

(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
05. April 2018 (05.04.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/060229 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G02B 7/00 (2006.01) G02B 7/08 (2006.01)
F03G 7/06 (2006.01) G03B 3/12 (2006.01)
G02B 7/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/074460

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. September 2017 (27.09.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 219 054.7
30. September 2016 (30.09.2016) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS MICROSCOPY GMBH**
[DE/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

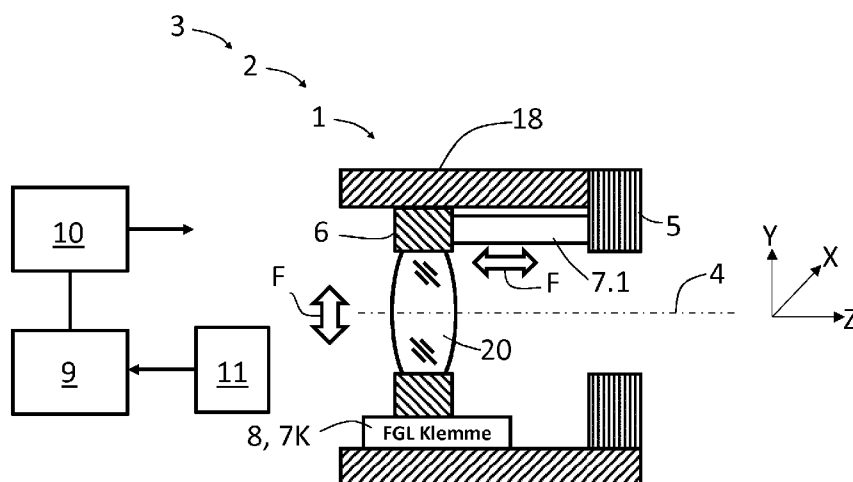
(72) Erfinder: **JOHN, Benjamin**; Döbereinerstraße 70, 07745 Jena (DE). **SCHULZ, Michael**; Neue Str. 1, 99958 Tonna (DE).

(74) Anwalt: **MEYER, Jork**; Carl Zeiss AG, Patentabteilung, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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,

(54) Title: ACTUATOR WITH SHAPE-MEMORY ELEMENT

(54) Bezeichnung: STELLANTRIEB MIT FORMGEDÄCHTNIS-ELEMENT



8, 7K SMA clamp

Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to an actuator (1) for adjusting an element (6) to be moved in a beam path of an optical arrangement (2), comprising the element (6) to be moved, a carrier (5) and at least one SM element (7.1 to 7.4), the SM element (7.1 to 7.4) being connected to the element (6) to be moved and designed such that it is supported on the carrier (5), so that when the dimension of the SM element (7.1 to 7.4) changes, a directed force effect (F) is produced between the element (6) to be moved and the carrier (5). The invention also relates to devices for adjusting an element (6) to be moved in a beam path of an optical arrangement (2), and to uses of the actuators (1).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Stellantrieb (1) zur Justage eines zu bewegendes Elements (6) in einem Strah-



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

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

lengang einer optischen Anordnung (2), umfassend das zu bewegend Element (6), einen Träger (5) und mindestens ein FG-Element (7.1 bis 7.4), wobei das FG-Element (7.1 bis 7.4) mit dem zu bewegend Element (6) in Verbindung steht und sich an dem Träger (5) abstützend ausgebildet ist, so dass bei einer Änderung der Ausdehnung des FG-Elements (7.1 bis 7.4) eine gerichtete Kraftwirkung (F) zwischen dem zu bewegend Element (6) und dem Träger (5) erzeugt ist. Die Erfindung betrifft weiterhin Vorrichtungen zur Justage eines zu bewegend Elements (6) in einem Strahlengang einer optischen Anordnung (2) sowie Verwendungen der Stellantriebe (1).

Stellantrieb mit Formgedächtnis-Element

Die Erfindung betrifft einen Stellantrieb mit Formgedächtnis-Element sowie Vorrichtungen zur Justage eines zu bewegenden Elements entlang eines Verschiebewegs. Die Erfindung betrifft weiterhin Anordnungen und Vorrichtungen mit einem Stellantrieb, sowie Verwendungen des Stellantriebs.

Zur Justage von zu bewegenden Elementen, insbesondere in optischen Anordnungen, werden bekanntermaßen beispielsweise Motoren und Piezo-Antriebe, eingesetzt. Diese können auch dazu verwendet werden, um in einer (teil-) automatisierten optischen Anordnung wie einem Mikroskop Bewegungen auszuführen. So kann beispielsweise der Fokus verändert oder Filter gewechselt werden.

Seit längerem ist die Fähigkeit von bestimmten Legierungen (Formgedächtnislegierungen, Formgedächtnismetalle, shape memory alloy, SMA) bekannt, nach Erwärmung ihre ursprüngliche Form wieder anzunehmen. Die dabei auftretenden Kräfte sind dazu geeignet, um gezielt bewegliche Elemente zu positionieren.

Ein erster Ansatz wurde bereits in EP 2 140 138 B1 beschrieben und für die Erzeugung einer Bewegung in einer Handykamera umgesetzt. Aus der EP 2 140 138 B1 ist insbesondere ein Steuerungssystem für eine SMA-Betätigungsverfahren bekannt. Die SMA-Betätigungsverfahren weist einen SMA-Betätiger auf, der bei Kontraktion aufgrund von Wärmeeinwirkung die Bewegung eines bewegbaren Bauteils bewirkt. Das Steuerungssystem umfasst eine Stromquelle. Der SMA-Betätiger wird durch elektrischen Strom erwärmt, der durch den SMA-Betätiger fließt. Ferner sind eine Detektorschaltung zu Detektieren des elektrischen Widerstands des SMA-Betätigers und eine Steuerung zum Steuern der Stromquelle vorhanden. Mittels der Steuerung wird der SMA-Betätiger erwärmt, während der elektrische Widerstand des SMA-Betätigers überwacht wird. Eine Position eines bewegbaren Bauteils wird erfasst und in Abhängigkeit der Position wird der SMA-Betätiger weiter erwärmt beziehungsweise gekühlt, um die Position des bewegbaren Bauteils einzustellen. Durch die gegenläufige Anordnung der Drähte aus Formgedächtnismetall ist eine genaue Positionierung des Aktuators möglich. Gleichzeitig kann durch Widerstandsmessung der verwendeten Drähte auf die aktuelle Position geschlossen werden.

In der US 8,441,749 B2 ist ein auf Formgedächtnislegierungen (shape memory alloy; SMA) basierender Stellantrieb beschrieben. Dieser umfasst einen Träger, ein zu bewegendes Element und eine Haltevorrichtung mit einer Vielzahl von elastischen Verbindungselementen zwischen Träger und zu bewegendem Element. Durch Wirkung der Haltevorrichtung wird das zu bewegende Element entlang einer Achse geführt. Mindestens ein SMA-Element in Form eines Drahtes übt bei einer Änderung seiner Länge eine Kraft auf das zu bewegende Element aus.

Aus der WO 2013/121225 A1 ist ein Stellantrieb bekannt, der vier SMA-Elemente in Form von Drähten, einen Träger und ein zu bewegendes Element umfasst. Die SMA-Elemente sind mit je einem ihrer Enden an dem Träger und dem zu bewegenden Element befestigt. Die durch die SMA-Elemente erzeugten Kraftwirkungen sind einander entgegengerichtet. Mittels einer gezielten Längenänderung der SMA-Elemente ist das zu bewegende Element in einer XY-Ebene positionierbar.

Die WO 2007/113478 betrifft einen Stellantrieb zur Bewegung einer Kameralinse. Der Stellantrieb umfasst einen Träger, die Kameralinse, eine Haltevorrichtung zur Führung der Bewegung der Kameralinse entlang ihrer optischen Achse und mindestens ein Paar SMA-Elemente. Diese sind unter Zugspannung zwischen der Kameralinse und dem Träger angeordnet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, weitere und gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Stellantriebe vorzuschlagen. Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, neue Vorrichtungen sowie Verwendungen unter Nutzung der Stellantriebe anzugeben.

Die Aufgabe wird hinsichtlich des Stellantriebs durch die Gegenstände des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst. Hinsichtlich der Vorrichtungen wird die Aufgabe durch die Gegenstände der Ansprüche 6, 7 und 9 gelöst. Hinsichtlich der Verwendungen wird die Aufgabe durch die Gegenstände der Ansprüche 13 bis 15 gelöst. Eine Anordnung umfassend einen Stellantrieb ist in Anspruch 6 angegeben.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Die Aufgabe wird durch einen Stellantrieb gelöst, der zur Justage eines zu bewegendes Elements entlang eines Verschiebewegs ausgebildet ist. Der Stellantrieb umfasst das zu bewegendes Element, einen Träger und mindestens ein Formgedächtnis-Element, wobei das Formgedächtnis-Element mit dem zu bewegendes Element in Verbindung steht und sich an dem Träger abstützend ausgebildet ist, so dass bei einer Änderung der Ausdehnung des Formgedächtnis-Elements eine gerichtete Kraftwirkung zwischen dem zu bewegendes Element und dem Träger erzeugt ist.

In der vorliegenden Beschreibung werden unter Formgedächtnis-Elementen, fortan auch kurz als FG-Elemente bezeichnet, solche Elemente verstanden, die im Wesentlichen aus einem Formgedächtnismaterial bestehen. Formgedächtnismaterialien können Formgedächtnislegierungen (smart metal alloy; nutzbar z. B. für Formgedächtnisaktuatoren), Formgedächtnispolymere (shape memory polymers, SMPs), magnetische Formgedächtnismaterialien (MSM, magnetic shape memory alloy; nutzbar z. B. für magnetische Formgedächtnisaktuatoren; magnetic shape memory actuators), dielektrische Elastomere (dielektrische Elastomeren; nutzbar für dielektrische Elastomeraktoren, DEA) sowie deren Kombinationen sein. Formgedächtnismaterialien können ferner Materialien sein, wie diese in der US 7,591,834 B2 beschrieben sind.

Magnetische Formgedächtnislegierungen können als eine Untergruppe der Formgedächtnislegierungen angesehen werden. Der Formgedächtniseffekt wird bei diesen Materialien in erster Linie durch die Einwirkung entsprechend ausgerichteter und starker Magnetfelder bewirkt. Dabei sind, abhängig vom jeweiligen Formgedächtnismaterial, Änderungen mindestens einer der Dimensionen des magnetischen Formgedächtnismaterials, beispielsweise dessen Länge, bis zu 10% möglich. FG-Elemente auf der Basis von magnetischen Formgedächtnismaterialien weisen eine große Selbsthemmung auf. Die Selbsthemmung ermöglicht es, beispielsweise ein optisches Element auch ohne ein zusätzliches Klemmelement an seiner Position zu halten. Aufgrund der Selbsthemmung verbleibt ein FG-Element beziehungsweise mindestens ein Teil der mit diesem FG-Element in Wirkbeziehung stehenden Elemente oder Bauteile auch bei Einwirken einer externen Kraft in ihrer Position.

An die Justage insbesondere optischer Systeme werden sehr hohe Anforderungen gestellt, um eine gleichbleibend hohe Abbildungsqualität zu sichern. Zugleich sollen Fertigungskosten reduziert

werden, indem beispielsweise solche technische Lösungen genutzt werden, bei denen die erforderlichen Toleranzen nicht zu gering gewählt werden müssen.

Bisher wurden Justagen zu bewegender Elemente beispielsweise mit Hilfe von Abstimmringen oder mit manuellen Stellelementen (z. B. Gewindestifte) realisiert. Dabei muss bei einer Justage mittels Abstimmringen das zu justierende System montiert, vermessen und anschließend wieder demontiert werden. Dieses Vorgehen bedingt einen hohen Zeitaufwand und das Risiko, bei der erneuten Montage des Systems dessen Eigenschaften zu verändern. Zudem ist keine Auswertung eines aktuellen Zustands der Justage in Echtzeit möglich.

Wird die Justage mittels manueller Stellelemente ausgeführt, ist die Feinfühligkeit der Justage beispielsweise durch das Gewinde limitiert. Ferner sind Zugänge zu den einzelnen Stellelementen erforderlich, wodurch die konstruktiven Ausführungsmöglichkeiten stark eingeschränkt werden. Nicht zuletzt wird für die Justagelemente zusätzlicher Bauraum benötigt.

Durch die Verwendung von FG-Elementen sowie von Stellantrieben umfassend FG-Elemente ist deren platzsparende und kostengünstige Integration beispielsweise in optischen Vorrichtungen ermöglicht. Die erreichbaren Stellgenauigkeiten liegen unter einem Mikrometer, sodass die Justage mit einer hohen Feinfühligkeit ausgeführt werden kann. Die Justage kann ferner visuell und beispielsweise in Echtzeit begleitet werden (live-Beobachtung).

Von Vorteil ist zudem, dass die einzuhaltenden Fertigungstoleranzen groß sein können (beispielsweise Wurfpassung). Die Fertigungstoleranzen sind mittels des erfindungsgemäßen Stellantriebs effizient ausgleichbar.

Auch sind mittels der FG-Elemente Stellwege zwischen beispielsweise 100 bis 500 μm realisierbar. Größere Stellwege erlauben eine geringere Fertigungsgenauigkeit der benachbarten Mechanik, was zur Senkung der Fertigungskosten beiträgt. Sind die FG-Elemente respektive der Stellantrieb optional zur Selbstanalyse bzw. zur Selbstvermessung (self sensing) ausgebildet, wird kein zusätzliches Messsystem für eine Nachjustage benötigt.

Soll eine erreichte Justageposition über einen längeren Zeitraum, beispielsweise für mehrere Stunden, Tage, Wochen oder Monate, beibehalten werden, kann die Selbsthemmung des Formgedächtnismaterials ausgenutzt werden. Besser ist zusätzliche eine Bremse oder eine Klemmeinheit und/oder ein Klemmelement vorgesehen, durch deren beziehungsweise durch dessen Wirkung das zu bewegende Element an der aktuellen Justageposition fixierbar ist oder fixiert wird.

Es ist auch möglich eine erreichte Justageposition durch Wirkung einer Reibkraft zu sichern, die beispielsweise zwischen dem zu bewegenden Element und dem Träger auftritt. Dazu kann das zu bewegende Element mittels Federn und/oder Magneten mit dem Träger verbunden sein, wobei insbesondere eine Ausführung mit Magneten geringe Bauräume und niedrige Kosten zulässt. Beispielsweise sind an dem zu bewegenden Element mehrere Magnete angebracht, wobei das zu bewegende Element beispielsweise aus einem nicht-magnetischen Material wie Aluminium, Kunststoff, Glas oder einem entsprechenden Verbundwerkstoff bestehen kann. Der Träger besteht aus einem (ferro-)magnetischen Material oder beinhaltet Bereiche aus einem solchen (ferro-)magnetischen Material.

Die zwischen den Magneten und dem Träger wirkenden Magnetkräfte halten das zu bewegende Element an dem Träger. Dabei ist von Vorteil, wenn die Magnete so angeordnet und dimensioniert

sind, dass zwischen diesen und dem Träger ein Luftspalt verbleibt. Eine solche Ausführung erlaubt eine hohe Genauigkeit und bedingt weniger Fehler, als wenn neben dem zu bewegenden Element auch die Magnete mit dem Träger in direkten Kontakt gelangen. Die zwischen dem zu bewegenden Element und dem Träger auftretenden Reibkräfte führen zu einer Selbsthemmung zwischen diesen Bauteilen. Die Reibkräfte sollen geringer als die mittels des oder der vorhandenen FG-Elemente bewirkten beziehungsweise bewirkbaren Stellkräfte sein. Diese Selbsthemmung ist im Vergleich zu den nachfolgend beschriebenen Bremsen oder Klemmeinheiten gering, reicht aber meist aus um geringe Störkräfte wie zum Beispiel leichte erschütterungsbedingte Beschleunigungen zu kompensieren.

In weiteren Ausführungen können sowohl der Träger als auch das zu bewegende Element Magnete aufweisen. Einander gegenüberliegende Magnete sind mit einander entgegengesetzten Polen angeordnet, so dass sich diese anziehen.

Es kann ein Positioniersystem aufgebaut werden, bei dem das zu bewegende Element mittels Aktoren, insbesondere mittels FG-Elementen, an eine gewünschte Position gestellt wird. Die Sicherung des zu bewegenden Elements an der gewünschten Position erfolgt durch die infolge der Magnetkräfte bewirkten Reibkräfte. Die Einhaltung der Position kann mittels geeigneter Sensoren überwacht werden. Wird eine unzulässige Abweichung einer aktuellen Position (Ist-Position) des zu bewegenden Elements von der gewünschten Position festgestellt, wird das zu bewegende Element wieder in die gewünschte Position gebracht, indem die FG-Elemente entsprechend angesteuert werden.

Die Vorteile eines solchen Systems bestehen darin, dass keine zusätzlichen Bremsen oder Klemmeinheiten benötigt werden und dass die FG-Elemente nur angesteuert, beispielsweise bestromt, werden, wenn sich das zu bewegende Element nicht mehr an der gewünschten Position (Soll-Position) befindet.

In einer weiteren Ausführungsmöglichkeit können an dem Träger eine oder mehrere Sensoren in beispielsweise in Form von Induktionsspulen angeordnet sein. Beispielsweise sind drei unter einem Winkel von je 120° zueinander versetzte Induktionsspulen vorhanden. Das zu bewegende Element muss aus einem elektrisch leitfähigen Material bestehen oder ein solches enthalten. Mittels der Induktionsspulen kann eine aktuelle Position des zu bewegenden Elements erfasst, beispielsweise aus den Messwerten der Induktionsspulen berechnet, werden. Verändert sich ein Abstand zwischen dem zu bewegenden Element und mindestens einer der Induktionsspulen, so verändern sich deren Messwerte, beispielsweise die Induktanz und/oder die Impedanz. Mittels eines geeigneten Wandlers, beispielsweise eines Induktanz-Digital-Wandlers wie den LDC1000 Inductance-Digital-Converter von Texas Instruments (eingetragene Marke), lassen sich die aktuellen Abstände - und dementsprechend die jeweiligen Abstandsänderungen - ermitteln. In weiteren Ausführungen können die Sensoren auch an dem zu bewegenden Element angeordnet sein.

Wenn das System aus Sensoren, Träger und zu bewegendem Element einmal kalibriert ist, lassen sich die aktuellen Positionen von Träger und zu bewegendem Element sowie deren Abstände präzise messen. Bei unzulässigen Abweichungen können die FG-Elemente derart angesteuert werden, dass wieder eine gewünschte Position von Träger und zu bewegendem Element erreicht wird. Dabei ist von Vorteil, dass das zu bewegende Element direkt detektiert werden kann und keine zusätzlichen Magnete oder andere Bauteile erforderlich sind. Es lassen sich hochintegrierte Lösungen mit einem geringen Bedarf an Bauraum und niedrigen Kosten realisieren. So können Induktionsspulen von

beispielsweise ca. $5 \times 5 \text{ mm}^2$ verwenden, deren Genauigkeit und Reproduzierbarkeit im Bereich weniger μm liegt. In einer weiteren möglichen Ausführung weist die Bremse oder die Klemmeinheit mindestens ein Federelement, beispielsweise einen Federring, auf, durch dessen Wirkung das zu bewegende Element beziehungsweise ein durch das zu bewegende Element gehaltenes Element wie zum Beispiel eine Linse, eine Blende oder ein Filter gegen ein Widerlager gedrückt ist. Das zu bewegende Element wird mittels mindestens eines FG-Elements quer zur Kraftwirkung der Bremse oder der Klemmeinheit bewegt beziehungsweise ist quer zur Kraftwirkung der Bremse oder der Klemmeinheit bewegbar.

Eine Verbindung zwischen dem FG-Element und dem zu bewegenden Element kann durch eine kraft-, form- und/oder stoffschlüssige Verbindung realisiert sein. Unter einer solchen Verbindung werden auch Ausführungen verstanden, bei denen das FG-Element an dem zu bewegenden Element mindestens über einen Abschnitt seiner Ausdehnung anliegt und/oder durch das zu bewegende Element durchgeführt ist und mit diesem mechanisch wechselwirkt.

Ein Abstützen des FG-Elements auf dem Träger kann mit einem losen Ende oder einem nicht form- oder stoffschlüssig mit dem Träger verbundenen Abschnitt erfolgen. Das FG-Element kann in weiteren Ausführungen lösbar oder unlösbar mit dem Träger verbunden sein.

Verbindungen sind beispielsweise lösbare Verbindungen, insbesondere kraft- und/oder formschlüssige Verbindungen, wie Verschraubungen, Klemmverbindungen oder Steckverbindungen. Verbindungen können in weiteren Ausführungen unlösbare kraft-, form- und/oder stoffschlüssige Verbindungen wie Klebverbindungen, Schweißverbindungen, Eingießen oder Pressverbindungen sein.

In einer weiteren Ausführung des Stellantriebs ist mindestens ein mittels eines FG-Elements angetriebenes oder antreibbares Klemmelement vorhanden, dessen Kraftwirkung auf das zu bewegende Element gerichtet ist und durch dessen Kraftwirkung das zu bewegende Element gegen ein Widerlager geklemmt ist, so dass das geklemmte zu bewegende Element an einer Klemmposition gehalten ist. Die Kraftwirkung tritt im angetriebenen Zustand auf. Ist das Klemmelement nicht angetrieben ist die Kraftwirkung auf das zu bewegende Element richtbar und zu bewegende Element an einer Klemmposition klemmbar.

Das Klemmelement kann in möglichen weiteren Ausführungen angetrieben sein, wenn sich das FG-Element im abgekühlten und/oder stromlosen Zustand befindet. Soll das zu bewegende Element zugestellt werden, wird das FG-Element erwärmt und/oder von einem elektrischen Strom durchflossen. Die Kraftwirkung des Klemmelements lässt nach oder wird aufgehoben, sodass das zu bewegende Element zustellbar ist. Um das zu bewegende Element an seiner zugestellten Position zu fixieren, wird das FG-Element des Klemmelements wieder abgekühlt und/oder stromlos geschaltet woraufhin die Kraftwirkung des Klemmelements wieder einsetzt und das zu bewegende Element an seiner Position gehalten ist. Entsprechendes gilt für die Einwirkung eines Magnetfelds auf das FG-Element beziehungsweise dessen Abschaltung.

Eine solche Ausführung ist beispielsweise dann von Vorteil, wenn das zu bewegende Element vor der Auslieferung beispielsweise an einen Kunden oder bei der Vorortmontage eines den Stellantrieb umfassenden Produkts justiert wird und nach der Justage für einen längeren Zeitraum an der Klemmposition gehalten werden soll (sogenannte Set-and-Forget-Applikationen).

Es ist in weiteren Ausführungen möglich, dass das Klemmelement angetrieben ist, wenn sich das FG-Element im erwärmten und/oder stromführenden Zustand befindet. Soll das zu bewegende Element zugestellt werden, wird das FG-Element abgekühlt und/oder stromlos geschaltet. Die Kraftwirkung des Klemmelements lässt nach oder wird aufgehoben, sodass das zu bewegende Element zustellbar ist. Um das zu bewegende Element an seiner zugestellten Position zu fixieren, wird das FG-Element des Klemmelements wieder erwärmt und/oder von einem elektrischen Strom durchflossen. Entsprechendes gilt für die Einwirkung eines Magnetfelds auf das FG-Element beziehungsweise dessen Abschaltung.

Das Klemmelement kann direkt durch das antreibende FG-Element gebildet sein, welches dann unmittelbar mit dem zu bewegenden Element in Verbindung steht. Diese Ausführung ist sehr platz- und materialsparend.

In einer weiteren möglichen Ausführung ist mindestens eines der FG-Elemente im Wesentlichen aus einem magnetischen Formgedächtnismaterial gebildet. Ein solches FG-Element kann vorteilhaft durch die Wirkungen von einem oder mehreren Magnetfeldern betätigt werden. Es sind beispielsweise keine elektrischen Anschlüsse an dem FG-Element erforderlich.

In weiteren Ausführungen kann auf elektrische und/oder elektronische Bauteile an dem Stellantrieb verzichtet werden, wenn dieser mittels geeigneter Magnetfelder betätigt ist.

Das aus dem magnetischen Formgedächtnismaterial bestehende FG-Element kann dabei eines der mit dem zu bewegenden Element verbundenen FG-Elemente und/oder das mindestens eine FG-Element sein.

Werden die FG-Elemente in weiteren Ausführungsformen des Stellantriebs gegensinnig betrieben, kann die Kraftwirkung mindestens eines FG-Elements durch die Kraftwirkungen mindestens eines weiteren FG-Elements teilweise kompensiert werden, wodurch ein Überfahren einer gewünschten Position weitestgehend vermieden werden kann.

Anstatt gegensinnig betriebener FG-Elemente oder zusätzlich zu diesen kann mindestens ein Federelement vorhanden sein, das als Antagonist zu dem mindestens einen FG-Element fungiert.

Der Stellantrieb kann in einer weiteren Ausführung mindestens zwei FG-Elemente aufweisen, die derart angeordnet sind, dass deren jeweilige gerichtete Kraftwirkungen wenigstens anteilig gegeneinander gerichtet sind. Die sich gegenüberliegenden FG-Elemente können gegensinnig betrieben werden. Wird beispielsweise bei einem der FG-Elemente eine Kontraktion bewirkt, wird als Ausgleich bei dem gegenüberliegenden FG-Element eine Ausdehnung verursacht.

In weiteren Ausführungsmöglichkeiten sind die FG-Elemente derart ausgerichtet, dass deren Kraftwirkungen nicht genau einander entgegengerichtet sind. Mittels einer solchen Ausführung ist ein zu bewegendes Element, das mit den beiden FG-Elementen verbunden ist, anteilig in allen Raumrichtungen verschiebbar und um mindestens eine Rotationsachse verkippar.

Um das aus einem magnetischen Formgedächtnismaterial bestehende FG-Element anzusteuern und eine Formänderung des FG-Elements zu bewirken, ist in einer weiteren Ausführung des Stellantriebs mindestens eine Spule zur Erzeugung eines Magnetfelds derart angeordnet, dass die Magnetfeldlinien des Magnetfelds quer zur auftretenden gerichteten Kraftwirkung des mindestens einen FG-Element aus magnetischem Formgedächtnismaterial verlaufen.

Mittels des Magnetfelds ist vorteilhaft eine berührungslose Ansteuerung des FG-Elements möglich.

Der Stellantrieb kann Bestandteil einer Anordnung, beispielsweise einer mechanischen oder einer optischen Anordnung sein. Die Anordnung weist dabei eine den Verschiebeweg wenigstens auf einer seiner Seiten begrenzenden Wand beispielsweise eines Gehäuses oder eines Tubus auf. Weiterhin ist ein Leiter aus einem magnetisch leitfähigen Material vorhanden, wobei der Leiter wenigstens über einen Abschnitt seiner Länge in der Wand verläuft und der Leiter mit mindestens einem der FG-Elemente derart in Verbindung steht, dass in dem Leiter geführte Magnetfeldlinien mit dem FG-Element wechselwirken. Infolge der Wechselwirkungen, sofern diese stark genug sind, wird die Kraftwirkung verursacht.

Die Vorteile einer solchen Ausführung liegen in einem geringen Platzbedarf und einer robusten Ausführung des Stellantriebs. Beispielsweise ist eine solche Ausführung zum Verfahren optischer Linsen entlang einer optischen Achse, beispielsweise einer optischen Vorrichtung, verwendbar.

Eine optische Vorrichtung ist insbesondere ein Objektiv. Die optische Vorrichtung kann in weiteren Ausführungen auch eine optische Bank, ein Abschnitt eines Strahlengangs eines optischen Geräts, beispielsweise eines Mikroskops oder eines optischen Messgeräts sein. Die optische Vorrichtung kann auch als Cineobjektiv, Kameraobjektiv, Zielfernrohr, binokulares Fernglas oder monokulares Fernglas ausgebildet sein.

Der Stellantrieb kann in der optischen Vorrichtung angeordnet sein um dort optische Elemente, beispielsweise optische Linsen, zu bewegen.

Gemäß dem Stand der Technik wurden Bewegungen im Inneren von optischen Vorrichtungen, z. B. in Objektiven oder anderen optischen oder opto-mechanischen Baugruppen, bislang durch Antriebe bewirkt, die aus dem optischen Baugruppen nach außen verlagert wurden und beispielsweise mittels Elektromotoren betrieben wurden.

Eine Ausführung mit einem integrierten Stellantrieb vermeidet beispielsweise vorteilhaft eine platzintensive Ausführung vorhandener optischer beziehungsweise opto-mechanischer Baugruppen. Zudem sind die mittels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs erzeugbaren Stellkräfte größer als solche, die beispielsweise mit miniaturisierten Piezoantrieben erreichbar sind.

Das zu bewegendes Element kann eine Halterung oder Fassung sein, in der ein zu justierendes Bauteil, beispielsweise eine oder mehrere optische Linsen, eine Blende, ein Spiegel, ein Filter, ein Sensor oder ein Gitter gehalten ist oder gehalten werden kann.

Das zu bewegendes Element kann auch monolithisch ausgebildet sein und das zu justierende Bauteil selbst sein. Beispielsweise kann das zu bewegendes Element eine Platte mit einer Blendenöffnung sein. Das zu bewegendes Element können eine oder mehrere Linsen, Blenden und/oder ein Prismensystem, insbesondere ein Umkehrsystem, sein.

Es ist auch möglich, dass wenigstens zwei zu bewegendes Elemente vorhanden sind, die als optische Freiformelemente ausgebildet sind. Beispielsweise ist jeweils eine Alvarezplatte ausgebildet, die relativ zueinander bewegt werden sollen. Insbesondere die Bewegung von Alvarezplatten erfordert eine sehr präzise Bewegung in eng begrenztem Bauraum.

Die Aufgabe wird ferner durch eine Vorrichtung zur Justage gelöst, die eine Auswerteeinheit zur Auswertung aktueller Ortskoordinaten inklusive Raumkoordinaten und relativer räumlicher Lagen der zu bewegend Elemente und/oder der FG-Elemente umfasst. Außerdem ist eine Steuereinheit zur Generierung von Steuerbefehlen in Abhängigkeit der ausgewerteten aktuellen Ortskoordinaten vorhanden. Die Ortskoordinaten können beispielsweise zweidimensionale Koordinaten und/oder Raumkoordinaten sein und/oder relative räumliche Lagen beispielsweise des zu bewegend Elements und eines Verlaufs eines aktuellen Strahlengangs einer optischen Anordnung, beispielsweise eines Mikroskops, eines Messgeräts, eines Geräts zur Verwendung in einem chirurgischen oder therapeutischen Verfahren, einer Beleuchtungsvorrichtung oder Belichtungsvorrichtung.

In einer weitergebildeten Ausführungsform der Vorrichtung ist die Auswerteeinheit und/oder die Steuereinheit, die gemeinsam als Steuereinheit bezeichnet werden können, konfiguriert, um in Abhängigkeit von eingehenden Messwerten von Betriebsparametern und/oder in Abhängigkeit von auswählbaren Betriebsarten der Vorrichtung die Steuerbefehle anhand von Berechnungsvorschriften zu generieren.

Berechnungsvorschriften sind beispielsweise gespeicherte und durch die Steuereinheit abrufbare look-up-tables oder mathematische Funktionen, durch die ein Zusammenhang der Messwerte und der zu generierenden Steuerbefehle vorgegeben ist.

Betriebsarten sind beispielsweise die Nutzung unterschiedlicher Wellenlängen oder Wellenlängenbereiche zum Beispiel für die Durchführung von Messungen an einer Probe.

Die Vorrichtung kann in einer weiteren Ausführungsform derart ausgebildet sein, dass die Steuereinheit über eine datentechnische Verbindung mit mindestens einem weiteren Bauteil in Verbindung steht und die Steuereinheit konfiguriert ist, um die Steuerbefehle in Abhängigkeit von erhaltenen Daten des mindestens einen weiteren Bauteils zu generieren.

Der Stellantrieb, die Anordnung sowie die Vorrichtung können beispielsweise in optischen Systemen wie Mikroskopsystemen jedweder Art, beispielsweise Laserscanningmikroskope, Elektronenmikroskope, Weitfeldmikroskope, verwendet sein.

Eine Anordnung kann mehrere erfindungsgemäße Stellantriebe gleicher oder unterschiedlicher Ausführungen aufweisen.

In weiteren Ausführungen der Anordnung können die vorhandenen Stellantriebe in voneinander verschiedenen Richtungen X, Y und/oder Z verstellbar sein. Es ist ferner möglich, dass erfindungsgemäße Stellantriebe mit ortsfest verbauten Bauteilen, beispielsweise optischen Linsen, Blenden und/oder Filtern, kombiniert sind.

Mittels der Vorrichtung zur Justage ist beispielsweise eine Möglichkeit des Stellantriebs für Korrekturverstellungen des zu bewegend Elements beziehungsweise der zu bewegend Elemente angegeben. Die erforderlichen Verstellungen können sowohl radial als auch axial erfolgen.

Bei Unzugänglichkeit des optischen Bauteils, beispielsweise durch einen Inkubationsaufbau, muss die Verstellung gemäß dem Stand der Technik von außen motorisch angetrieben werden, während mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Justage ein Antrieb im Inneren des optischen Bauteils

bereitgestellt ist. Es ist vorteilhaft eine Verlagerung des Stellantriebs nach außerhalb des optischen Bauteils vermieden.

Der Stellantrieb kann zur Zustellung von Komponenten eines Objektivs verwendet werden. Er kann auch zur Justage eines ein Pinhole aufweisenden zu bewegendes Elements, einer Blende oder eines Korrekturspiegels verwendet werden. Eine weitere mögliche Verwendung des Stellantriebs liegt in der Justage wenigstens zweier optischer Elemente relativ zueinander. Die optischen Elemente können optische Freiformelemente, beispielsweise Alvarezplatten, optische Linsen und/oder Sensoren sein.

Der Stellantrieb und/oder die Vorrichtung zur Justage kann beziehungsweise können zur Justage eines Sensors verwendet werden.

Das zu bewegendes Element, und mit diesem ein in diesem gefasstes oder gehaltenes zu justierendes Element (vereinfachend gemeinsam als zu bewegendes Element bezeichnet) wird mittels des Stellantriebs gesteuert bewegt. Dazu können Ist-Messwerte eines Sensors erfasst und ausgewertet werden, indem beispielsweise die Ist-Messwerte mit Soll-Messwerten verglichen werden. In Abhängigkeit des Ergebnisses des Vergleichs werden die Steuerbefehle generiert.

Die Messwerte sind beispielsweise mittels einer Widerstandsmessung der SMA-Elemente erfassbar. In weiteren Ausführungen werden die Messwerte alternativ oder zusätzlich mithilfe von Bildauswertungsverfahren ermittelt.

Eine Generierung von Steuerbefehlen kann unterbleiben, wenn die Abweichung von Ist-Messwerten und Soll-Messwerten innerhalb einer zulässigen Toleranzgrenze liegt.

Die vorgeschlagenen Lösungen, insbesondere der Stellantrieb, dessen Verwendungen und die Verfahren zur Justage ermöglichen vorteilhaft, ein oder mehrere zu bewegendes Elemente mit hoher Genauigkeit und sehr guter Reproduzierbarkeit um kleine Strecken zu verstellen. Die beschriebenen Lösungen ermöglichen den Einsatz von Stellantrieben unter konstruktiv schwierigen Bedingungen, bei geringem verfügbaren Bauraum und mit geringen Kosten.

Es sind vorteilhaft keine Zugänge für Werkzeug notwendig. Eine Live-Justage, also eine Justage unter enger zeitlicher Beobachtung ist möglich. Die Vorrichtung kann im vollständig montierten Zustand justiert werden, sodass keine erneute Demontage und/oder Nachbearbeitung notwendig sind.

Weitere Vorteile bestehen in der Möglichkeit Vor-Ort-Justage beim Kunden durchzuführen, wobei diese beispielsweise über ein Netzwerk ohne die unmittelbare Präsenz eines Servicetechnikers erfolgen kann. Die Justage kann natürlich auch vor Ort durch einen Servicetechniker durchgeführt werden.

Die Vorrichtung, insbesondere die Steuereinheit, kann derart konfiguriert sein, dass eine Nachjustage, wie diese beispielsweise nach einem Transport der Vorrichtung oder nach einem bestimmten Nutzungszeitraum erforderlich sein kann, vorgenommen wird. Dazu kann in einem Speicher der Steuereinheit oder in einem mit dieser verbundenen Speicher ein Werkzustand der Vorrichtung hinterlegt sein, der bei der Nachjustage überprüft oder wiederhergestellt wird.

Die Konfiguration der Steuereinheit kann ferner auch derart erfolgen, dass eine Optimierung der Vorrichtung, also deren Leistungsparameter wie zum Beispiel die Auflösung oder die Präzision der

Zustellung des zu bewegendes Elements an eine gewünschte Soll-Position, in Abhängigkeit äußerer Einflüsse erfolgt.

So können Messwerte der aktuellen Raumtemperatur erfasst werden. Anhand der hinterlegten Berechnungsvorschriften werden Steuerbefehle generiert, um eventuelle Auswirkungen von Temperaturänderungen, z. B. Längenänderung von Teilen der Vorrichtung und/oder des Stellantriebs, auszugleichen.

Es ist ebenfalls möglich, die Anordnung oder die Vorrichtung zusammen mit anderen Systemkomponenten zu verwenden. Die Berechnungsvorschriften können in Abhängigkeit der anderen tatsächlich vorhandenen Systemkomponenten ausgewählt und/oder modifiziert werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Abbildungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a eine schematische Darstellung eines Formgedächtnis-Elements aus einer Gedächtnislegierung sowie dessen Verhalten bei Verformung und Erwärmung;

Fig. 1b eine schematische Darstellung eines Formgedächtnis-Elements aus einem magnetischen Formgedächtnismaterial und dessen Verhalten bei unterschiedlichen Magnetfeldeinflüssen;

Fig. 1c eine schematische Darstellung eines Formgedächtnis-Elements aus einem dielektrischen Elastomer als Formgedächtnismaterial und dessen Verhalten in einem elektrischen Feld;

Fig. 2a eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs in einer seitlichen Darstellung,

Fig. 2b eine schematische Darstellung des ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs in einer seitlichen Draufsicht,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs mit einem Formgedächtnis-Element als Klemmelement und ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Justage von zu bewegendes Elementen,

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Längsschnitts eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen optischen Vorrichtung mit mehreren Stellantrieben, die zugleich als ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Justage von zu bewegendes Elementen ausgebildet ist,

Fig. 5a eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Stellantriebs und eines dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in der Draufsicht,

Fig. 5b die schematische Darstellung des dritten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Stellantriebs und des dritten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer seitlichen Schnittdarstellung,

Fig. 6a eine schematische Darstellung eines vierten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Stellantriebs und eines vierten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in der Draufsicht,

Fig. 6b die schematische Darstellung des vierten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Stellantriebs und des vierten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer seitlichen Schnittdarstellung,

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines fünften Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs und eines fünften Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 8 eine schematische Darstellung eines sechsten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Stellantriebs und eines sechsten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung sowie ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung.

Fig. 9 eine schematische Darstellung eines siebenten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Stellantriebs und eines siebenten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 10 eine schematische Darstellung eines achten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Stellantrieben gemäß des siebten Ausführungsbeispiels,

Fig. 11 eine schematische Darstellung eines neunten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Stellantrieben gemäß eines achten Ausführungsbeispiels,

Fig. 12 eine schematische Darstellung eines zehnten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Stellantrieben gemäß eines neunten Ausführungsbeispiels,

Fig. 13 eine schematische Darstellung eines elften Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Stellantrieben gemäß des siebten und des neunten Ausführungsbeispiels,

Fig. 14 eine schematische Darstellung eines zwölften Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem Stellantrieb gemäß eines zehnten Ausführungsbeispiels,

Fig. 15a eine schematische Darstellung eines zwölften Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem Stellantrieb gemäß eines zehnten Ausführungsbeispiels in der Draufsicht,

Fig. 15b eine schematische Darstellung des zwölften Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit dem Stellantrieb gemäß eines zehnten Ausführungsbeispiels in der Seitenansicht,

Fig. 16 eine schematische Darstellung eines dreizehnten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Magneten zur Verbindung von Träger und zu bewegenden Element in einer Seitenansicht als Schnittdarstellung

Fig. 17 eine schematische Darstellung des dreizehnten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer Draufsicht mit radial wirkenden FG-Elementen,

Fig. 18 eine schematische Darstellung eines vierzehnten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Sensoren zur induktiven Messung von Positionen.

In den schematischen Darstellungen der Ausführungsbeispiele sind gleiche technische Element mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet, falls nicht ausdrücklich anders angegeben. Die Darstellungen sind nicht maßstabsgerecht. Die Figuren 1a bis 1c wurden der Internetseite <http://www.smarthoch3.de/ueber-smart3/smart-materials> (Stand 30. Mai 2016) entnommen und durch Figurennummern und Bezugszeichen ergänzt. Die Figuren 2 bis 15b sind als Schnittdarstellungen oder als Teilschnitte gezeigt.

Die Eigenschaften eines Formgedächtnis-Elements 7 (fortan: FG-Element 7) aus einer thermischen Formgedächtnislegierung sind in den Teilfiguren (1) bis (4) der Fig. 1a dargestellt. Das FG-Element 7 weist in einer Ausgangsform eine bestimmte Gitterstruktur auf (Teilfigur (1)). Wird das FG-Element 7 beispielsweise durch eine mechanische Krafteinwirkung in eine veränderte Form gebracht (Teilfigur (2)), wird wenigstens bereichsweise dessen Gitterstruktur verändert. Bei Einwirken eines Stimulus, im dargestellten Fall von Wärme, auf das verformte FG-Element 7 (Teilfigur (3)) nimmt dieses wieder seine Ausgangsform an (Teilfigur (4)). Kühlt das FG-Element 7 wieder ab, wird die ursprüngliche Gitterstruktur wieder hergestellt.

In dem erläuterten Sinne verhalten sich auch magnetische Formgedächtnismaterialien (Fig. 1b). Je nach Richtung und Stärke des auf das FG-Element 7 einwirkenden Magnetfelds, veranschaulicht durch die zugehörigen Magnetfeldlinien MFL (siehe Fig. 5 bis 7), wird eine Formänderung des FG-Elements 7 bewirkt.

Sogenannte Dielektrische Elastomeraktoren bestehen im Wesentlichen aus einem dielektrischen Elastomer. Wird dieses einem elektrischen Feld ausgesetzt, verändern sich die Form und/oder die Dimensionen des DEA (Fig. 1c).

Ein Stellantrieb 1 umfasst als wesentliche Bestandteile ein zu bewegendes Element 6, einen Träger 5 und mindestens ein FG-Element 7, wobei das FG-Element 7 mit dem zu bewegendem Element 6 in Verbindung steht und sich an dem Träger 5 abstützend ausgebildet ist (Fig. 2a).

In einem ersten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Stellantriebs 1, sind ein erstes FG-Element 7.1 und ein zweites FG-Element 7.2 vorhanden. Das zu bewegendes Element 6 ist als eine Fassung einer optischen Linse 20 ausgebildet. Zwischen dem zu bewegendem Element 6 und dem Träger 5, der hier durch einen Tubus 18 oder in Hinblick auf weitere mögliche Ausführungen verallgemeinernd durch ein Gehäuse 18 gebildet ist, befindet sich umlaufend um das zu bewegendes Element 6 ein Freiraum 15. Die FG-Elemente 7.1, 7.2 sind in dem Freiraum 15 angeordnet.

Durch eine Änderung der Ausdehnung der FG-Elemente 7.1 und/oder 7.2 in mindestens einer ihrer Dimensionen wird eine gerichtete Kraftwirkung F auf das zu bewegendes Element 6 ausgeübt (mittels der Doppelpfeile symbolisiert), durch die das zu bewegendes Element 6 in der X-Y-Ebene XY verschiebbar ist und die optische Linse 20 in Bezug auf eine in Richtung der Z-Achse Z verlaufende optische Achse 4 einer nicht näher dargestellten optischen Anordnung 2 justierbar ist.

In weiteren Ausführungsmöglichkeiten des Stellantriebs 1 sind die FG-Elemente 7.1 und 7.2 derart angeordnet und ausgebildet, dass die Kraftwirkung F in Richtung der Z-Achse Z erzeugt wird und das zu bewegendes Element 6 mit der optischen Linse 20 entlang der optischen Achse 4 justierbar ist.

Es ist in weiteren Ausführungen möglich, dass mittels der FG-Elemente 7.1, 7.2 Verschiebungen des zu bewegendem Elements 6 sowohl in der X-Y-Ebene XY als auch in Richtung der Z-Achse Z realisierbar sind.

Die Fig. 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Stellantriebs 1 mit einem FG-Element 7.1 zur Justage des zu bewegendem Elements 6 entlang der optischen Achse 4 sowie ein mittels eines FG-Elements 7K angetriebenes Klemmelement 8. In dem Ausführungsbeispiel gemäß der Fig. 3 ist das Klemmelement 8 durch das unmittelbar mit dem zu bewegendem Element 6 in Verbindung stehenden FG-Element 7K selbst gebildet.

Mittels des ersten FG-Elements 7.1 ist das zu bewegende Element 6 entlang der Z-Achse Z, die hier wiederum mit der optischen Achse 4 zusammenfällt, verschiebbar. Die Kraftwirkung F des FG-Elements 7K ist orthogonal zur Richtung der Kraftwirkung F des ersten FG-Elements 7.1 auf das zu bewegende Element 6 gerichtet oder richtbar. Das erste FG-Element 7.1 stützt sich an dem Träger 5 ab, der an dem Gehäuse 18 angeformt ist.

Das FG-Element 7K ist im dargestellten Ausführungsbeispiel ein MSM-FG-Element aus einem magnetischen Formgedächtnismaterial. Das FG-Element 7.1 besteht im Wesentlichen aus einer Formgedächtnislegierung und ist thermisch ansteuerbar.

In weiteren Ausführungen können das FG-Element 7.1 und das FG-Element 7K aus jeweils einem thermisch steuerbaren Formgedächtnismaterial, einem magnetisch steuerbaren Formgedächtnismaterial oder aus einem dielektrischen Elastomer als Formgedächtnismaterial bestehen.

Die entsprechende Austauschbarkeit der Formgedächtnismaterialien der FG-Elemente 7 beziehungsweise der FG-Elemente 7K der Klemmelemente 8 gilt für alle beschriebenen Ausführungen der Erfindung, falls dieses nicht ausdrücklich anders angegeben ist.

Um die Bewegungen und die Kraftwirkungen F der FG-Elemente 7.1 und 7K zu steuern, sind eine Auswerteeinheit 9 und eine Steuereinheit 10 vorhanden. Die FG-Elemente 7.1 und 7K sind mittels der Steuereinheit 10 unabhängig voneinander ansteuerbar. Dabei erfolgt die Ansteuerung beispielsweise dadurch, dass je FG-Elemente 7.1, 7K ein elektrischer Strom bestimmter Stärke und mit einer bestimmten elektrischen Spannung durch diese fließt. Infolge der Wirkung des ohmschen Widerstands der jeweiligen FG-Elemente 7.1, 7K und der dabei erzeugten Wärme wird eine Änderung wenigstens einer Dimension der FG-Elemente 7.1, 7K bewirkt.

Eine aktuelle Länge sowie ein aktueller ohmscher Widerstand jedes der FG-Elemente 7.1, 7K ist mittels einer geeigneten und dem Fachmann bekannten Messschaltung 11 oder eines Sensors 11 erfassbar. Die dabei erhaltenen Messwerte werden der Auswerteeinheit 9 übermittelt, die wiederum mit der Steuereinheit 10 in einer für die Übertragung von Daten geeigneten Weise in Verbindung steht und als dessen Bestandteil oder Untereinheit ausgebildet sein kann. Die Auswerteeinheit 9 ist zur Auswertung aktueller Ortskoordinaten beispielsweise der FG-Elemente 7.1, 7K sowie deren aktueller Ausdehnungszustände, der aktuellen räumlichen Lage eines Strahlengangs der optischen Anordnung 2 und/oder der aktuellen relativen Lage des zu bewegenden Elements 6, in Bezug zum aktuellen Strahlengang konfiguriert.

Der Stellantrieb 1, die Auswerteeinheit 9 und die Steuereinheit 10 sind wesentliche Elemente einer Vorrichtung 3 zur Justage des zu bewegenden Elements 6, deren erstes Ausführungsbeispiel in der Fig. 3 gezeigt ist.

In Abhängigkeit der von der Auswerteeinheit 9 übermittelten Messwerte und/oder von Auswerteergebnissen der Auswerteeinheit 9 sowie optional unter Verwendung weiterer Messwerte beispielsweise der Umgebungstemperatur, werden durch die Steuereinheit 10 Steuersignale zur Ansteuerung der FG-Elemente 7.1, 7K generiert und ausgegeben. Durch den aktuellen Strahlengang beziehungsweise dessen aktuellen Verlauf ist die optische Achse 4 der optischen Anordnung 2 gegeben.

Die Steuerbefehle werden in nicht dargestellten Vorrichtungen umgesetzt und die entsprechenden Stromflüsse und/oder Temperaturänderungen der FG-Elemente 7.1, 7K bewirkt.

Das zu bewegend Element 6 kann entlang der optischen Achse 4 justiert werden. Ist das zu bewegend Element 6 mittels des ersten FG-Elements 7.1 entlang der Z-Achse Z justiert und befindet sich an einer aktuellen Justageposition, wird ein Steuerbefehl für das FG-Element 7K generiert und ausgeführt, worauf das zu bewegend Element 6 durch die Kraftwirkung F des FG-Elements 7K gegen den Träger 5 gepresst und an der aktuellen Justageposition in einer Klemmposition gehalten wird.

Ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen optischen Vorrichtung 3 mit mehreren Stellantrieben 1 ist in der Fig. 4 dargestellt. Die optische Vorrichtung 3 in Form eines Objektivs 19 ist zugleich als eine erfindungsgemäße Vorrichtung 3 zur Justage von zu bewegend Elementen 6 ausgebildet.

In einem Gehäuse 18 sind eine Fassung 17 einer als Frontlinse ausgebildeten optischen Linse 20 sowie ein rohrförmiger Träger 5 angeordnet. In dem Träger 5 befinden sich vier zu bewegend Elemente 6.1 bis 6.4 in Form von Fassungen optischer Linsen 20, die entlang der optischen Achse 4 der optischen Anordnung 2 aufgereiht sind. Zwischen den zu bewegend Elementen 6.1 und 6.2 sowie 6.2 und 6.3 befinden sich die FG-Elemente 7.1 und 7.2 beziehungsweise 7.3 und 7.4. Die zu bewegend Elementen 6.1 bis 6.3 sind mittels der jeweiligen FG-Elemente 7.1 bis 7.4 in Richtung der Z-Achse Z in Richtung der optischen Achse 4 der Anordnung 2 justierbar.

Das zu bewegend Element 6.4 steht mit den FG-Elementen 7.5 und 7.6 in unmittelbarer Verbindung und ist in der X-Y-Ebene XY justierbar.

Einzelne oder alle der ersten bis dritten zu bewegend Elementen 6.1 bis 6.3 können in einer weiteren Ausführung mit einem Klemmelement 8 versehen sein (siehe Fig. 3). Das vierte zu bewegend Element 6.4 kann in einer weiteren Ausführung alternativ oder zusätzlich zu Klemmelementen 8 der ersten bis dritten zu bewegend Elementen 6.1 bis 6.3 mit einem Klemmelement 8 versehen sein, wie dies beispielsweise in der Fig. 5b beschrieben ist.

Die Fig. 5a zeigt eine Draufsicht auf ein drittes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Stellantriebs 1 und ein drittes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 3 entlang der optischen Achse 4.

Das zu bewegend Element 6 ist über vier FG-Elemente 7.1 bis 7.4 mit dem als Träger 5 fungierenden Gehäuse 18 unmittelbar verbunden.

In der seitlichen Schnittdarstellung des dritten Ausführungsbeispiels des Stellantriebs 1 und der Vorrichtung 3 sind weitere Elemente zu sehen, auf die aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Fig. 5a verzichtet wurde.

Das zu bewegend Element 6, und somit die optische Linse 20, ist in der X-Y-Ebene XY justierbar. Mit dem Erreichen einer aktuellen Justageposition wird das zu bewegend Element 6 mittels der Klemmelemente 8, die durch die FG-Elemente 7K angetrieben sind, in axialer Richtung, also in Richtung der Z-Achse Z, gegen einen als Anschlag 14 wirkenden Teil des Gehäuses 18 gepresst und an der aktuellen Justageposition (Klemmposition) gehalten.

Die FG-Elemente 7.1 bis 7.4 bestehen aus einem magnetisch steuerbaren Formgedächtnismaterial (MSM-FG-Elemente).

Das Gehäuse 18 radial umfangend sind eine erste Spule 16.1 und eine zweite Spule 16.2 zur Erzeugung eines Magnetfelds angeordnet. Die Orientierungen der Spulen 16.1, 16.2 und ein elektrischer Stromfluss durch diese sind derart gewählt, dass die Magnetfeldlinien MFL quer zur auftretenden gerichteten Kraftwirkung F der FG-Elemente 7.1 bis 7.4 verlaufen.

Durch die Wirkung des Magnetfelds, insbesondere durch dessen Stärke und Richtung, werden die FG-Elemente 7.1 bis 7.4 berührungslos angesteuert. Die Ansteuerung erfolgt dabei durch das Gehäuse 18 hindurch, so dass keine Öffnungen in einer Wand 13 des Gehäuses 18 erforderlich sind.

Dabei ist dem Fachmann bekannt, dass die Magnetfeldlinien MFL eines Magnetfelds gebogenen Bahnen folgen. Der Fachmann versteht die gegebene vereinfachende Beschreibung und wählt die Spulen 16.1, 16.2 und deren Anordnung so aus, dass der vorgenannte Effekt auf die FG-Elemente 7.1 bis 7.4 in einem technisch sinnvoll nutzbaren Umfang auftritt.

In einer weiteren Ausführung des erfindungsgemäßen Stellantriebs 1 und der erfindungsgemäßen Vorrichtung 3 sind die FG-Elemente 7.1 bis 7.3 (Fig. 6a und 6b) derart angeordnet, dass deren Kraftwirkung F koaxial zur optischen Achse 4 in Richtung der Z-Achse Z auftritt. Die FG-Elemente 7.1 bis 7.3 bestehen aus magnetisch steuerbaren Formgedächtnismaterial (MSM-FG-Elemente).

Die beiden Spulen 16.1 und 16.2 sind jeweils in Ebenen parallel zur optischen Achse 4 angeordnet. Die Magnetfeldlinien MFL des durch die Spulen 16.1, 16.2 erzeugten beziehungsweise erzeugbaren Magnetfelds verlaufen wieder quer zur Kraftwirkung F der FG-Elemente 7.1 bis 7.3, allerdings nun in Richtung der Y-Achse Y und damit quer zur optischen Achse 4.

Die mittels des Magnetfelds in den FG-Elementen 7.1 bis 7.3 bewirkte oder bewirkbare Änderung der Dimensionen, insbesondere der Länge der FG-Elemente, 7.1 bis 7.3 kann für ein Justage des zu bewegenden Elements 6 entlang der Z-Achse Z genutzt werden. Zusätzlich oder alternativ können Kippbewegungen des zu bewegenden Elements 6 um die X-Achse X und/oder um die Y-Achse Y mit den Kippwinkeln φ_X beziehungsweise φ_Y erzeugt werden.

In der Fig. 7 ist eine weitere Ausführung des Stellantriebs 1 und der Vorrichtung 3 dargestellt, die eine Abwandlung der zu Fig. 6b beschriebene Ausführung darstellt.

In dem Gehäuse 18 sind entlang der optischen Achse 4 zwei zu bewegende Elemente 6 angeordnet, die jeweils eine optische Linse 20 halten. Zwischen den zu bewegenden Elementen 6 sind zwei FG-Elemente 7.1, 7.2 angeordnet, deren Kraftwirkung F parallel zur optischen Achse 4 gerichtet ist. Die FG-Elemente 7.1, 7.2 sind zwischen den als Fassungen ausgebildeten zu bewegenden Elementen 6 angeordnet und stützen sich an einem der zu bewegenden Elemente 6 ab während die FG-Elemente 7.1, 7.2 in dem jeweils anderen zu bewegenden Element 6 gelagert sind.

Die Spulen 16.1 und 16.2 sind so angeordnet, dass die Magnetfeldlinien MFL der von den Spulen 16.1, 16.2 erzeugten Magnetfelder quer zur optischen Achse 4 und zur Kraftwirkung F der FG-Elemente 7.1, 7.2 verlaufen.

Die beiden zu bewegendenden Elemente 6 sind mittels des Stellantriebs 1 relativ zueinander entlang der optischen Achse 4 justierbar. Die Wirkung des Magnetfelds beziehungsweise der Magnetfelder der Spulen 16.1, 16.2 ist durch die Wand 13 des Gehäuses 18 applizierbar.

Eines der zu bewegendenden Elemente 6 ist fest mit dem Gehäuse 18 verbunden während das andere zu bewegendende Element 6 entlang der optischen Achse 4 verschiebbar ist. Die FG-Elemente 7.1, 7.2 stehen über das fest mit dem Gehäuse 18 verbundene zu bewegendende Element 6 mit dem als Träger 5 fungierenden Gehäuse 18 in mittelbarer Verbindung.

Ein sechstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Stellantriebs 1 und ein sechstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 3 ist in der Fig. 8 schematisch gezeigt.

Die dargestellte Anordnung 2 umfasst einen Stellantrieb 1 mit einem FG-Element 7, das in eine erste Wand 13.1 des Gehäuses 18 ragt.

Ein Verschiebeweg quer zur optischen Achse 4 ist durch das Gehäuse 18 und dessen Wände 13.1, 13.2 (nur diese beiden gezeigt) auf seinen Seiten parallel zur optischen Achse 4 begrenzt.

In der ersten Wand 13.1 ist ein Leiter 12 aus einem magnetisch leitfähigen Material U-förmig eingebracht, wobei der Leiter 12 wenigstens über einen Abschnitt seiner Länge in der ersten Wand 13.1 verläuft und der Leiter 12 mit dem der FG-Element 7.1 in Verbindung steht. In dem Leiter 12 geführte oder fuhrbare magnetische Flüsse, symbolisiert durch die Magnetfeldlinien MFL, wechselwirken mit dem FG-Element 7.1 und verursachen die Kraftwirkung F.

Der Leiter 12 ist beispielsweise ein Teil eines Kerns der Spule 16.1 und besteht aus einem Material mit guter magnetischer Leitfähigkeit. Der Leiter 12 ist beispielsweise durch einen Eisenkern oder einen Kern aus Eisenblechen gebildet.

In weiteren Ausführungen der zu Fig. 8 gezeigten Anordnung 2 und Vorrichtung 3 steht das zu bewegendende Element 6 mit mehreren FG-Elementen 7.1 bis 7.n in Verbindung. Diese können eine Justage zusätzlich oder alternativ in Richtung der optischen Achse 4 ermöglichen. Ferner kann ein Klemmelement 8 und ein zugehöriges FG-Element 7K vorgesehen sein.

Ein weiteres mögliches Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Stellantriebs 1 und der erfindungsgemäßen Vorrichtung 3 ist in Fig. 9 dargestellt. Das erste und das zweite FG-Element 7.1, 7.2 sind zur lateralen Verschiebung und Justage des zu bewegendenden Elements 6 ausgebildet. Das als Klemmelement 8 ausgebildete FG-Element 7K kann in alternativen Ausführungen durch ein Federelement 21 ersetzt sein. In weiteren Ausführungen ist ein FG-Element 7K und ein Federelement 21 vorhanden. Beispielsweise wirkt ein Federelement 21 als Klemmelement 8 quer zum ersten FG-Element 7.1 und ein FG-Element 7K wirkt quer zum zweiten FG-Element 7.1. Kräfte, insbesondere Klemmkraften, an deren Entstehung wenigstens ein Federelement 21 beteiligt ist oder, je nach Ausführungsalternative, beteiligt sein kann, werden nachfolgend auch mit Fcoil bezeichnet. Der Träger 5 umfängt jeweils eines der FG-Elemente 7.1 beziehungsweise 7.2 und je eines der Bauteile FG-Element 7K und/oder Federelement 21.

Vorteile einer solchen Ausführung liegen in der möglichen Reduzierung der Anzahl aktiver FG-Elemente. Mittels des Federelements 21 beziehungsweise der Federelemente 21 werden Federkräfte Fcoil auf das zu bewegendende Element 6 gerichtet, die groß genug sind, um in Zusammenwirken mit auftretenden Reibungskraften eine Dejustierung des zu bewegendenden

Elements 6 zu verhindern. Die FG-Elemente 7.1, 7.2 sind so ausgelegt, dass diese eine Kraftwirkung F entfalten können, mit der die Federkräfte F_{coil} überwunden werden können und eine präzise und steuerbare Verstellung des zu bewegenden Elements 6 ermöglicht ist.

Wird das Klemmelement 8 durch FG-Elemente 7K realisiert, können die erzeugten oder erzeugbaren Kraftwirkungen F_{coil} auch größer als die erzeugbare Kraftwirkungen F des ersten und des zweiten FG-Elements 7.1, 7.2 sein.

Eine weitere Ausführung einer Vorrichtung 3 in Form eines Optiksystems, beispielsweise eines Fülltrichters, ist dadurch realisiert und in der Fig. 10 gezeigt, dass vier Stellantriebe 1 der zu Fig. 9 beschriebenen Ausführungsbeispiel entlang der optischen Achse 4 in einem Gehäuse 18 übereinander aufgestapelt sind. Zwischen den optischen Linsen 20 ist jeweils ein Freiraum 15 vorhanden. Die derart gestapelt angeordneten Stellantriebe 1 sind quer zur optischen Achse 4 verschiebbar und justierbar. In weiteren Ausführungen der Vorrichtung 3 können andere Anzahlen von Stellantrieben 1, beispielsweise zwei, drei oder fünf, vorhanden sein.

In weiteren Ausführungen der Vorrichtung 3 sind die vorhandenen Stellantriebe 1 in voneinander verschiedenen Richtungen X, Y und/oder Z verstellbar.

Es ist ferner möglich, dass erfindungsgemäße Stellantriebe 1 mit ortsfest verbauten Bauteilen, beispielsweise optischen Linsen, Blenden und/oder Filtern, kombiniert sind.

In einer in der Fig. 11 dargestellten Abwandlung der Vorrichtung 3 sind vier Stellantriebe 1 des zu Fig. 9 beschriebenen Ausführungsbeispiels entlang der optischen Achse 4 übereinander aufgestapelt. Jeder der Träger 5 weist quer zur optischen Achse 4 und von dieser abgewandt einen verlängerten Wandbereich 5.1 auf (active alignment Stapelfassung). Die verlängerten Wandbereiche 5.1 benachbarter angeordneter Stellantriebe 1 liegen aneinander an und sind mittels je eines schematisch dargestellten Befestigungsmittels miteinander, vorteilhaft lösbar, verbunden. Die derart realisierte Vorrichtung stellt ein Optiksystem aus mehreren active alignment Stapelfassungen dar.

In der Fig. 12 ist eine weitere mögliche Ausführung eines Stellantriebs 1 und einer Vorrichtung 3 dargestellt, wobei das erste und zweite FG-Element 7.1, 7.2 sich einander gegenüberliegend an dem zu bewegenden Element 6 angeordnet sind. Die Wirkrichtung, also die Richtung, in der die Kraftwirkung F der ersten und zweiten FG-Elemente 7.1, 7.2 auftritt, verläuft parallel zur optischen Achse 4. Quer zur optischen Achse 4 ist das FG-Element 7K angeordnet, dessen Klemmwirkung, die zugehörige Klemmkraft ist mit F_{coil} bezeichnet, orthogonal zur optischen Achse 4 gerichtet ist. Das zu bewegende Element 6 wird infolge einer bewirkten und hinreichend großen Klemmkraft F_{coil} gegen den Teil des Trägers 5 gedrückt, der den FG-Elementen 7.1, 7.2 und 7K gegenüber liegt.

Eine Verwendung eines zu Fig. 12 beschriebenen Stellantriebs 1 ist in der Fig. 13 in Form einer Anordnung 2 umfassenden Vorrichtung 3 gezeigt, die als ein Optiksystem, beispielsweise ein Objektiv 19, ausgebildet ist. Auf einer als eine gemeinsame Basis fungierenden Wand 13 beispielsweise eines Gehäuses 18 sind alternierend je ein zu Fig. 9 beschriebener und ein zu Fig. 12 beschriebener Stellantrieb 1 entlang der optischen Achse 4 angeordnet. Die optischen Linsen 20 der einzelnen Stellantriebe 1 sind je nach Ausführung des Stellantriebs 1 quer beziehungsweise in Richtung der optischen Achse 4 justierbar.

Das Ausführungsbeispiel der Vorrichtung 3 und des Stellantriebs 1 gemäß der Fig. 14 entspricht in seinem grundsätzlichen Aufbau der zu Fig. 9 beschriebenen Ausführungsmöglichkeit, wobei die

Klemmelemente 8 durch Federelemente 21 gebildet sind. Die FG-Elemente 7.1 und 7.2 bestehen aus magnetisch steuerbaren Formgedächtnismaterial (MSM-FG-Elemente). Das Gehäuse 18 radial umfangend sind eine erste Spule 16.1 und eine zweite Spule 16.2 zur Erzeugung eines Magnetfelds angeordnet. Die Orientierungen der Spulen 16.1, 16.2 und ein elektrischer Stromfluss durch diese sind derart gewählt, dass die Magnetfeldlinien MFL quer zur auftretenden gerichteten Kraftwirkung F der FG-Elemente 7.1 bis 7.4 verlaufen.

Durch die Wirkung des Magnetfelds, insbesondere durch dessen Stärke und Richtung, werden die FG-Elemente 7.1 bis 7.4 berührungslos angesteuert. Die Ansteuerung erfolgt dabei durch das Gehäuse 18 hindurch, so dass keine Öffnungen in einer Wand 13 des Gehäuses 18 erforderlich sind.

In Fig. 15a und 15b ist schematisch ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung 3 zur 5-dimensionalen Justage dargestellt. In der Draufsicht der Fig. 15a sind neben lateral, also quer zur optischen Achse 4 wirkenden FG-Elementen 7.1 bis 7.3 drei weitere FG-Elemente 7.4 bis 7.6 vorhanden, die parallel zur optischen Achse 4 wirken.

Wie aus der schematischen Seitenansicht der Fig. 15b zu entnehmen ist, erzeugen die lateral wirkenden FG-Elemente 7.1 bis 7.3 –infolge der Schnittdarstellung ist nur das FG-Element 7.1 zu sehen – eine Kraftwirkung F orthogonal zur optischen Achse 4. Mittels der weiteren FG-Elemente 7.4 bis 7.6 ist das zu bewegende Element 6 mit der optischen Linse 20 entlang der optischen Achse 4 verschiebbar und kann zusätzlich um einen Kippwinkel ϕ_X um die X-Achse X und/oder um einen Kippwinkel ϕ_Y um die Y-Achse Y gekippt werden.

Die Fig. 16 illustriert ein Positioniersystem, bei dem das zu bewegende Element 6 an seiner dem Träger 5 zugewandten Seite Magnete 22 aufweist. Der Träger 5 besteht aus einem magnetischen Material, sodass das zu bewegende Element 6 und der Träger 5 durch eine Magnetkraft F_{mag} zwischen den Magneten 22 und dem Träger 5 miteinander verbunden sind. Das zu bewegende Element 6 und der Träger 5 berühren sich entlang einer Auflagefläche 23, während die Magnete 22 nicht in unmittelbaren Kontakt mit dem Träger 5 gelangen. Die aktuelle Position des zu bewegenden Elements 6 kann mittels Sensoren 11 erfasst werden, deren Messwerte von der Auswerteeinheit 9 ausgewertet und an die Steuereinheit 10 übermittelt werden. Die Steuereinheit 10 erzeugt und erteilt in Abhängigkeit der von der Auswerteeinheit 9 bereitgestellten Daten Steuerbefehle, die zur Ansteuerung der FG-Elemente 7 dienen. Die FG-Elemente 7, 7.1, 7.2 können zwischen dem Träger 5 und dem zu bewegenden Element 6 angeordnet sein.

In weiteren Ausführungen können die FG-Elemente 7 auch als Drähte oder Streifen ausgebildet sein und aus einer radialen Richtung, also im Wesentlichen quer zur optischen Achse 4, auf das zu bewegende Element 6 einwirken (Fig. 17). Die als Streifen ausgebildeten FG-Elemente 7.1, 7.2 sind dabei an dem Träger 5 angelenkt und mittels der Steuereinheit 10 ansteuerbar. Die FG-Elemente 7.1, 7.2 wirken über je einen Vorsprung 6.1 des zu bewegenden Elements 6 auf dieses ein. Je nach Änderung der Länge der jeweiligen FG-Elemente 7.1, 7.2 wird das zu bewegende Element 6 und die optische Linse 20 im Wesentlichen in einer Ebene orthogonal zur optischen Achse 4 verschoben (durch Doppelpfeil symbolisiert).

In weiteren Ausführungen der Vorrichtung können weitere FG-Elemente 7 vorhanden sein, mittels denen eine Stellbewegung des zu bewegenden Elements 6 in einer X-Y-Ebene ermöglicht ist. Eine Möglichkeit besteht darin, dass entlang der optischen Achse 4 eine weitere Anordnung wie die in Fig. 17 gezeigte vorhanden ist, die jedoch gegenüber der ersten Anordnung um einen Winkel,

beispielsweise um 90° , gedreht angeordnet ist. Auf diese Weise können das zu bewegendes Element 6 und die optische Linse 20 durch eine der Anordnungen im Wesentlichen entlang der X-Achse X und durch die andere Anordnung im Wesentlichen entlang der Y-Achse Y verstellt werden. Das Zusammenwirken mindestens zweier solcher gegeneinander gedrehter Anordnungen ermöglicht eine freie Positionierbarkeit des zu bewegendes Elements 6 in der X-Y-Ebene im Rahmen der jeweils realisierbaren Stellwege.

Es ist auch möglich, dass in einer Ebene drei, vier oder mehr FG-Elemente 7 angeordnet sind, durch deren Zusammenwirken das zu bewegendes Element 6 in der X-Y-Ebene verstellbar ist.

Ferner ist es möglich, dass FG-Elemente 7 in Anordnungen in unterschiedlichen Ebenen entlang der optischen Achse 4 (in Richtung der Z-Achse Z) angeordnet sind.

Eine Positionierung erfolgt wie oben beschrieben mittels Sensoren 11 (nicht gezeigt), Auswerteeinheit 9 und Steuereinheit 10.

Die Fig. 18 zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel der Erfindung, das als ein Positioniersystem ausgebildet ist. An dem Träger 5 sind als Sensoren 11 Induktionsspulen unter einem Winkel von je 120° zueinander angeordnet. Das Material des zu bewegendes Elements 6 besteht wenigstens zu einem Anteil aus elektrisch leitfähigem Material, sodass mittels der Sensoren 11 eine aktuelle Position (Ist-Position) des zu bewegendes Elements 6 ermittelbar ist. Diese aktuelle Position kann durch die jeweiligen Abstände D zwischen einem jedem Sensor 11 und dem zu bewegendes Element 6 beschrieben werden. Die Abstände D sind symbolisch durch Doppelpfeile veranschaulicht.

Verändert sich wenigstens einer der Abstände D, verändern sich auch die Induktivitäten und/oder die erfassten Impedanzen an den jeweiligen Sensoren 11. Diese Veränderungen werden an einen Induktion-Digital-Wandler 24 übermittelt und gewandelt, bevor die gewandelten Daten an die Auswerteeinheit 9 übertragen werden. Mittels der Steuereinheit 10 ist eine Ansteuerung der FG-Elemente 7, 7.1, 7.2, 7.3 in Abhängigkeit der von der Auswerteeinheit übermittelten Daten möglich. Eine festgestellte Abweichung der aktuellen Position des zu bewegendes Elements 6 von einer gewünschten Position (Soll-Position) kann durch eine entsprechende Ansteuerung der FG-Elemente 7, 7.1, 7.2, 7.3 kompensiert werden.

Bezugszeichen

- 1 Stellantrieb
- 2 optische Anordnung
- 3 Vorrichtung
- 4 optische Achse
- 5 Träger
- 5.1 verlängerter Wandbereich (des Trägers 5)
- 6 zu bewegendes Element
- 6.1 Vorsprung
- 7 FG-Element
- 7.1 erstes FG-Element
- 7.2 zweites FG-Element
- 7.3 drittes FG-Element
- 7.4 viertes FG-Element
- 7K FG-Element (des Klemmelements 8)
- 8 Klemmelement
- 9 Auswerteeinheit
- 10 Steuereinheit
- 11 Messschaltung / Sensor
- 12 Leiter
- 13 Wand
- 13.1 Wand
- 13.2 Wand
- 14 Anschlag
- 15 Freiraum
- 16.1 erste Spule
- 16.2 zweite Spule
- 17 Fassung

18	Gehäuse / Tubus
19	Objektiv
20	optische Linse
21	Federelement
22	Magnet
23	Auflagefläche
24	Induktion-Digital-Konverter
MFL	Magnetfeldlinien
D	Abstand
F	Kraftwirkung
Fcoil	Kraftwirkung (des Federelements 21)
Fmag	Magnetkraft
X	X-Achse
Y	Y-Achse
Z	Z-Achse
XY	X-Y-Ebene
XZ	X-Z-Ebene
YZ	Y-Z-Ebene
φ_X	Kippwinkel (um die X-Achse X)
φ_Y	Kippwinkel (um die Y-Achse Y)

Patentansprüche

1. Stellantrieb (1) zur Justage eines zu bewegenden Elements (6) entlang eines Verschiebewegs, umfassend das zu bewegende Element (6), einen Träger (5) und mindestens ein Formgedächtnis-Element (7, 7.1 bis 7.4), wobei das Formgedächtnis-Element (7, 7.1 bis 7.4) mit dem zu bewegenden Element (6) in Verbindung steht und sich an dem Träger (5) abstützend ausgebildet ist, so dass bei einer Änderung der Ausdehnung des Formgedächtnis-Elements (7, 7.1 bis 7.4) eine gerichtete Kraftwirkung (F) zwischen dem zu bewegenden Element (6) und dem Träger (5) erzeugt ist.
2. Stellantrieb (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein mittels eines FG-Elements (7K) angetriebenes oder antreibbares Klemmelement (8) vorhanden ist, dessen Kraftwirkung (F) auf das zu bewegende Element (6) gerichtet ist und durch dessen Kraftwirkung (F) das zu bewegende Element (6) gegen ein Widerlager geklemmt ist, so dass das geklemmte zu bewegende Element (6) an einer Klemmposition gehalten ist.
3. Stellantrieb (1) nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der FG-Elemente (7, 7K, 7.1 bis 7.4) aus einem magnetischen Formgedächtnismaterial besteht.
4. Stellantrieb (1) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Spule (16.1, 16.2) zur Erzeugung eines Magnetfelds derart angeordnet ist, dass die Magnetfeldlinien (MFL) des Magnetfelds quer zur auftretenden gerichteten Kraftwirkung (F) des mindestens einen FG-Element (7K, 7.1 bis 7.4) aus magnetischem Formgedächtnismaterial verlaufen.
5. Stellantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das zu bewegende Element (6) und/oder der Träger (5) mindestens ein Magnet (22) aufweist und das dem Magnet (22) gegenüberliegende zu bewegende Element (6) beziehungsweise der Träger (5) wenigstens teilweise aus einem magnetischen Material besteht oder sich gegenüberliegende Magnete (22) einander anziehen, sodass zwischen dem zu bewegenden Element (6) und dem Träger (5) eine Magnetkraft wirkt und das zu bewegende Element (6) und der Träger (5) einander anziehen.
6. Anordnung (2) umfassend einen Stellantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, aufweisend eine den Verschiebeweg wenigstens auf einer seiner Seiten begrenzenden Wand (13, 13.1) und einen Leiter (12) aus einem magnetisch leitfähigen Material, wobei der Leiter (12) wenigstens über einen Abschnitt seiner Länge in der Wand (13, 13.1) verläuft und der Leiter (12) mit mindestens einem der FG-Elemente (7K, 7.1 bis 7.4) derart in Verbindung steht, dass in dem Leiter (12) geführte Magnetfeldlinien (MFL) mit dem FG-Element (7K, 7.1 bis 7.4) wechselwirken.
7. Optische Vorrichtung (3) umfassend einen Stellantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder eine Anordnung (2) nach Anspruch 6.
8. Optische Vorrichtung (3) nach Anspruch 7 in Form eines Objektivs (19).
9. Vorrichtung (3) zur Justage eines zu bewegenden Elements (6) umfassend mindestens einen Stellantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 sowie eine Auswerteeinheit (9) zur Auswertung aktueller Ortskoordinaten und einer Steuereinheit (10) zur Generierung von Steuerbefehlen in Abhängigkeit der ausgewerteten aktuellen Ortskoordinaten.
10. Vorrichtung (3) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (9) und/oder die Steuereinheit (10) konfiguriert sind, um in Abhängigkeit von eingehenden Messwerten von

Betriebsparametern und/oder in Abhängigkeit von auswählbaren Betriebsarten der Vorrichtung (3) die Steuerbefehle anhand von Berechnungsvorschriften zu generieren.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (9) und/oder die Steuereinheit (10) über eine datentechnische Verbindung mit mindestens einem weiteren Bauteil in Verbindung steht und die Steuereinheit (10) konfiguriert ist, um die Steuerbefehle in Abhängigkeit von erhaltenen Daten des mindestens einen weiteren Bauteils zu generieren.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, aufweisend mindestens einen als Induktionssensor ausgebildeten Sensor (11) zwischen Träger (5) und zu bewegendem Element (6) sowie einen Induktion-Digital-Konverter (24) zur Digitalisierung von durch den mindestens einen Sensor (11) erfasster Messwerte.

13. Verwendung eines Stellantriebs (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder einer Anordnung (2) nach Anspruch 6 zur Zustellung von Komponenten eines Objektivs (19).

14. Verwendung eines Stellantriebs (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder einer Anordnung nach Anspruch 6 zur Justage einer Blende, eines reflektierenden Elements und/oder eines Sensors (11) in einem Strahlengang einer optischen Vorrichtung (3).

15. Verwendung eines Stellantriebs (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder einer Anordnung (2) nach Anspruch 6 zur Justage wenigstens zweier optischer Elemente relativ zueinander.

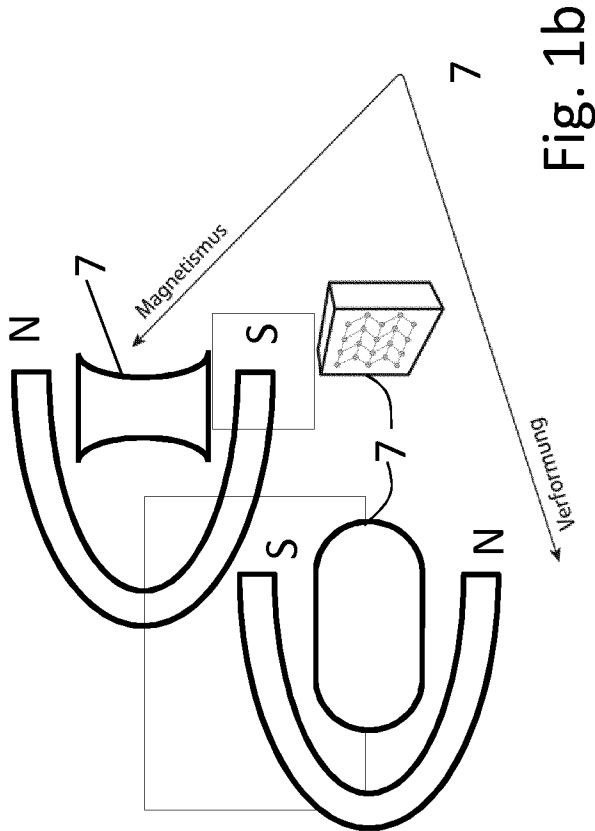


Fig. 1a

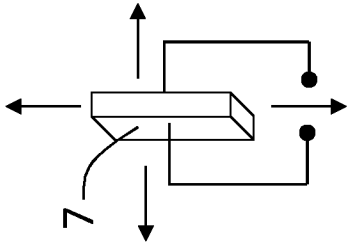


Fig. 1b

Fig. 1c

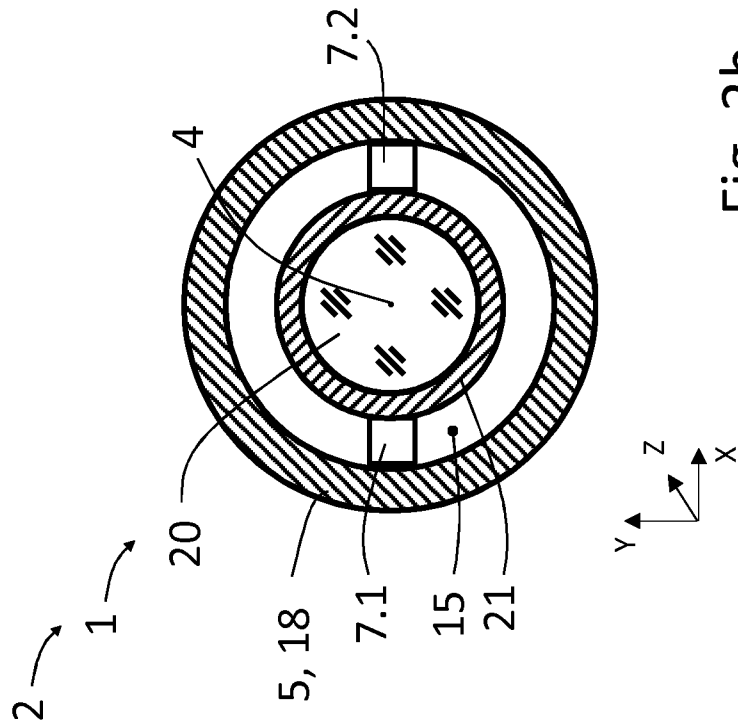


Fig. 2a

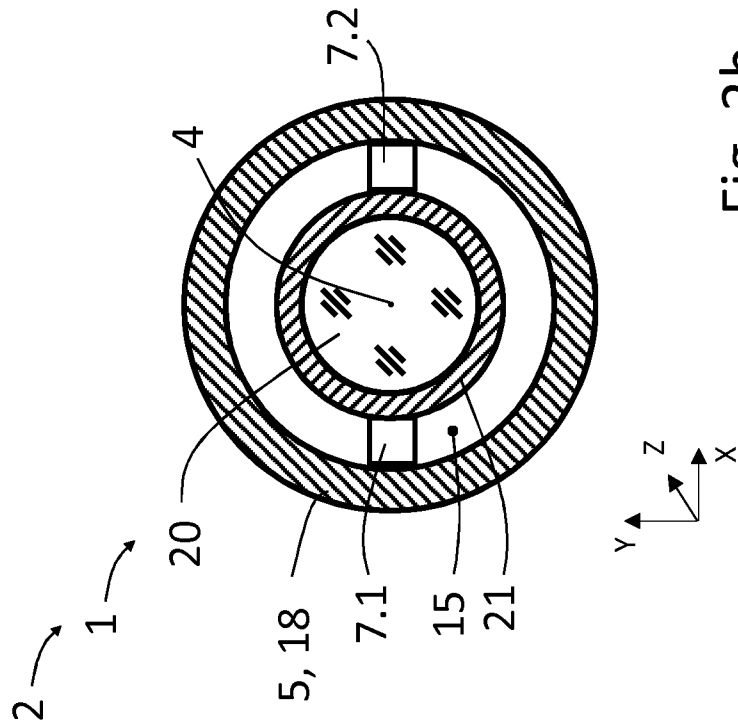


Fig. 2b

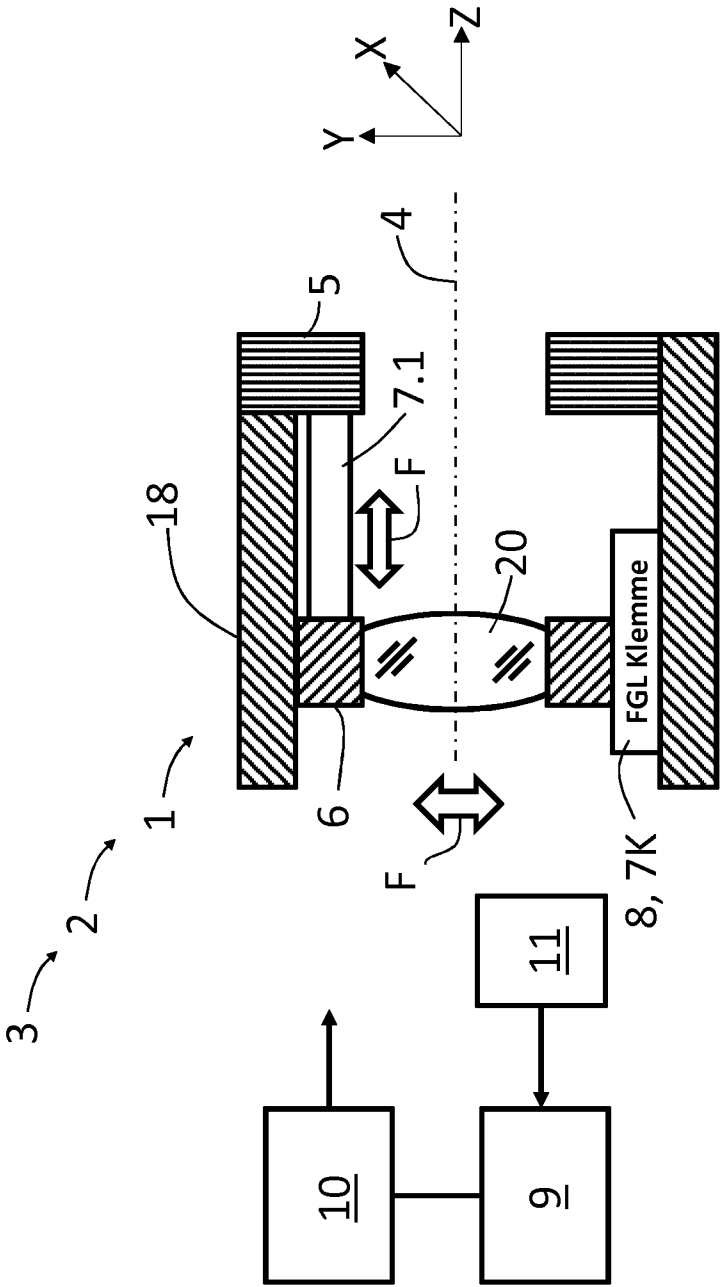


Fig. 3

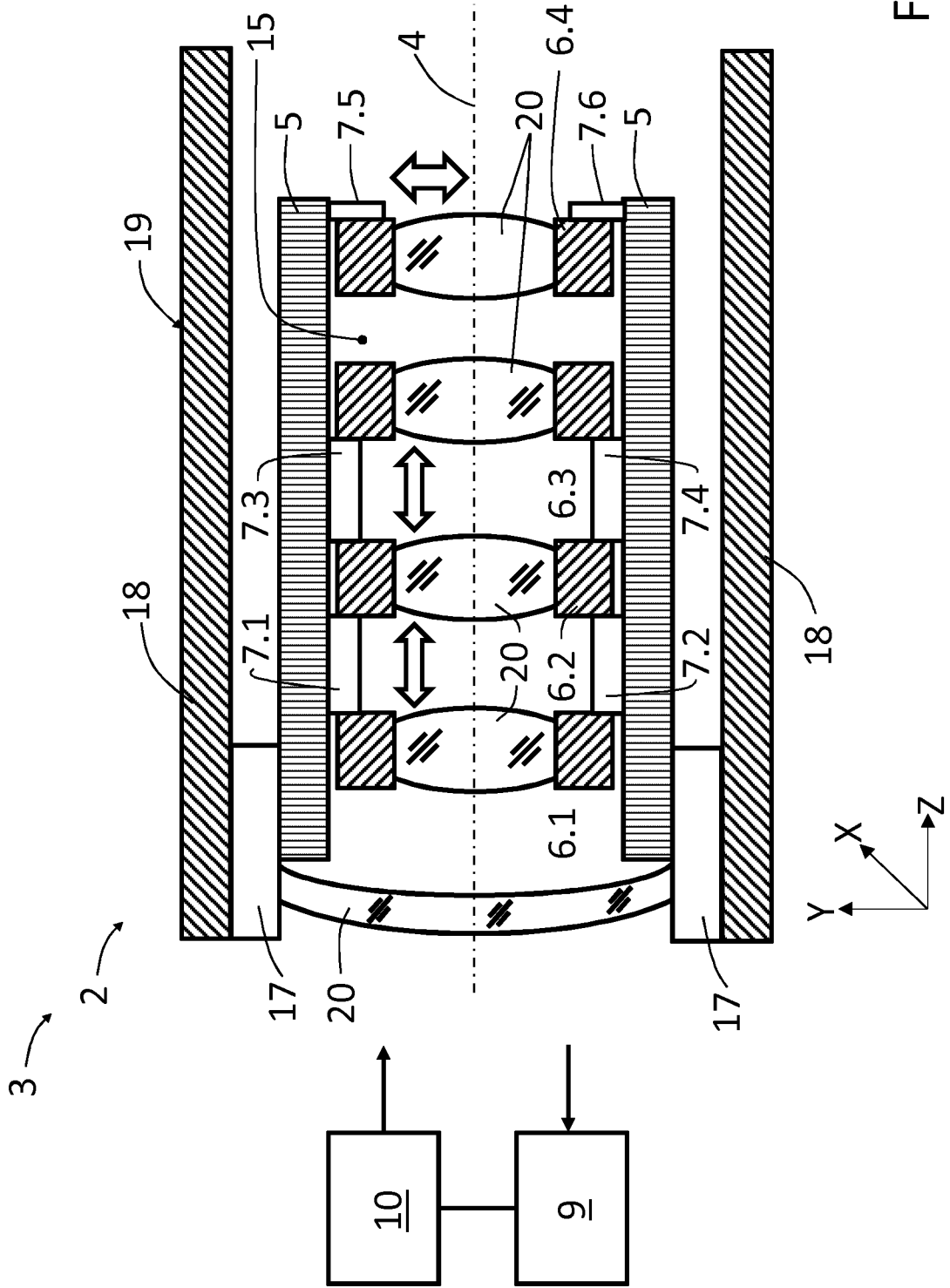
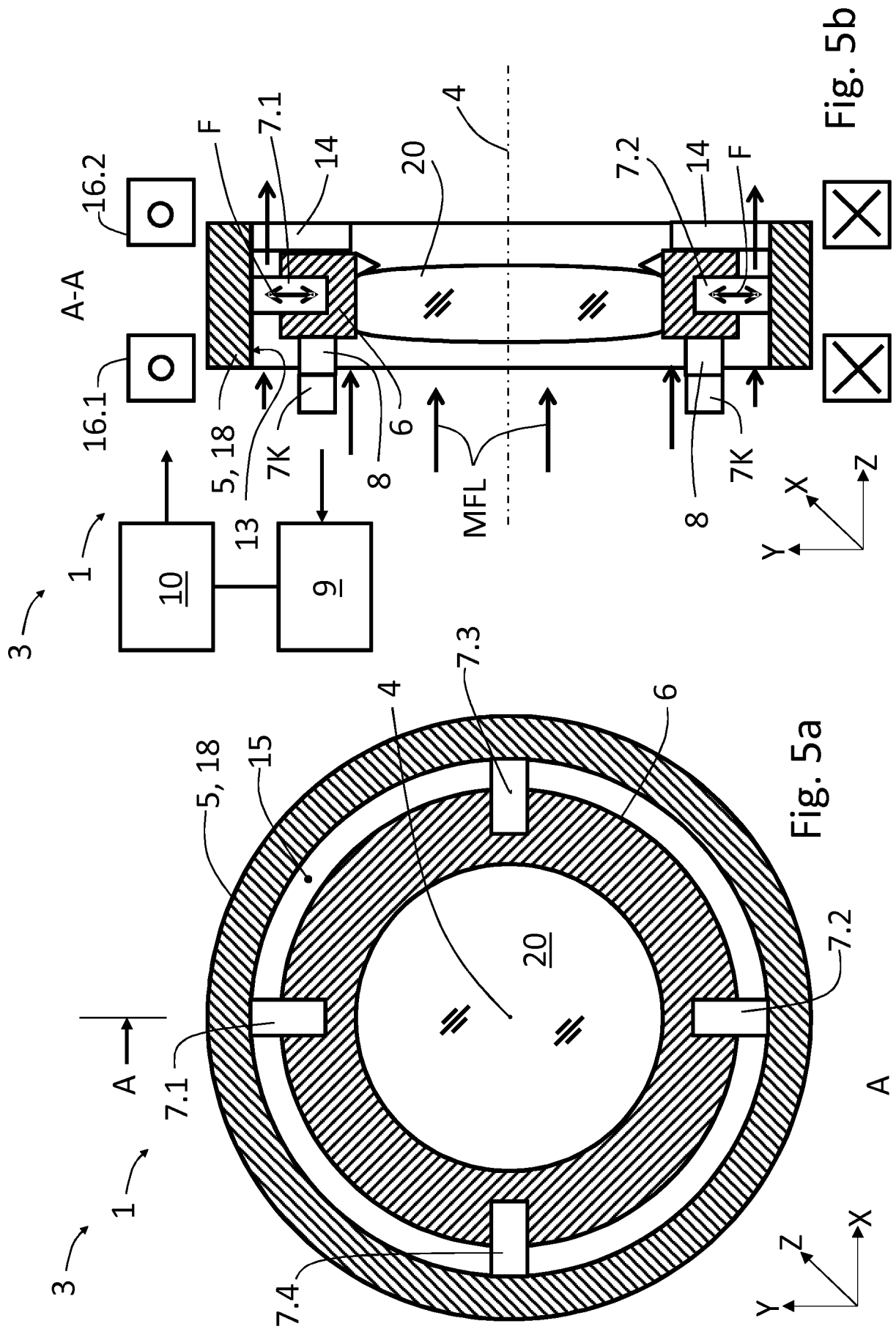
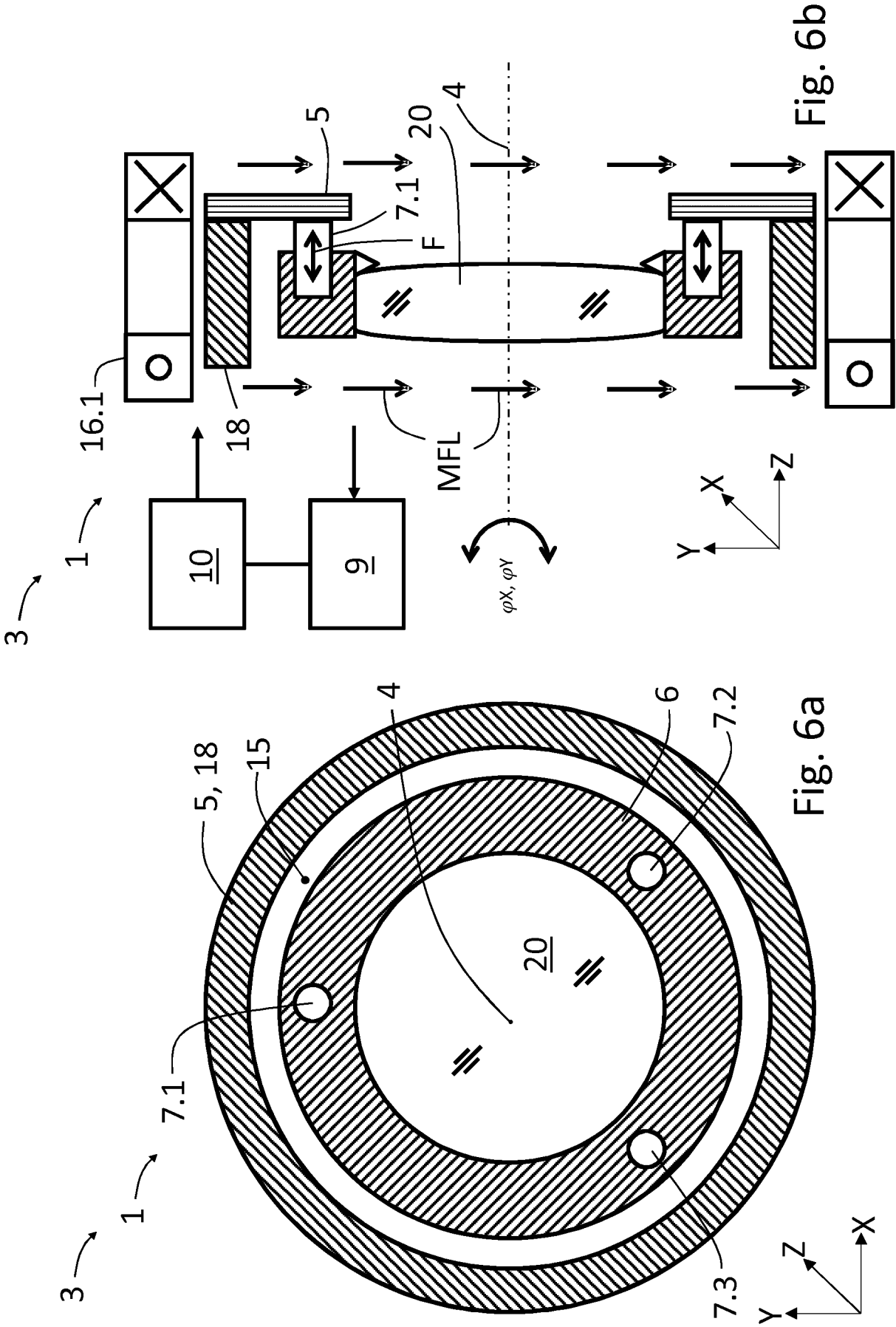
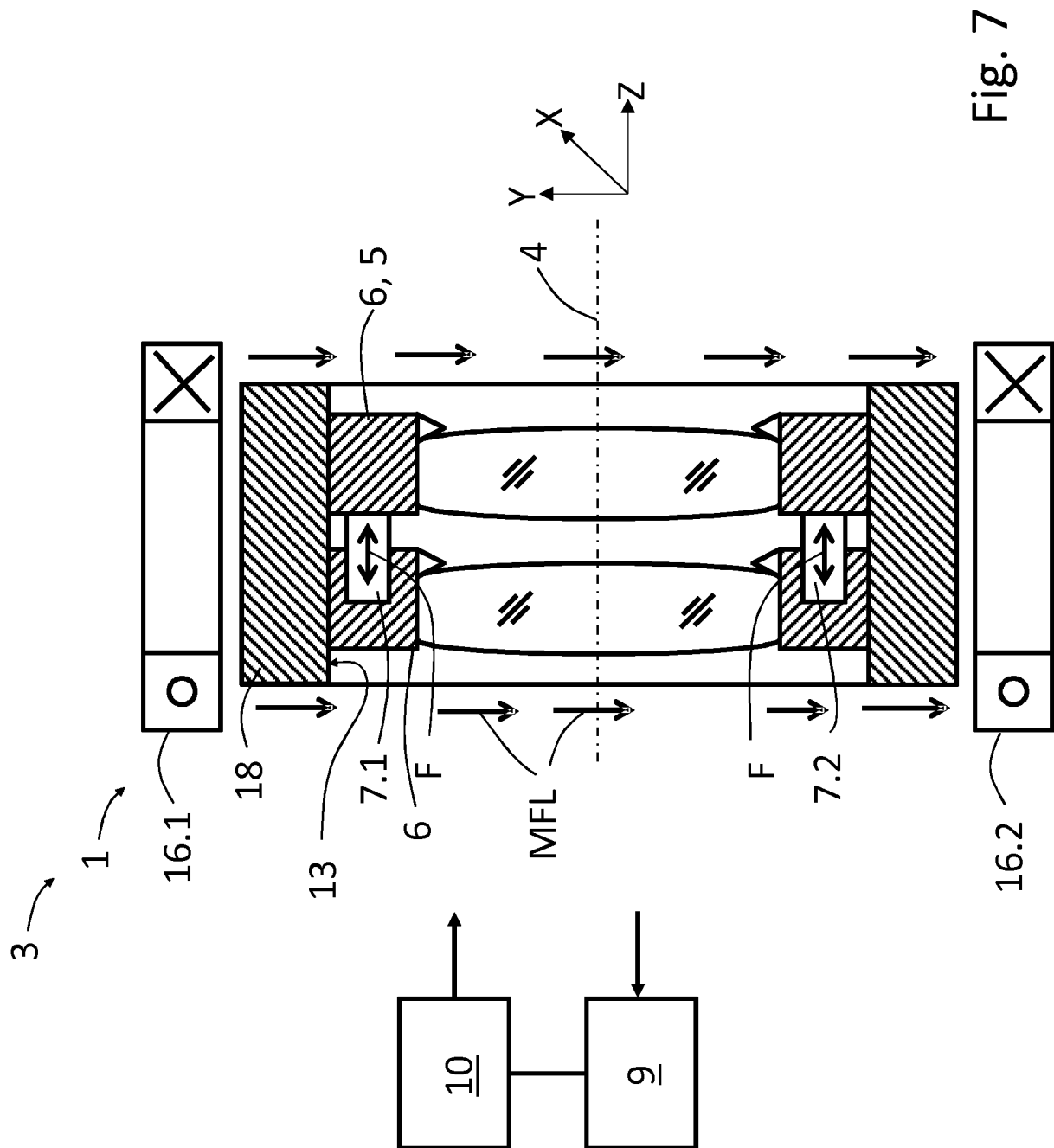


Fig. 4







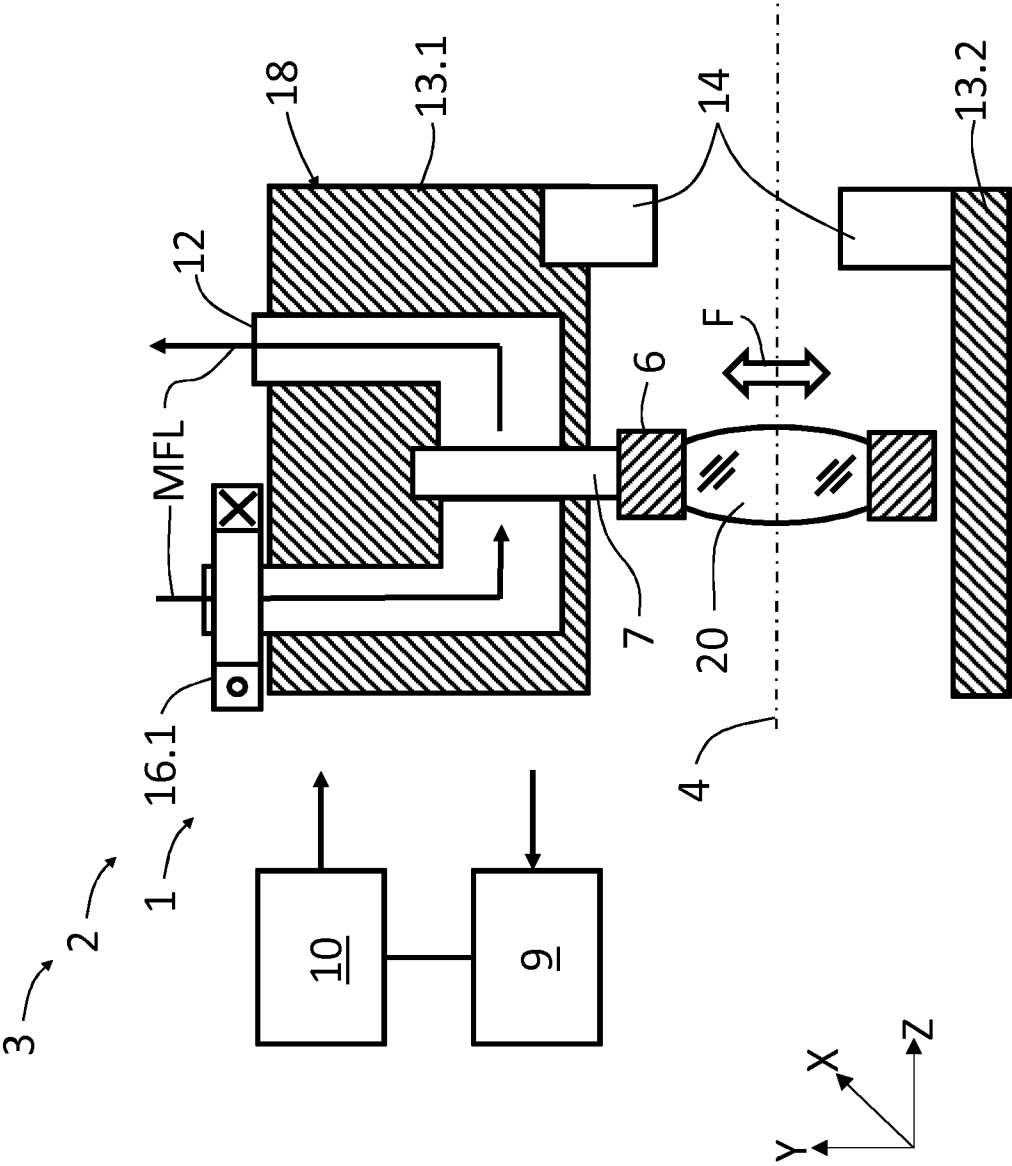


Fig. 8

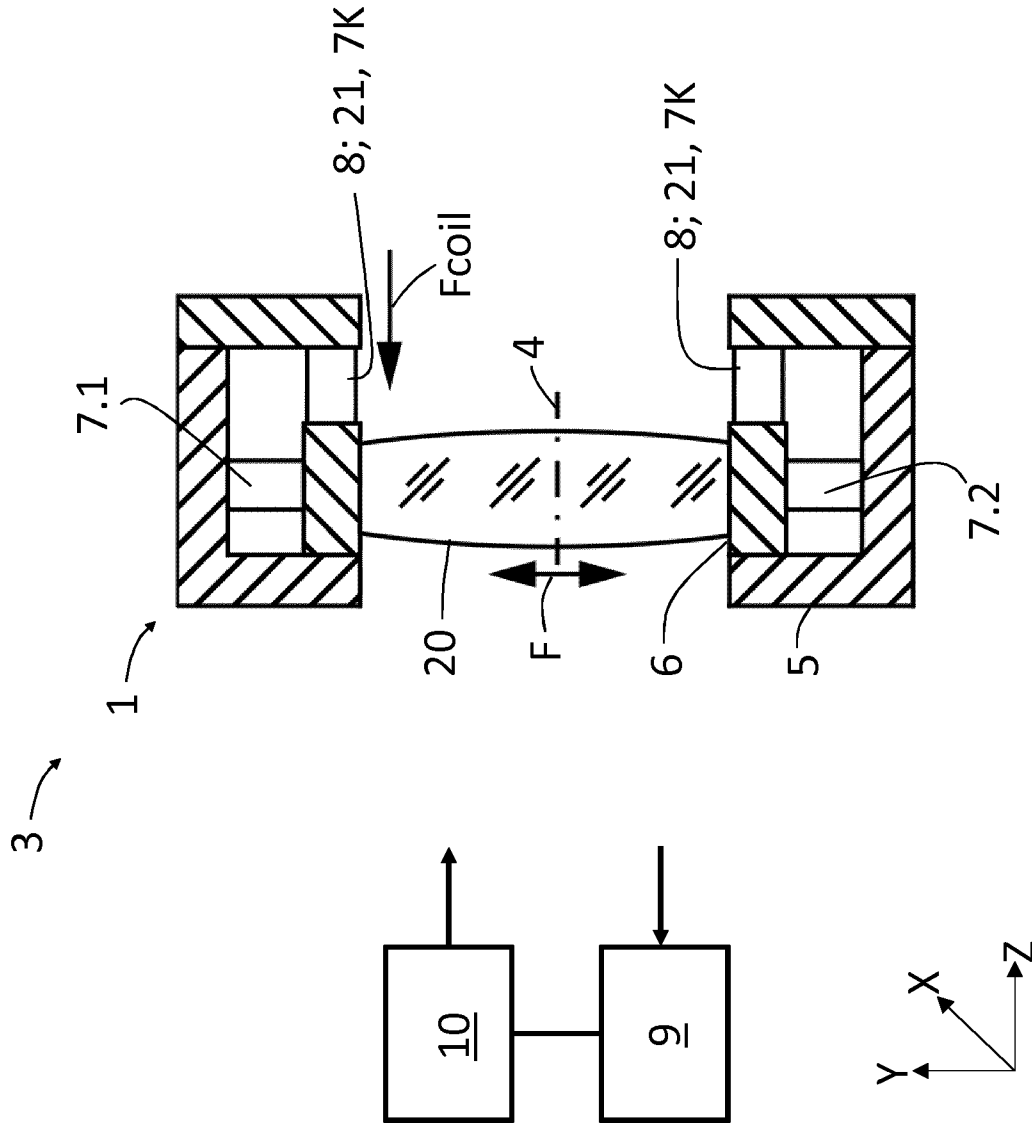


Fig. 9

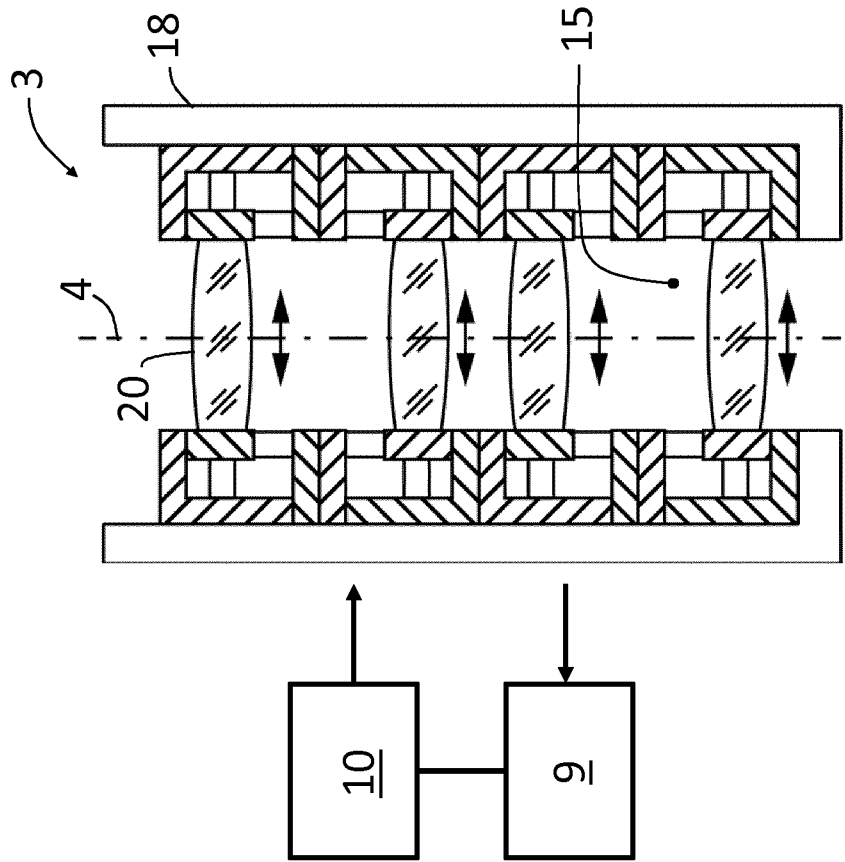


Fig. 10

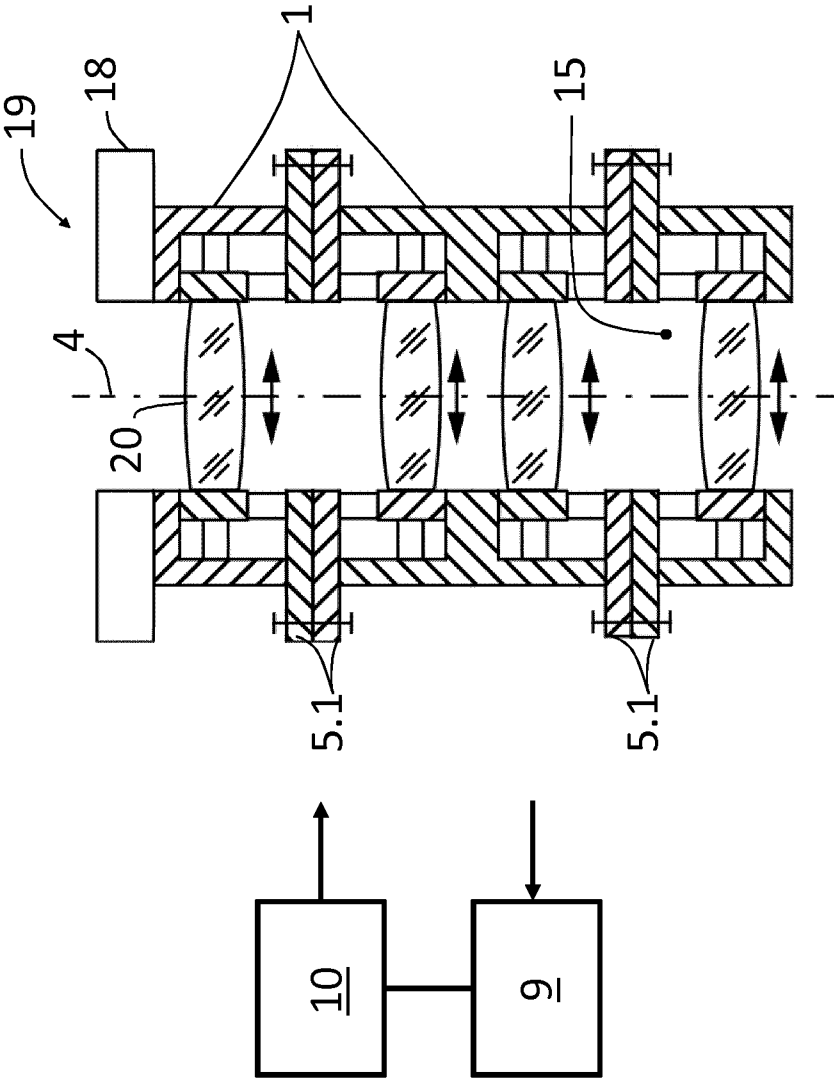


Fig. 11

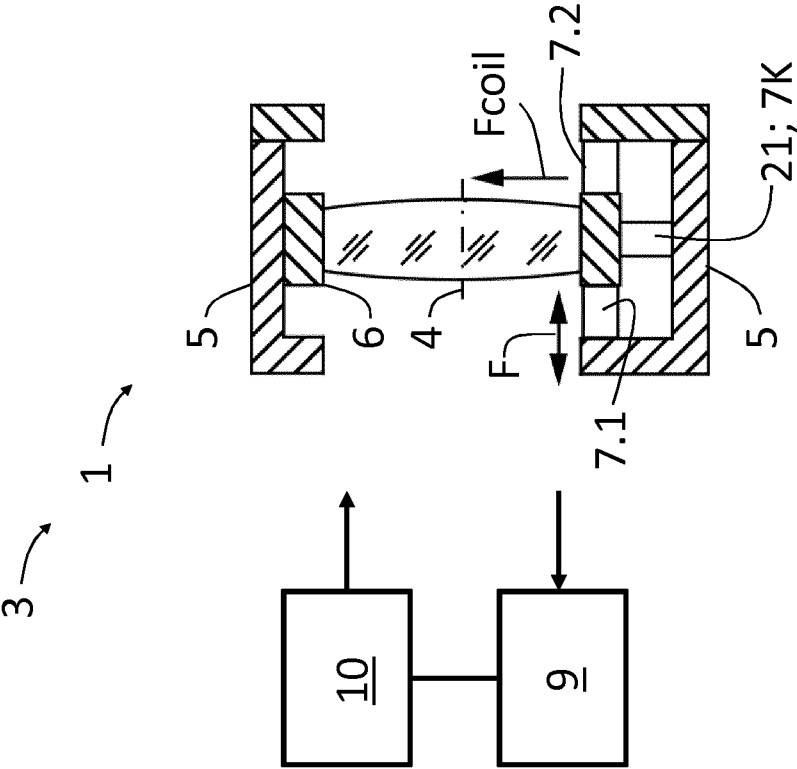
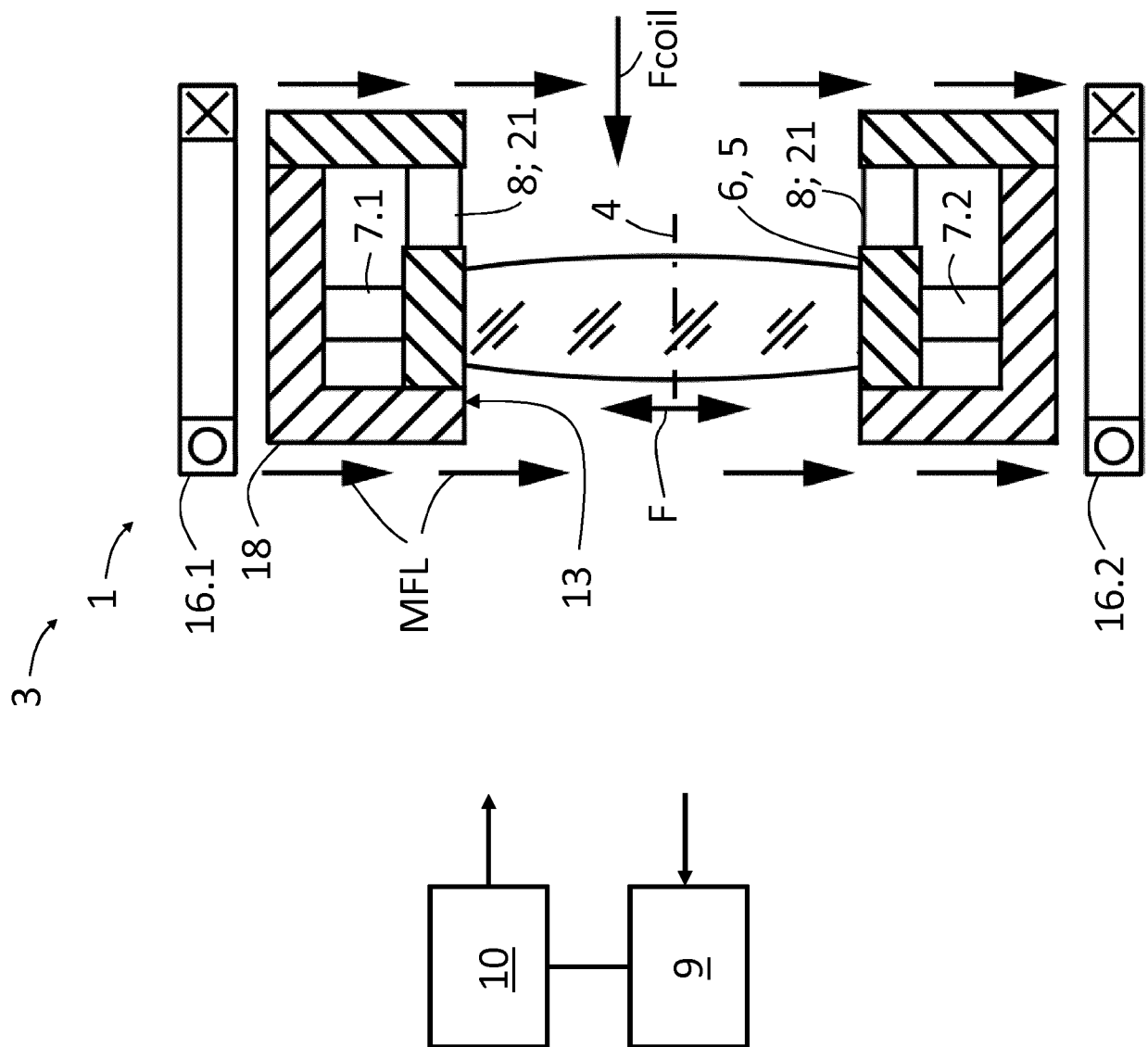
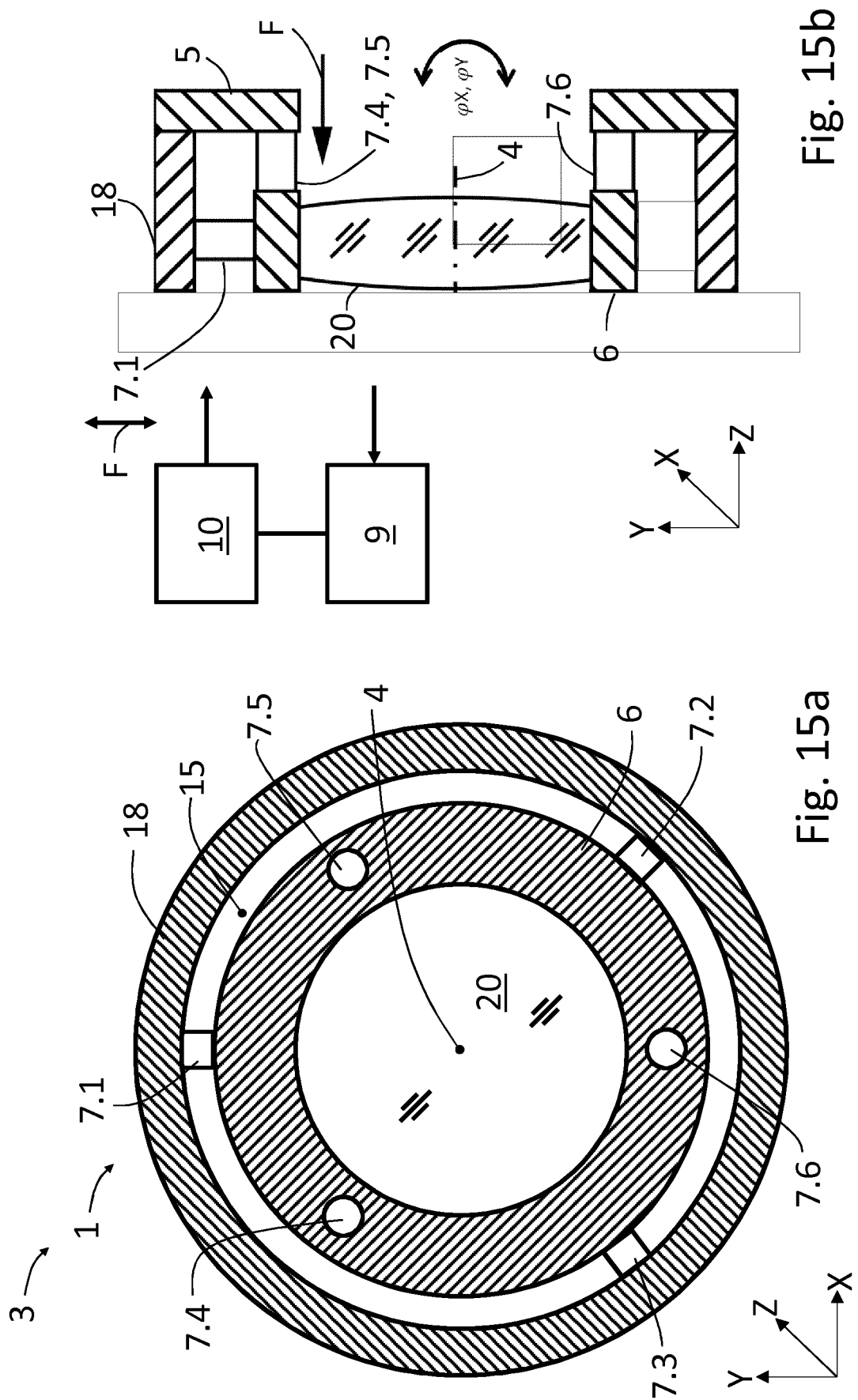


Fig. 12





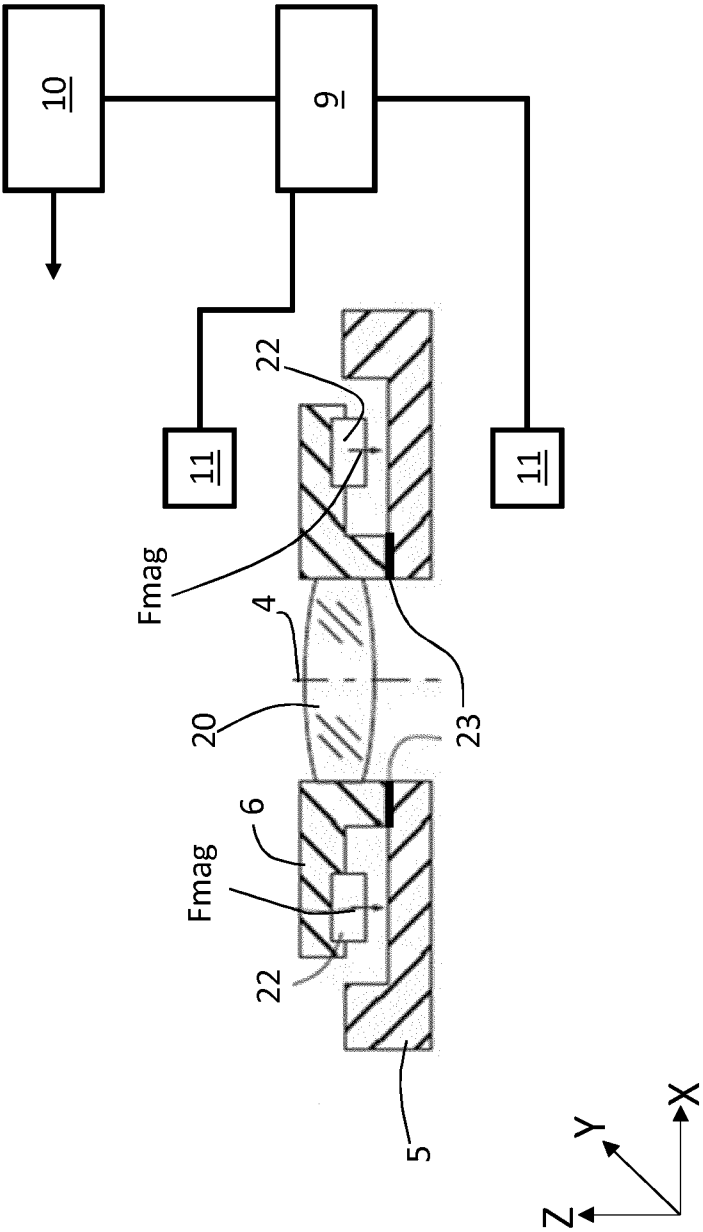


Fig. 16

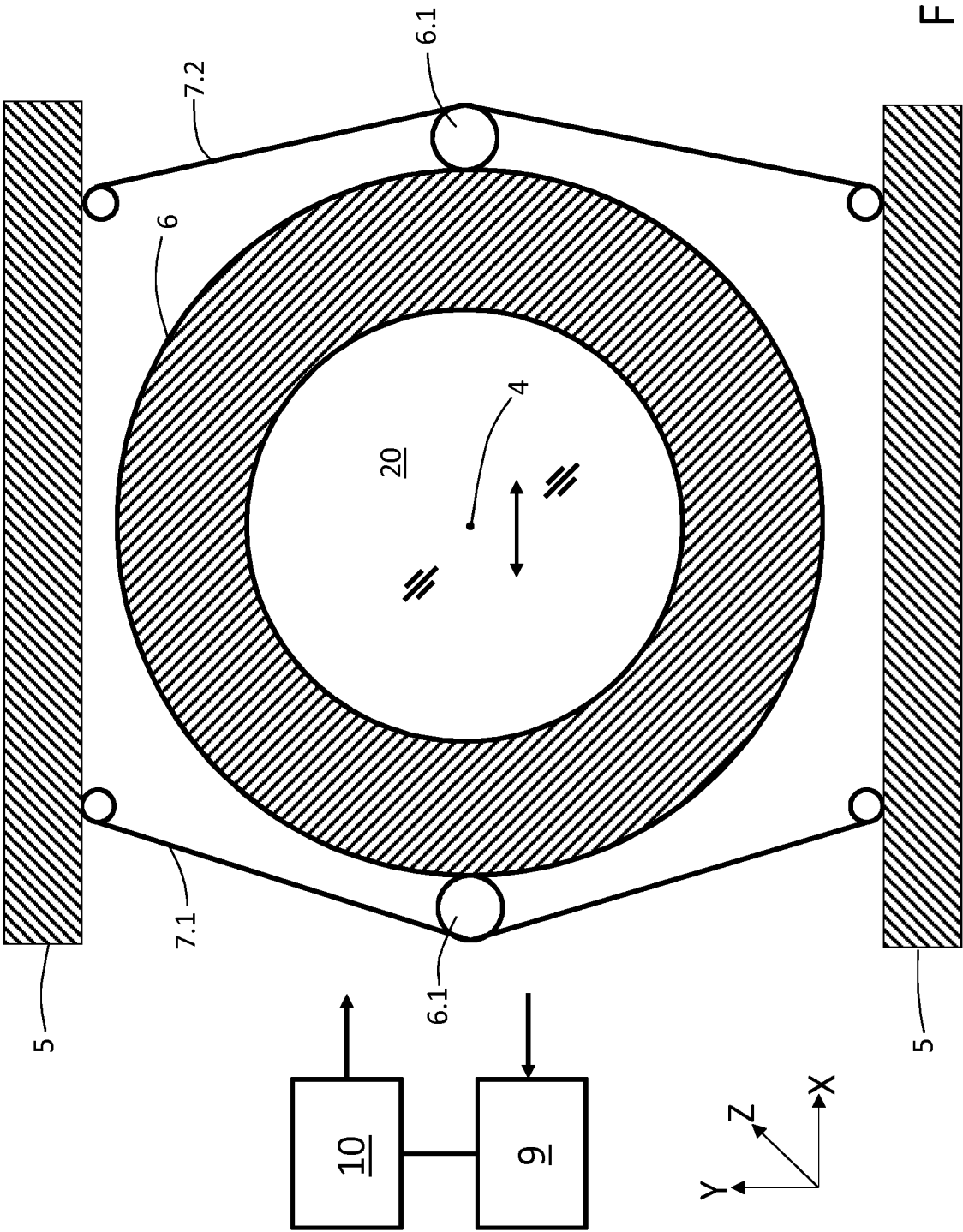


Fig. 17

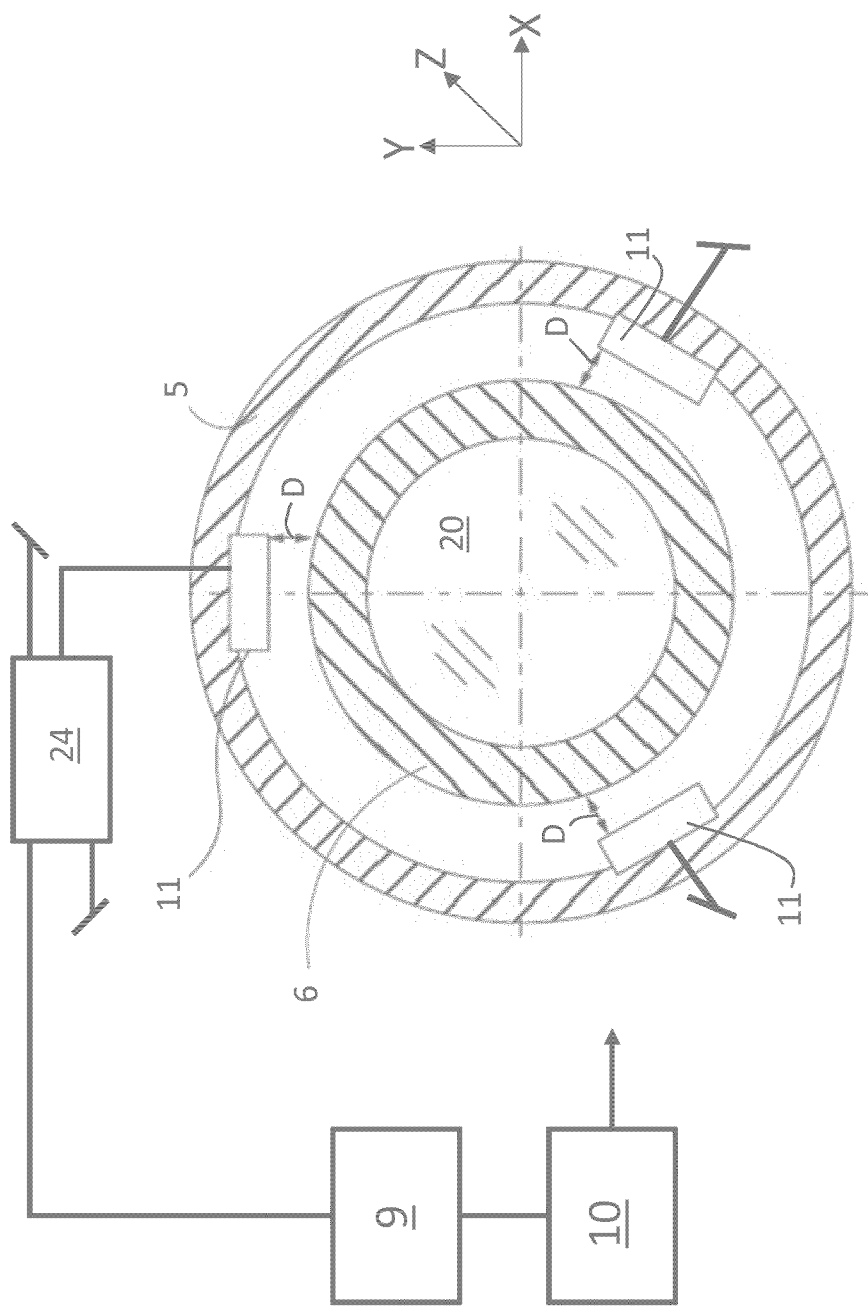


Fig. 18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/074460

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G02B7/00 F03G7/06 G02B7/02 G02B7/08 G03B3/12 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) G02B F03G G03B		
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	WO 2014/076463 A1 (CAMBRIDGE MECHATRONICS LTD [GB]) 22 May 2014 (2014-05-22) abstract; figures	1,5, 7-11, 13-15
X	WO 2016/048546 A1 (INTEL CORP [US]) 31 March 2016 (2016-03-31) the whole document	1-4,6-15
A	DE 10 2014 215159 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 25 September 2014 (2014-09-25) abstract; figures 1-4	2
A	EP 1 298 478 A1 (ZEISS CARL MICROELECTRONIC SYS [DE]) 2 April 2003 (2003-04-02) abstract; figures	2
	-/--	
☒ 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 11 January 2018		Date of mailing of the international search report 18/01/2018
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 Windecker, Robert

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/074460

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP H06 313833 A (TOSHIBA CORP) 8 November 1994 (1994-11-08) abstract; figures -----	1,2,7-15
X	JP 2006 091410 A (FUJINON CORP) 6 April 2006 (2006-04-06) abstract; figures -----	1,7,8
A	DE 10 2012 219591 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 30 April 2014 (2014-04-30) abstract -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/074460

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2014076463 A1	22-05-2014	CN 104982028 A EP 2920955 A1 JP 2016504517 A KR 20150102002 A US 2016209670 A1 WO 2014076463 A1	14-10-2015 23-09-2015 12-02-2016 04-09-2015 21-07-2016 22-05-2014
WO 2016048546 A1	31-03-2016	CN 106797426 A EP 3198851 A1 JP 2017530389 A KR 20170041225 A TW 201626055 A US 2016091729 A1 WO 2016048546 A1	31-05-2017 02-08-2017 12-10-2017 14-04-2017 16-07-2016 31-03-2016 31-03-2016
DE 102014215159 A1	25-09-2014	NONE	
EP 1298478 A1	02-04-2003	DE 10147753 A1 EP 1298478 A1	17-04-2003 02-04-2003
JP H06313833 A	08-11-1994	NONE	
JP 2006091410 A	06-04-2006	NONE	
DE 102012219591 A1	30-04-2014	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. G02B7/00	F03G7/06	G02B7/02 G02B7/08 G03B3/12
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
G02B F03G G03B		
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	WO 2014/076463 A1 (CAMBRIDGE MECHATRONICS LTD [GB]) 22. Mai 2014 (2014-05-22) Zusammenfassung; Abbildungen	1,5, 7-11, 13-15
X	WO 2016/048546 A1 (INTEL CORP [US]) 31. März 2016 (2016-03-31) das ganze Dokument	1-4,6-15
A	DE 10 2014 215159 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 25. September 2014 (2014-09-25) Zusammenfassung; Abbildungen 1-4	2
A	EP 1 298 478 A1 (ZEISS CARL MICROELECTRONIC SYS [DE]) 2. April 2003 (2003-04-02) Zusammenfassung; Abbildungen	2
	-/-	
☒ 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		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
11. Januar 2018		18/01/2018
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 Windecker, Robert

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP H06 313833 A (TOSHIBA CORP) 8. November 1994 (1994-11-08) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1,2,7-15
X	JP 2006 091410 A (FUJINON CORP) 6. April 2006 (2006-04-06) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1,7,8
A	DE 10 2012 219591 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 30. April 2014 (2014-04-30) Zusammenfassung -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/074460

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2014076463 A1	22-05-2014	CN 104982028 A	14-10-2015
		EP 2920955 A1	23-09-2015
		JP 2016504517 A	12-02-2016
		KR 20150102002 A	04-09-2015
		US 2016209670 A1	21-07-2016
		WO 2014076463 A1	22-05-2014
WO 2016048546 A1	31-03-2016	CN 106797426 A	31-05-2017
		EP 3198851 A1	02-08-2017
		JP 2017530389 A	12-10-2017
		KR 20170041225 A	14-04-2017
		TW 201626055 A	16-07-2016
		US 2016091729 A1	31-03-2016
		WO 2016048546 A1	31-03-2016
DE 102014215159 A1	25-09-2014	KEINE	
EP 1298478 A1	02-04-2003	DE 10147753 A1	17-04-2003
		EP 1298478 A1	02-04-2003
JP H06313833 A	08-11-1994	KEINE	
JP 2006091410 A	06-04-2006	KEINE	
DE 102012219591 A1	30-04-2014	KEINE	