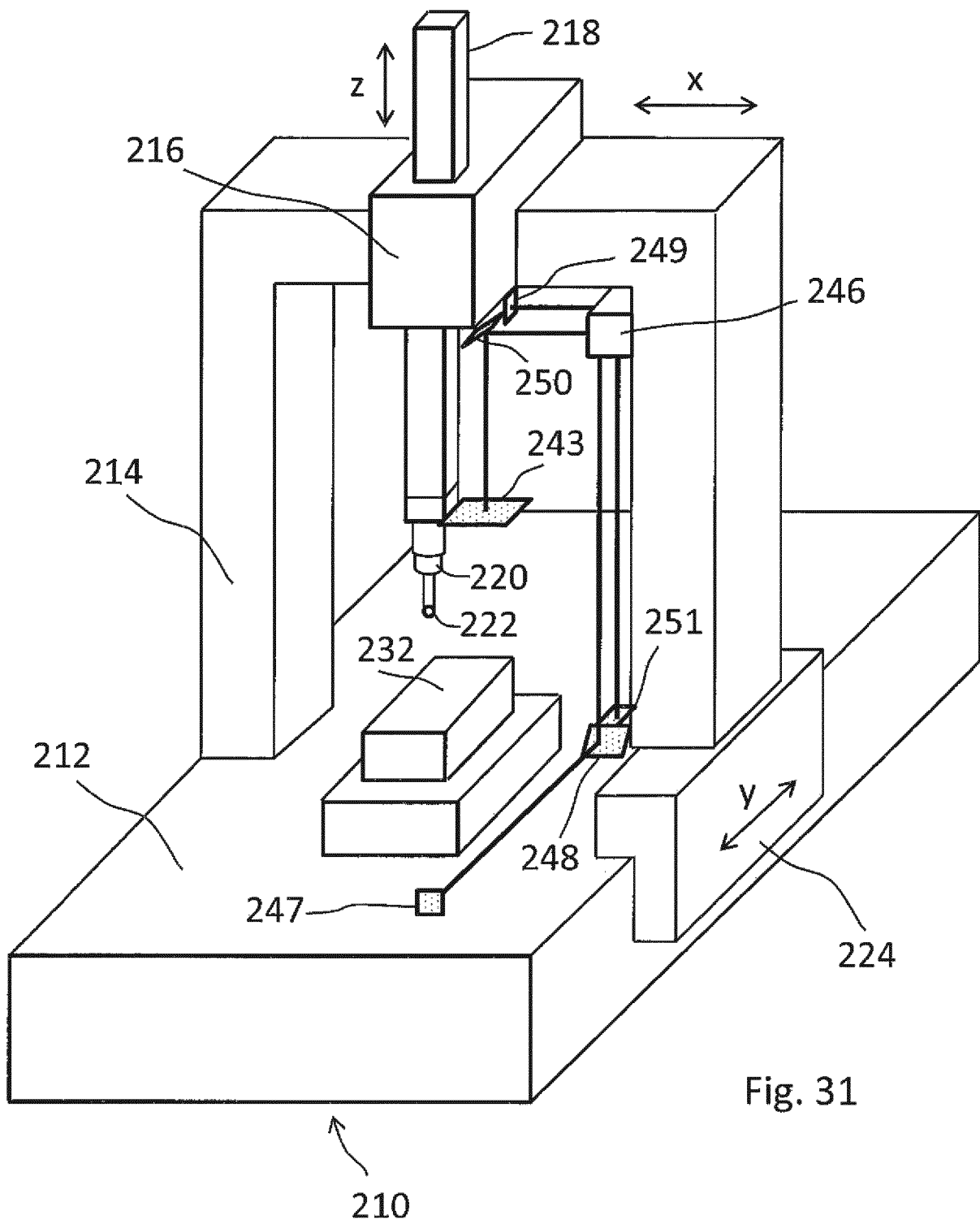
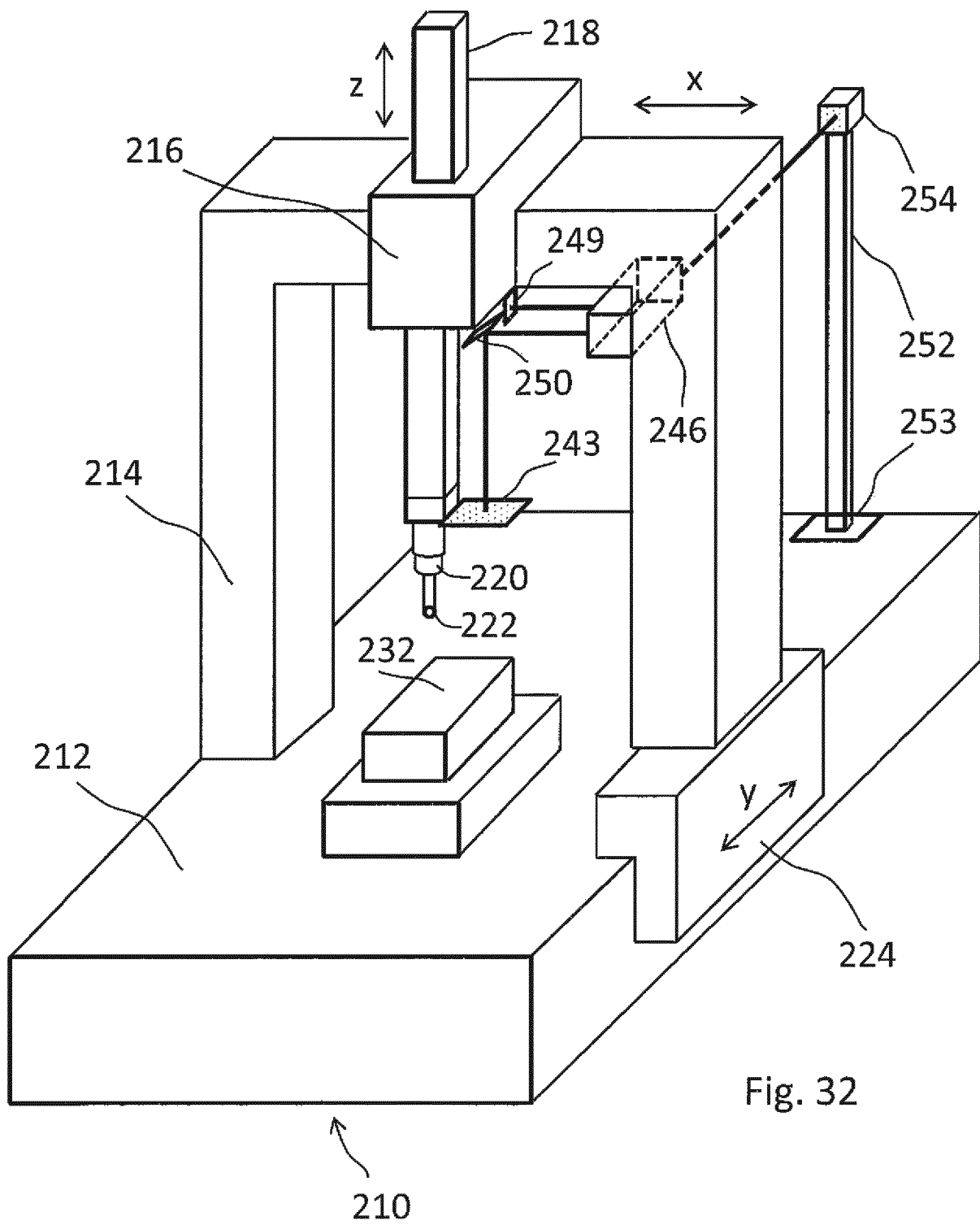


Fig. 28









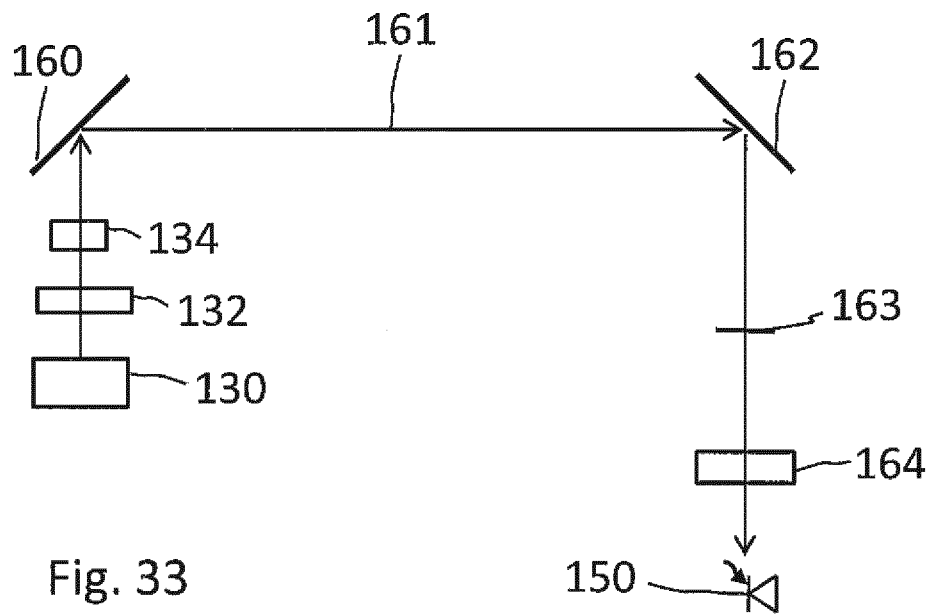


Fig. 33

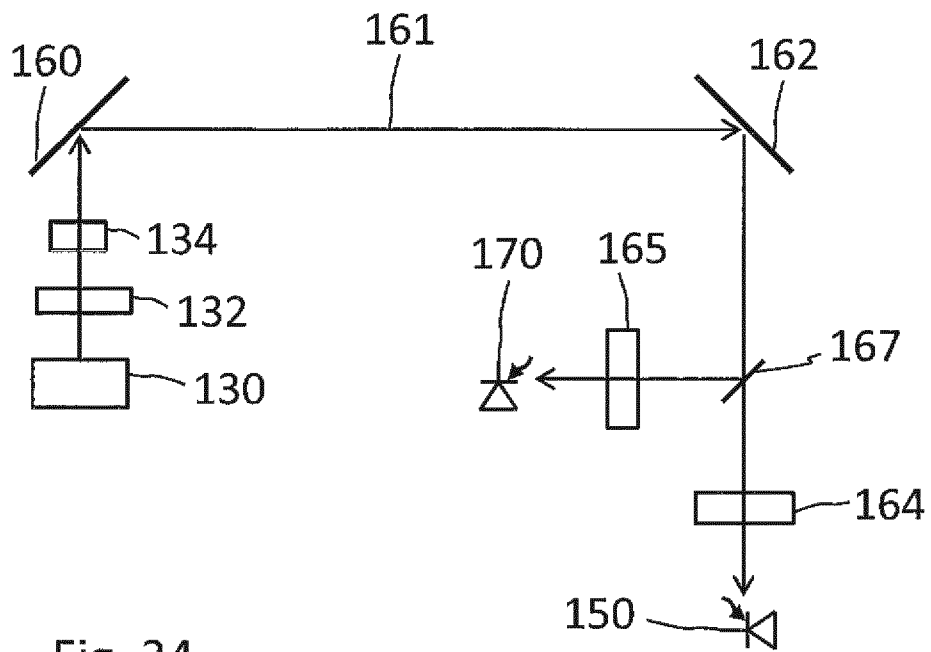


Fig. 34

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/070548

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01B9/02 G01B11/26 G01B9/10
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 7 330 246 B2 (TAGHAVI LARIGANI SHERVIN [US] ET AL) 12 February 2008 (2008-02-12) cited in the application column 2, line 15 - column 8, line 23; figures 1-4	1-17
X	----- US 4 969 744 A (ORDELL ERIK [SE]) 13 November 1990 (1990-11-13) cited in the application Spalte 4, Zeile 66 -Spalte 7, Zeile 10, Abbildungen 1-7	1-17
A	----- US 7 187 447 B1 (ALEXANDROVICH MICHAEL [US] ET AL) 6 March 2007 (2007-03-06) cited in the application column 1, line 58 - column 3, line 62; figures 1-5 ----- -/-	1-17



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 November 2013

Date of mailing of the international search report

04/12/2013

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Malcoci, Andrei

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2013/070548

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2009/314925 A1 (VAN VORHIS ROBERT [US] ET AL) 24 December 2009 (2009-12-24) Absatz [0039] - Absatz [0048], Abbildung 6 und 7	1-17
A	----- US 2010/020332 A1 (BOESSER HANS-ARTUR [DE] ET AL) 28 January 2010 (2010-01-28) paragraph [0002] - paragraph [0003]; figure 1 -----	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/070548

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 7330246	B2	12-02-2008	NONE
US 4969744	A	13-11-1990	EP 0323998 A1 19-07-1989 JP H02500860 A 22-03-1990 SE 458153 B 27-02-1989 US 4969744 A 13-11-1990 WO 8900674 A1 26-01-1989
US 7187447	B1	06-03-2007	NONE
US 2009314925	A1	24-12-2009	CA 2709099 A1 23-12-2009 EP 2240111 A2 20-10-2010 IL 206742 A 30-05-2013 US 2009314925 A1 24-12-2009 WO 2009155325 A2 23-12-2009
US 2010020332	A1	28-01-2010	DE 102008002968 A1 04-02-2010 US 2010020332 A1 28-01-2010

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01B9/02 G01B11/26 G01B9/10 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 7 330 246 B2 (TAGHAVI LARIGANI SHERVIN [US] ET AL) 12. Februar 2008 (2008-02-12) in der Anmeldung erwähnt Spalte 2, Zeile 15 - Spalte 8, Zeile 23; Abbildungen 1-4	1-17
X	US 4 969 744 A (ORDELL ERIK [SE]) 13. November 1990 (1990-11-13) in der Anmeldung erwähnt Spalte 4, Zeile 66 - Spalte 7, Zeile 10, Abbildungen 1-7	1-17
A	US 7 187 447 B1 (ALEXANDROVICH MICHAEL [US] ET AL) 6. März 2007 (2007-03-06) in der Anmeldung erwähnt Spalte 1, Zeile 58 - Spalte 3, Zeile 62; Abbildungen 1-5	1-17
	----- -/-	
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
26. November 2013		04/12/2013
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Malcoci, Andrei

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2009/314925 A1 (VAN VORHIS ROBERT [US] ET AL) 24. Dezember 2009 (2009-12-24) Absatz [0039] - Absatz [0048], Abbildung 6 und 7	1-17
A	----- US 2010/020332 A1 (BOESSER HANS-ARTUR [DE] ET AL) 28. Januar 2010 (2010-01-28) Absatz [0002] - Absatz [0003]; Abbildung 1 -----	1-17

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/070548

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 7330246	B2	12-02-2008	KEINE
US 4969744	A	13-11-1990	EP 0323998 A1 19-07-1989 JP H02500860 A 22-03-1990 SE 458153 B 27-02-1989 US 4969744 A 13-11-1990 WO 8900674 A1 26-01-1989
US 7187447	B1	06-03-2007	KEINE
US 2009314925	A1	24-12-2009	CA 2709099 A1 23-12-2009 EP 2240111 A2 20-10-2010 IL 206742 A 30-05-2013 US 2009314925 A1 24-12-2009 WO 2009155325 A2 23-12-2009
US 2010020332	A1	28-01-2010	DE 102008002968 A1 04-02-2010 US 2010020332 A1 28-01-2010