

(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt



(10) **DE 10 2011 009 584 B4** 2013.02.28

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 009 584.5**

(22) Anmeldetag: **27.01.2011**

(43) Offenlegungstag: **02.08.2012**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **28.02.2013**

(51) Int Cl.: **G21K 1/06** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, 22607,
Hamburg, DE**

(74) Vertreter:
Uexküll & Stolberg, 22607, Hamburg, DE

(72) Erfinder:
**Hahn, Ulrich, 21614, Buxtehude, DE; Peters,
Hans Bernhard, 22869, Schenefeld, DE; Schulte-
Schrepping, Horst, 22869, Schenefeld, DE**

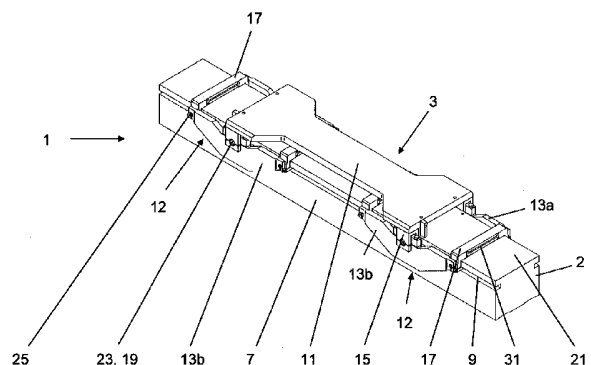
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US	6 295 334	B1
US	4 705 369	A
JP	2001 059 895	A

(54) Bezeichnung: **Spiegel für Synchrotronstrahlung**

(57) Hauptanspruch: Spiegel (1) für Synchrotronstrahlung mit einem Spiegelement (2) und einer das Spiegelement (2) tragenden Aufhängungsvorrichtung (3), wobei das Spiegelement (2) einen länglichen Körper mit einer sich entlang der Richtung der Längsachse des Spiegelements (2) und über zumindest einen Teil von dessen Länge erstreckenden Spiegelfläche (2a) hat und wobei die Aufhängungsvorrichtung (3)

- eine Basiskomponente (11) und
- zwei Halteeinrichtungen (12) aufweist, die voneinander beabstandet an der Basiskomponente angebracht sind, das Spiegelement (2) tragen und entlang der Längsachse des Spiegelements (2) in Bezug auf dieses symmetrisch und voneinander beabstandet angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass jede Halteeinrichtung (12)
- zwei laterale Elemente (13a, 13b), die auf gegenüberliegenden Seiten der Längsachse des Spiegelements (2) angeordnet und in der Weise an der Basiskomponente (11) montiert sind, dass sie in Bezug auf die Basiskomponente (11) und in Bezug aufeinander in beide Drehrichtungen um eine gemeinsame Schwenkachse (23) geschwenkt werden...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Spiegel für Synchrotronstrahlung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Spiegel werden im Zusammenhang mit Synchrotronstrahlung zur Strahlführung und Strahlfokussierung eingesetzt. Spiegelformen sind z. B., aber nicht ausschließlich, Planspiegel und Plan-Zylinderspiegel. Planspiegel haben ein längliches Spiegelement mit einer ebenen Oberfläche, die als Spiegelfläche verwendet wird. Plan-Zylinderspiegel weisen in einer länglichen, meist ebenfalls ebenen Oberfläche eines länglichen Spiegelements eine oder mehrere in Längsrichtung verlaufende rinnenförmige Vertiefungen auf, die jeweils die Form eines Abschnitts einer Zylindermantelfläche haben. Die entsprechende Spiegelfläche bzw. die entsprechenden Spiegelflächen dienen im Einsatz dazu, einen bzw. mehrere Synchrotronstrahlen zur Erreichung des gewünschten Zweckes in geeigneter Weise zu reflektieren. Um einen Strahl zusätzlich zu fokussieren, können die Plan- oder Planzylinderspiegelemente in Längsrichtung, d. h. um eine Querachse, in der Weise gekrümmt werden, dass die Spiegelfläche bzw. Spiegelflächen in ihrer Längserstreckungsrichtung einen konkaven oder konvexen Verlauf haben. Dazu werden spezielle Biegevorrichtungen eingesetzt, die die Spiegelemente üblicherweise mit Längskrümmungsradien von 2 bis 20 km beaufschlagen. Die Länge der Spiegelemente beträgt typischerweise 0,6 bis 1,5 m, vorzugsweise 1 m. Spiegelemente solcher Längen sind erforderlich, da sich der Strahl aufgrund der für Röntgenstrahlung erforderlichen sehr geringen Einfallswinkel ("Glanzwinkel") von weniger als 0,5 Grad auf der Spiegelfläche anwendungsgemäß über eine Länge von 700 bis 800 mm verteilt.

[0003] Aus dem Stand der Technik sind vertikal ablenkende Spiegel für Synchrotronstrahlung bekannt, deren längliche Spiegelemente mittels jeweils einer Linienauflage an den beiden Besselschen Punkten oder mehreren Lagerpunkten entlang einer entsprechenden Linie gelagert sind, wobei die Linien senkrecht zur Längsachse des Spiegelements verlaufen. Der Begriff der vertikalen Ablenkung bezieht sich dabei wie im weiteren Verlauf der Anmeldung auf die übliche Lagerung und Anordnung von Spiegelementen, bei denen die Spiegelfläche bzw. Spiegelflächen in Bezug auf die Normale zur Erdoberfläche auf der Oberseite oder Unterseite des Spiegelements angeordnet ist bzw. sind und die Ablenkung eines Synchrotronstrahls in einer zur Erdoberfläche senkrechten Ebene erfolgt, in der – bei der vorgesehenen und zweckmäßigen Einstrahlung unter Ausnutzung der Länge des Spiegelements – auch die Längsachse des Spiegelements verläuft. Bei in oben angegebener Weise gekrümmten länglichen Spiegelementen und Spiegelflächen verläuft auch die Biegelinie

des jeweiligen Spiegelements in dieser Ebene. Eine derartige Lagerung an den Besselschen Punkten bewirkt die geringste schwerkraftbedingte Deformation des Spiegelements, sofern man von genau zwei Auflagerlinien oder -punkten in Längsrichtung des Spiegelements ausgeht. Die Deformation an den Enden des Spiegelements entspricht dabei der Deformation in der Mitte des Spiegelements.

[0004] Wie bei jeder praktischen Lagerung eines länglichen Spiegelements verbleibt bei einer solchen Lagerung ein gewisses Maß an schwerkraftbedingter Deformation, die zu einer Abweichung von der gewünschten, idealen Biegelinie führt. Lange Zeit war jedoch diese schwerkraftbedingte Deformation geringer als die Ungenauigkeiten der Fertigung der Spiegelemente, so dass die Fertigungsgenauigkeit der Spiegelemente und ihrer Spiegelflächen die begrenzende Größe für die Endpräzision der Optik von Spiegeln für Synchrotronstrahlung war. Mittlerweile sind jedoch Spiegelemente mit einer so hohen Fertigungsgenauigkeit verfügbar, dass die schwerkraftbedingte Durchbiegung des Spiegelements zur begrenzenden Größe für die Endpräzision geworden ist. Die Durchbiegung eines typischen einen Meter langen Synchrotronstrahlungsspiegelements, das aus Quarz oder Siliziumkristall hergestellt und wie beschrieben in seinen Besselschen Punkten gelagert ist, kann beispielsweise eine schwerkraftbedingte Deformation mit einer maximalen Abweichung von $\pm 0,06 \mu\text{m}$ von der gewünschten Biegelinie erfahren. Die unerwünschte schwerkraftbedingte Durchbiegung des Spiegelements wird üblicherweise durch den sogenannten Tangentenfehler charakterisiert, d. h. die Winkelabweichung der Spiegelfläche bzw. Spiegelflächen von der gewünschten, idealen Form. Aus der Durchbiegung resultierende Präzisionseinbußen führen in nachteiliger Weise zu einer Vergrößerung der vertikalen Strahldivergenz und einer Verschlechterung der Quellabbildung.

[0005] Aus dem Stand der Technik sind ferner Strahlungsspiegel bekannt, die mittels Aktoren gelagert sind. Siehe dazu z. B. US 2010/0012863 A1. Durch gezielte Betätigung dieser Aktoren kann das Spiegelement in unterschiedliche Formen gebracht und gegenüber einem einfallenden Strahl ausgerichtet werden. Die auf diese Weise gezielt erzeugte Biegelinie kann die schwerkraftbedingte Biegelinie überlagern, sie kann die schwerkraftbedingte Biegelinie jedoch nicht auslöschen. Auf diese Weise wird lediglich eine neue Biegelinie erzeugt, die eine neue Ungenauigkeitsquelle im Hinblick auf die Strahlführung der Synchrotronstrahlung darstellt. Die schwerkraftbedingte Deformation des Spiegelements stellt auch bei dieser Spiegellagerungsvariante einen nicht abwendbaren Einflussfaktor dar. Zudem ist der Aufbau durch die Verwendung von Aktoren und die für sie erforderliche Steuerung relativ komplex, fehleranfällig und kostenintensiv.

[0006] Aus der JP 2001059895 A ist ein Spiegel für Synchrotronstrahlung mit einem Spiegelement und einer das Spiegelement tragenden Aufhängungsvorrichtung bekannt. Das Spiegelement weist einen länglichen Körper und eine sich in Längsrichtung des Spiegelements erstreckende Spiegelfläche. Die Aufhängungsvorrichtung umfasst eine Basiskomponente und zwei Halteeinrichtungen, die voneinander beabstandet und symmetrisch an dem Spiegelement und an der Basiskomponente angebracht sind und die jeweils zwei gegenüberliegende laterale Elemente und ein die lateralen Elemente verbindendes Traversenelement aufweisen.

[0007] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen einfach aufgebauten Spiegel für Synchrotronstrahlung bereitzustellen, bei dem die schwerkraftbedingte Deformation des Spiegelements gegenüber einer Lagerung an den Besselschen Punkten reduziert ist und möglichst keine zusätzlichen Ungenauigkeitsquellen eingeführt werden.

[0008] Diese Aufgabe wird durch einen Spiegel mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen des Spiegels sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0009] Es ist vorgesehen, dass ein Spiegel für Synchrotronstrahlung, der insbesondere zur vertikalen Ablenkung unter Glanzwinkeln von weniger als $0,5^\circ$ vorgesehen und angepasst ist, ein bevorzugt einstückig und bevorzugt aus Quarz oder Siliziumkristall ausgebildetes Spiegelement und eine das Spiegelement tragende Aufhängungsvorrichtung umfasst. Dabei ist es von Vorteil, wenn das Spiegelement ausschließlich durch die Aufhängungsvorrichtung abgestützt wird. Unter einer Aufhängungsvorrichtung werden im Rahmen der vorliegenden Anmeldung u. a. sowohl Anordnungen verstanden, unter denen das Spiegelement hängt, als auch Anordnungen, die – zumindest größtenteils – unter dem Spiegelement angeordnet sind und auf denen das Spiegelement aufliegt.

[0010] Das Spiegelement hat einen länglichen und bevorzugt quaderförmigen oder im Wesentlichen quaderförmigen Körper mit einer oder mehreren jeweils in Längsrichtung und bevorzugt parallel zur Längsachse des Spiegelements verlaufenden Spiegelflächen, die sich über zumindest einen Teil von dessen Länge erstrecken. Diese Spiegelflächen werden durch einen Teil der Oberfläche des Spiegelements gebildet und können insbesondere so ausgestaltet sein, wie es oben für die Plan- oder Planzylinderspiegelemente beschrieben worden ist. Es ist bevorzugt, dass das Spiegelement entlang seiner Länge konstante oder im Wesentlichen konstante Querschnittsabmessungen und -formen hat. Die Aufhängungsvorrichtung weist eine beispielsweise plattenförmige und bevorzugt längliche Basiskomponen-

te sowie zwei bevorzugt identisch ausgestaltete Halteeinrichtungen auf, die – bei länglich ausgebildeter Basiskomponente in Längsrichtung der Basiskomponente – voneinander beabstandet an der Basiskomponente angebracht sind. Die Halteeinrichtungen tragen das Spiegelement und sind entlang der Länge des Spiegelements in Bezug auf dieses symmetrisch und voneinander beabstandet angeordnet. Mit anderen Worten sind die Halteeinrichtungen entlang der Länge des Spiegelements jeweils gleich weit von den Enden bzw. der Mitte des Spiegelements entfernt. Es ist bevorzugt, dass das Spiegelement aus schließlich durch die beiden Halteeinrichtungen abgestützt wird, d. h. dass die beiden Halteeinrichtungen an dem Spiegelement angreifen und das Spiegelement ansonsten von der Aufhängungsvorrichtung beabstandet ist.

[0011] Jede der Halteeinrichtungen weist zwei laterale Elemente auf, die bevorzugt länglich sind und zum Beispiel in Form von Bügeln ausgebildet sein können und die voneinander beabstandet und bevorzugt symmetrisch auf gegenüberliegenden Seiten der Längsachse des Spiegelements angeordnet sind. In einer bevorzugten Ausgestaltung erstrecken sich die beiden lateralen Elemente in Ebenen parallel zur Längsachse des Spiegelements. Sie können insbesondere so angeordnet sein, dass sie auf gegenüberliegenden Seiten des Spiegelements angeordnet sind und das Spiegelement zwischen sich aufnehmen bzw. zumindest teilweise umfassen oder dass das Spiegelement und dessen Spiegelfläche bzw. Spiegelflächen in Querrichtung des Spiegelements zwischen den lateralen Elementen angeordnet sind.

[0012] Jedes laterale Element einer Halteeinrichtung ist in der Weise drehgelenkig an der Basiskomponente gelagert, dass es zumindest in einem bestimmten Winkelbereich in Bezug auf die Basiskomponente in beide Drehrichtungen um eine Schwenkachse geschwenkt werden kann, die senkrecht zur Längsachse des Spiegelements verläuft. Eine Schwenkbewegung um eine andere Schwenkachse ist bevorzugt nicht möglich. Die Schwenkachse der beiden lateralen Elemente einer Halteeinrichtung stimmen überein, so dass sie jeweils um eine gemeinsame Schwenkachse geschwenkt werden können, die senkrecht zur Längsachse des Spiegelements verläuft. Dabei ist aber – zumindest in einem gewissen Ausmaß – eine unabhängige Bewegung möglich, so dass die beiden lateralen Elemente auch relativ zueinander um die gemeinsame Schwenkachse geschwenkt werden können. Die beiden lateralen Elemente können in eine Position gebracht werden, die die Stellung der Halteeinrichtung darstellt, die für ein perfekt und ideal ausgebildetes Spiegelement ohne Fertigungsungenauigkeiten angepasst ist. Aus dieser Position können die beiden lateralen Elemente

jeweils in beide Drehrichtungen um die Schwenkachse geschwenkt werden.

[0013] Jede Halteeinrichtung weist ferner mindestens ein Traversenelement auf, das die beiden lateralen Elemente miteinander verbindet und bevorzugt das Ausmaß einer relativen Bewegung der beiden lateralen Elemente um die gemeinsame Schwenkachse begrenzt.

[0014] Die beiden Schwenkachsen der beiden Halteeinrichtungen sind entsprechend der Anordnung der Halteeinrichtungen entlang der Längsachse des Spiegelements in Bezug auf dieses symmetrisch und voneinander beabstandet angeordnet.

[0015] Jede Halteeinrichtung weist zum Tragen des Spiegelements vier voneinander beabstandete Angriffsabschnitte auf, die an dem Spiegelement angreifen und dieses abstützen. Bevorzugt wird das Spiegelement ausschließlich durch die insgesamt acht Angriffsabschnitte abgestützt, d. h. das Spiegelement ist ansonsten von den Halteeinrichtungen beabstandet. Es ist von Vorteil, wenn die Angriffsabschnitte möglichst geringe Abmessungen haben.

[0016] Die vier Angriffsabschnitte einer Halteeinrichtung sind so angeordnet, dass die lateralen Elemente in eine Position gebracht werden können, in der sich ein erstes Paar von Angriffsabschnitten auf einer ersten geraden Linie befindet und ein zweites Paar von Angriffsabschnitten (das die beiden restlichen Angriffsabschnitte enthält) auf einer zweiten geraden Linie befindet, wobei die beiden geraden Linien parallel zur Schwenkachse verlaufen und entlang der Längsachse des Spiegelements in entgegengesetzten Richtungen symmetrisch bzw. gleich weit von der Schwenkachse beabstandet sind. Mit anderen Worten befinden sich die beiden Angriffsabschnitte jedes Paares auf einer Höhe, und bei flächenförmigen Angriffsabschnitten verlaufen ihre Flächen in einer Ebene. Ferner sind in dieser Bezugsposition der lateralen Elemente die beiden Angriffsabschnitte jedes Paares in der Weise auf gegenüberliegenden Seiten der Längsachse des Spiegelements angeordnet, dass sie der Schwenkbewegung eines anderen der beiden lateralen Elemente folgen. Dazu kann jeder Angriffsabschnitt einen Teil des jeweiligen lateralen Elements bilden oder mit diesem verbunden sein.

[0017] Aus der Bezugsposition können die beiden lateralen Elemente jeweils – auch relativ zueinander – in beide Drehrichtungen um die Schwenkachse geschwenkt werden. Ist der Schwenkbereich der beiden lateralen Elemente entsprechend einer bevorzugten Ausgestaltung beispielsweise durch geeignete zusammenwirkende Anschläge beschränkt, so dass eine Schwenkbewegung jedes lateralen Elements lediglich in einem festgelegten Winkelbereich zwischen einer ersten Endposition und einer zweiten

Endposition möglich ist, so befindet sich jedes der lateralen Elemente in der Bezugsposition zwischen seinen beiden Endpositionen, bevorzugt in der Mitte zwischen seinen beiden Endpositionen. Die Bezugsposition kann dann auch als Zwischenposition bezeichnet werden. Sind die beiden lateralen Elemente identisch ausgebildet, so sind sie in der Bezugsposition in Bezug aufeinander nicht verschwenkt. In einer bevorzugten Ausgestaltung sind die lateralen Elemente in die Bezugsposition vorgespannt, die dann die Ruhelage der lateralen Elemente bildet. Es ist bevorzugt, dass die Bezugsposition der lateralen Elemente der Stellung der Halteeinrichtung entspricht, die für ein perfekt und ideal ausgebildetes Spiegelement ohne Fertigungsungenauigkeiten angepasst ist.

[0018] In einer vorteilhaften Ausgestaltung sind die vier Angriffsabschnitte jeder Halteeinrichtung in der Bezugsposition der beiden lateralen Elemente entsprechend den Eckpunkten eines Rechtecks oder Quadrats in der Weise angeordnet, dass dessen Seiten parallel zur Längsachse des Spiegelements bzw. zur Schwenkachse der jeweiligen Halteeinrichtung verlaufen.

[0019] Durch die Lagerung des Spiegelements entlang von vier senkrecht zur Längsachse verlaufenden Linien wird die schwerkraftbedingte Durchbiegung im Vergleich zur bekannten Lagerung in den beiden Besselschen Punkten verringert und der Tangentenfehler der Biegelinie des Spiegelements erheblich reduziert. Dies gelingt jedoch nur aufgrund der beschriebenen schwenkbaren Anordnung der lateralen Elemente an der Basiskomponente und der beschriebenen Anordnung der Angriffsabschnitte. Eine bloße Erhöhung der Anzahl der Lagerlinien führt zwangsläufig zu weiteren Ungenauigkeiten bzw. Fehlern der Biegelinie, die auf Fertigungsungenauigkeiten der Aufhängungsvorrichtung und/oder des Spiegelements zurückzuführen sind. Da sich die beiden lateralen Elemente jeder Halteeinrichtung und die ihnen jeweils zugeordneten Angriffsabschnitte gegenüber der Basiskomponente und in Bezug auf einander verschwenken können, können sich die Halteeinrichtungen bei der Aufhängung des Spiegelements in vorteilhafter Weise selbsttätig an dieses anpassen und in gewissem Umfang derartige Fertigungsungenauigkeiten ausgleichen. Es kann so erreicht werden, dass die schwerkraftbedingte Deformation des Spiegelements geringer als die heute erreichbare Fertigungs-genauigkeit des Spiegelements als begrenzen- de Größe für die Genauigkeit der Optik ist. Die Schwenkachsen verlaufen bevorzugt in einer Ebene, die sich parallel zu der Basiskomponente erstreckt. Ferner ist es bevorzugt, dass die insgesamt vier geraden Linien der beiden Halteeinrichtungen in der Bezugsposition der lateralen Elemente in einer Ebene verlaufen, die sich bevorzugt parallel zur Basis- komponente oder zu der Ebene erstreckt, in der die Schwenkachsen verlaufen.

[0020] Die gegenüberliegenden lateralen Elemente können beispielsweise jeweils über Auflagersockel an der Basiskomponente gelagert sein. Die Schwenkachsen liegen vorzugsweise in der Nähe der Besselschen Punkte des Spiegelements. Vorzugsweise sind die beiden gegenüberliegenden lateralen Elemente jeder Halteeinrichtung und bevorzugt alle lateralen Elemente gleichförmig oder identisch ausgebildet. Ferner ist es besonders bevorzugt, wenn die Aufhängungsvorrichtung bezüglich zweier zueinander senkrechter Ebenen symmetrisch gebildet ist, von denen eine in der Mitte zwischen den beiden Halteeinrichtungen und senkrecht zur Längsachse des zu haltenden Spiegelements verläuft und die andere die Längsachse des zu haltenden Spiegelements enthält. Außerdem ist es bevorzugt, wenn jedes laterale Element einer seine Schwenkachse umfassenden Ebene symmetrisch ausgestaltet ist und/oder wenn die beiden einem lateralen Element zugeordneten Angriffsabschnitte bezüglich einer solchen Ebene symmetrisch und bevorzugt bezüglich der Schwenkachse um 180° voneinander beabstandet angeordnet sind.

[0021] Der Spiegel wird mit Hilfe der Basiskomponente an einem geeigneten Ort im Strahlengang des Synchrotronstrahls angebracht. Dabei sind die Angriffsabschnitte bevorzugt in der Weise ausgestaltet, dass das Spiegelement sowohl aufliegend als auch aufgehängt angeordnet werden kann, ohne dass der Tangentenfehler bei einer der beiden Lagerungspositionen größer ist als bei der anderen Lagerungsposition.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform haben die Schwenkachsen der Halteeinrichtungen entlang der Längsachse des Spiegelements einen Abstand von 40 bis 60%, bevorzugt von 50 bis 52% und mehr bevorzugt von 50,8% oder etwa 50,8% der Länge des Spiegelements voneinander. Ein solcher Abstand der Schwenkachsen führt zu einer Lagerung des Spiegelements in der Nähe der Besselschen Punkte in der Weise, dass die schwerkraftbedingte Deformation gegenüber der bekannten Lagerung in den Besselschen Punkten erheblich verringert wird. Es hat sich gezeigt, dass die letzteren Werte in Bezug auf eine möglichst ebene Spiegelfläche optimal sind.

[0023] Es ist ferner bevorzugt, dass für jede Halteeinrichtung die beiden geraden Linien, auf denen in der Bezugsposition der lateralen Elemente jeweils ein Paar der Angriffsabschnitte angeordnet ist, entlang der Längsachse des Spiegelements einen Abstand von 20 bis 30%, bevorzugt von 25 bis 28% und mehr bevorzugt von 26,4% oder etwa 26,4% der Länge des Spiegelements voneinander haben. Es hat sich gezeigt, dass dadurch eine optimale Position der Angriffsabschnitte in Bezug auf eine möglichst ebene Spiegelfläche erreicht wird.

[0024] Es ist dabei insbesondere bevorzugt, dass die Schwenkachsen der Halteeinrichtungen entlang der Längsachse des Spiegelements einen Abstand von 50 bis 52% der Länge des Spiegelements voneinander haben und für jede Halteeinrichtung die beiden geraden Linien, auf denen in der Bezugsposition der lateralen Elemente jeweils ein Paar der Angriffsabschnitte angeordnet ist, entlang der Längsachse des Spiegelements einen Abstand von 25 bis 28% und mehr bevorzugt von 26,4% oder etwa 26,4% der Länge des Spiegelements voneinander haben, und am meisten bevorzugt, dass die Schwenkachsen der Halteeinrichtungen entlang der Längsachse des Spiegelements einen Abstand von 50,8% oder etwa 50,8% der Länge des Spiegelements voneinander haben und für jede Halteeinrichtung die beiden geraden Linien, auf denen in der Bezugsposition der lateralen Elemente jeweils ein Paar der Angriffsabschnitte angeordnet ist, entlang der Längsachse des Spiegelements einen Abstand von 25 bis 28% und mehr bevorzugt von 26,4% oder etwa 26,4% der Länge des Spiegelements voneinander haben.

[0025] Die schwenkbare Lagerung der lateralen Elemente an der Basiskomponente ist in einer bevorzugten Ausführungsform mit Hilfe von Kreuzfedergelenken realisiert. Diese haben den Vorteil, dass sie als Drehlager reibungsfrei sind und dass sie als Gelenke für kleine Drehwinkel und hohe radiale Belastung eingesetzt werden können.

[0026] In einer bevorzugten Ausgestaltung sind die beiden lateralen Elemente jeder Halteeinrichtung durch zwei Traversenelemente und bevorzugt durch nur genau zwei Traversenelemente miteinander verbunden.

[0027] Dabei ist es von Vorteil, wenn die beiden Traversenelemente, bevorzugt mit Hilfe von Kreuzfedergelenken, in der Weise gelenkig an den lateralen Elementen gelagert sind, dass sie jeweils um eine senkrecht zur Längsachse des Spiegelements verlaufende Achse drehbar sind, wobei diese beiden Achsen bevorzugt symmetrisch zu der Schwenkachse angeordnet sind.

[0028] Die Angriffsabschnitte können dann in vorteilhafter Weise an den Traversenelementen vorgesehen sein, so dass die Schwenkbewegung der lateralen Elemente über die Traversenelemente auf die Angriffsabschnitte übertragen wird. Es kann dabei ferner von Vorteil sein, wenn die Kreuzfedergelenke oder andere geeignete Drehlager jeweils über Festkörpergelenke an den lateralen Elementen angebracht sind.

[0029] Durch eine solche Ausgestaltung kann das Spiegelement entlang seiner Längsrichtung von vier Traversenelementen abgestützt werden, wobei je zwei Traversenelemente ein Paar von gegenüberliegenden lateralen Elementen verbinden. Die gelen-

kige Anbringung der Traversenelemente an den lateralen Elementen mit Hilfe von Drehlagern wie insbesondere Kreuzfedergelenken ist aufgrund der Verschwenkbarkeit der lateralen Elemente erforderlich und dient ferner ebenfalls zum Ausgleich der fertigungsbedingten Fehler bzw. Unebenheiten an Spiegelement und Aufhängung. Kreuzfedergelenke sind aufgrund der oben genannten Eigenschaften, nämlich Reibungsfreiheit und hohe radiale Belastbarkeit bei kleinen Drehwinkeln, auch für die Lagerung der Traversenelemente besonders geeignet. Ein zusätzliches Festkörpergelenk im Bereich der Lagerung der Traversenelemente an den lateralen Elementen bewirkt eine noch weichere Lagerung des Spiegelements und ermöglicht es in vorteilhafter Weise, im Falle einer zur Strahlfokussierung erforderlichen Krümmung durch Biegung des Spiegelements, die dadurch entstehenden Längskräfte an den Lagern und die resultierenden Spannungen in dem Spiegelement möglichst gering zu halten. Das Festkörpergelenk kann z. B. durch eine Materialverjüngung in einem bestimmten Abstand zu dem jeweiligen Drehlager gebildet sein.

[0030] Bei einer solchen Ausgestaltung ist es ferner bevorzugt, wenn jedes Traversenelement in einer Ebene senkrecht zur Längsachse des Spiegelements einen U-förmigen Querschnitt mit zwei im Wesentlichen parallelen Schenkeln und einer die beiden Schenkel verbindenden, bevorzugt geraden und bevorzugt senkrecht zu den beiden Schenkeln verlaufenden Querstrebe aufweist, wobei an jeder Querstrebe je zwei der Angriffsabschnitte entlang der Querstrebe voneinander beabstandet vorgesehen sind. Das Spiegelement liegt auf diesen Angriffsabschnitten auf, die bevorzugt gegenüber dem Rest der Querstrebe vorstehen bzw. erhöht sind, um eine Berührung zwischen dem Spiegelement und den Querstreben abseits der insgesamt acht Angriffsabschnitte zu vermeiden und zu verhindern, dass das Traversenelement bei Fertigungsungenauigkeiten der Aufhängungsvorrichtung oder des Spiegels selbst ungewünschten Kräfte in das Spiegelement einleitet.

[0031] Dabei ist es ferner besonders bevorzugt, wenn jedes Traversenelement zwei Paare von Festkörpergelenken aufweist, die symmetrisch entlang der Länge der Querstrebe und beabstandet von deren Enden angeordnet sind. Diese Festkörpergelenke können in vorteilhafter Weise durch einen in der Querstrebe ausgebildeten, entlang dessen Erstreckungsrichtung verlaufenden und bevorzugt symmetrisch entlang deren Länge angeordneten doppel-T-förmigen Durchbruch in der Querstrebe gebildet werden, durch den das Material der Querstrebe an vier rechteckig zueinander angeordneten Stellen so weit verjüngt ist, dass sich die Querstrebe bei einer relativen Schwenkbewegung der beiden jeweiligen lateralen Elemente an diesen Stellen in der Weise ver-

biegt, dass die jenseits der Festkörpergelenke gelegenen Endabschnitte der Querstrebe und die beiden oberhalb und unterhalb des Durchbruchs befindlichen Abschnitte der Querstrebe parallelogrammartig gegen einander verschwenkt werden können. Es ist dann bevorzugt, dass die Angriffsabschnitte des jeweiligen Traversenelements an den – bevorzugt massiven Endabschnitten der Querstreben vorgesehen sind.

[0032] In dieser Ausgestaltung können die Traversenelemente aufgrund der U-förmigen Ausbildung das Spiegelement jeweils von drei Seiten zumindest teilweise umfassen. Dabei liegt die Querstrebe mit den Angriffsabschnitten an der – bevorzugt ebenen – Seite des Spiegelements an, die der Seite mit der oder den Spiegelflächen gegenüberliegt. Die Traversenelemente sind vorzugsweise über die Schenkel an den lateralen Elementen angebracht, in erster Linie über die von der Querstrebe wegweisenden Enden der Schenkel.

[0033] In einer alternativen Ausführungsform mit Traversenelementen, die in der beschriebenen Art und Weise in einer Ebene senkrecht zur Längsachse des Spiegelements einen U-förmigen Querschnitt haben, weist das Spiegelement an gegenüberliegenden Seitenflächen jeweils eine Nut auf, die sich in der Längsrichtung des Spiegelements erstrecken, und die Schenkel der Traversenelemente weisen jeweils einen Vorsprung auf, die in die Nuten eingreifen. Die insgesamt acht Vorsprünge bilden in diesem Fall die Angriffsabschnitte. Diese Ausgestaltung ist insbesondere bei einer hängenden Anordnung des Spiegelements von Vorteil, bei der die Basiskomponente oberhalb des Spiegelements angeordnet ist.

[0034] Die beiden beschriebenen alternativen Ausführungsformen mit U-förmigen Traversenelementen können auch kombiniert werden, indem sowohl acht Angriffsabschnitte an den Querstreben als auch acht Angriffsabschnitte an Vorsprüngen der Schenkel vorgesehen sind, wobei in Abhängigkeit davon, ob das Spiegelement hängend oder aufliegend gelagert wird, ein anderer der beiden Sätze von jeweils acht Angriffsabschnitten in der beschriebenen Weise zum Einsatz kommt. Es ist dann ferner auch bevorzugt, wenn die Angriffsabschnitte bildenden Vorsprünge jeweils auf Höhe der entsprechenden Querstreben angeordnet sind.

[0035] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine Biegevorrichtung für einen Spiegel für Synchrotronstrahlung der zuvor beschriebenen Ausgestaltung. Die Biegevorrichtung kann dabei auch als zu dem Spiegel gehörend bzw. als Teil des Spiegels angesehen werden. In Zusammenhang mit der Biegevorrichtung hat die erfindungsgemäße Aufhängungsvorrichtung den großen Vorteil, dass es durch ihre Verwendung in vorteilhafter Weise möglich

ist, eine Biegevorrichtung vorzusehen und das Spiegelement in gewünschter Weise zu krümmen, ohne wesentliche neue Ungenauigkeiten in die Biegelinie einzuführen.

[0036] Die Biegevorrichtung, mit der das längliche Spiegelement in Längsrichtung gekrümmt werden kann, weist zwei Biegehebel auf, die an zwei in Längsrichtung des Spiegelements voneinander beabstandeten Punkten in der Nähe der beiden Enden des Spiegelements angreifen. Die Biegehebel sind so ausgestaltet und angeordnet, dass durch eine Betätigung der Biegehebel an den beiden Ende des Spiegelements in der Weise ein Biegemoment in das Spiegelement eingeleitet werden kann, dass dieses eine Krümmung um seine zentrale Querachse erfährt.

[0037] Dabei greift an jedem der beiden Enden des Spiegelements jeweils einer der Biegehebel vorzugsweise einerseits an einer in dem Spiegelement vorgesehenen Bohrung und andererseits an der Oberfläche des Spiegelements an, die der oder den Spiegelflächen gegenüberliegt. Die beiden Angriffspunkte eines Biegehebels sind dabei bezogen auf die Längsrichtung des Spiegelements voneinander beabstandet, so dass durch eine Betätigung der Hebel, d. h. durch Aufbringen einer Kraft auf die Biegehebel in Längsrichtung des Spiegelements, an beiden Enden des Spiegelements ein punktsymmetrisches Kräftepaar in das Spiegelement eingeleitet wird. Aus diesem punktsymmetrischen Kräftepaar resultiert ein Biegemoment, welches das Spiegelement in eine Krümmung versetzt. Diese Krümmung kann je nach Bedarf durch eine Erhöhung der Kraft auf die Hebel angepasst werden.

[0038] Eine Krümmung des Spiegelements wird in der Regel notwendig, um einen Synchrotronstrahl vertikal zu fokussieren. Die Aufhängungsvorrichtung ist gemäß der vorliegenden Erfindung dazu eingerichtet, auch im Falle eines gekrümmten Spiegelements die schwerkraftbedingte Deformation zu minimieren, ohne dabei zusätzliche Kräfte in das Spiegelement einzuleiten. Dies gelingt vor allem durch die oben ausführlich erläuterte gelenkige Lagerung des Spiegelements mittels Kreuzfedergelenken und Festkörpergelenken, insbesondere durch die zusätzlichen Festkörpergelenk für die Lagerung der Traversenelemente an den lateralen Elementen.

[0039] Sobald das Spiegelement um eine Querachse gebogen wird, ändert sich auch die optimale Position der Lager in Längsrichtung des Spiegels. Durch die Festkörpergelenke wird eine Längsverschiebung der Lager zugelassen. Ohne zusätzliche Festkörpergelenke wäre die Längsverschiebung verhindert und es würden Längskräfte in den Lagern entstehen. Solche Längskräfte hätten wiederum eine eigene Biegelinie zufolge, welche die beabsichtig-

te, erzwungene Biegelinie überlagern und somit die optische Genauigkeit des Spiegels mindern würde. Mit der erfindungsgemäßen Aufhängungsvorrichtung kann das Spiegelement also – neben der Lagerung mit reduzierter schwerkraftbedingter Deformation – von einer Biegevorrichtung unter minimalen Genauigkeitseinbußen gebogen werden.

[0040] Die vorliegende Erfindung wird im Folgenden anhand zweier Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren näher erläutert.

[0041] Fig. 1 zeigt eine erste perspektivische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Spiegels für Synchrotronstrahlung,

[0042] Fig. 2 zeigt eine zweite perspektivische Darstellung des Ausführungsbeispiels aus Fig. 1 in hängender Anordnung des Spiegelements,

[0043] Fig. 3 zeigt eine Vorderansicht des Ausführungsbeispiels aus Fig. 1,

[0044] Fig. 4 zeigt eine Seitenansicht des Ausführungsbeispiels aus Fig. 1, die die Positionen der Lager- und Gelenkpunkte deutlich macht,

[0045] Fig. 5 zeigt ein Diagramm, das Biegelinie und Tangentenfehler in Abhängigkeit der Länge sowohl eines Spiegels nach dem Stand der Technik als auch eines erfindungsgemäßen Spiegels für Synchrotronstrahlung darstellt, und

[0046] Fig. 6 zeigt eine Seitenansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Spiegels für Synchrotronstrahlung, zusätzlich mit einer erfindungsgemäßen Biegevorrichtung für einen Spiegel für Synchrotronstrahlung.

[0047] In Fig. 1 ist ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spiegels **1** für Synchrotronstrahlung mit einer Aufhängungsvorrichtung **3** für das Spiegelement **2** dargestellt. Das Spiegelement **2** wird durch einen quaderförmigen, länglichen Körper mit einer Länge von z. B. einem Meter gebildet. In dem dargestellten Beispiel handelt es sich um einen Plan-Zylinderspiegel. Dementsprechend weist die in der Figur obere Oberflächen **5** des Spiegelements **2**, an der der Synchrotronstrahl reflektiert werden soll, zwei parallel nebeneinander in Längsrichtung des Spiegelements **2** verlaufende rinnenförmige Vertiefungen auf, die jeweils die Form eines Zylindermantelflächensegments haben. Ferner weist das Spiegelement **2** auf zwei gegenüberliegenden Seitenflächen **7**, die senkrecht zur Oberfläche **5** verlaufen, jeweils eine gerade Nut **9** auf, wobei sich die beiden Nuten **9** auf einer Höhe parallel zueinander und in Längsrichtung des Spiegelements **2** erstrecken.

[0048] Die genauer in **Fig. 2** erkennbare Aufhängungsvorrichtung **3** weist eine ebene, längliche und knochenförmige Grundplatte **11** als Basiskomponente und zwei identisch ausgestaltete und in Längsrichtung des Spiegelements **2** symmetrisch und beabstandet angeordnete Haltevorrichtungen **12** auf, die jeweils an der Grundplatte **11** befestigt sind. Jede Halteeinrichtung **12** hat jeweils ein Paar von auf gegenüberliegenden Seiten des Spiegelements **2** angeordneten bügelförmigen lateralen Elementen **13a**, **13b**, zwei auf gegenüberliegenden Seiten des Spiegelements **2** angeordnete Auflagersockel **15**, wobei jeweils ein Auflagersockel **15** einem laterale Element **13a** bzw. **13b** zugeordnet ist, und zwei Traversenelemente **17**, die die beiden lateralen Elemente **13a**, **13b** miteinander verbinden. Die lateralen Elemente **13a**, **13b** sind länglich und erstrecken sich in der in den Figuren dargestellten Stellung parallel zur Längsachse des Spiegelements **2** und dessen Seitenflächen **7**. Die beiden Traversenelemente **17** erstrecken sich in dieser Stellung jeweils in einer Ebene senkrecht zu den lateralen Elementen **13a**, **13b** und der Längsachse des Spiegelements **2** und zwischen den Enden der lateralen Elemente **13a**, **13b**.

[0049] Jedes laterale Elemente **13a**, **13b** ist in der Mitte zwischen seinen beiden gegenüberliegenden Enden drehbar an dem zugehörigen Auflagersockel **15** gelagert. Dabei sind die Auflagersockel **15** starr an den Enden der Grundplatte **11** angebracht. Die Lagerung der lateralen Elemente **13a**, **13b** an den Auflagersockeln **15** ist in der Weise über Kreuzfedergelenke **19** realisiert, dass sie um eine Schwenkachse **23** geschwenkt werden können, die sich senkrecht zur Längsachse des Spiegelements **2** erstreckt. Dabei stimmen die Schwenkachsen der beiden gegenüberliegenden lateralen Elemente **13a**, **13b** einer Halteeinrichtung **12** überein, so dass die lateralen Elemente **13a**, **13b** eine gemeinsame Schwenkachse **23** haben.

[0050] Das Spiegelement **2** wird seitlich, d. h. an den Seiten **7**, die die Nuten **9** aufweisen, von den gegenüberliegenden lateralen Elementen **13a**, **13b** teilweise umfasst, so dass das Spiegelement **2** jeweils zwischen den Paaren von lateralen Elementen **13a**, **13b** angeordnet ist. Auf der Oberfläche **21** des Spiegelements **2**, die der Spiegelfläche **5** gegenüberliegt, wird das Spiegelement **2** durch die vier Traversenelemente **17** überspannt. Die zwei Traversenelemente **17** jeder Halteeinrichtung **12** sind dabei in gleichem Abstand von und symmetrisch zu der jeweiligen Schwenkachse **23** angeordnet. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Traversenelemente **17** über Kreuzfedergelenke **25** gelenkig an den lateralen Elementen **13a**, **13b** angebracht.

[0051] Die Kreuzfedergelenke **19** und **25** tragen die Halteeinrichtungen **12**, lassen aber bei Krafteinwirkung durch das Spiegelement **2** in einem gewissen

Ausmaß ein Verschwenken der lateralen Elemente **13a**, **13b** auch relativ zueinander zu.

[0052] Die Traversenelemente **17** sind U-förmig ausgebildet und weisen zwei parallele Schenkel **27a**, **27b** auf, die durch eine Querstrebe **29** miteinander verbunden sind (siehe **Fig. 3**). Die Querstrebe **29** weist in Längsrichtung des Spiegelements **2** einen doppel-T-förmigen Durchbruch **31** auf. Mit Hilfe dieses Durchbruchs **31** sind zwei Festkörpergelenkpaare **33a**, **33b** in der Querstrebe **29** gebildet, die es ermöglichen, dass sich die Endabschnitte **29a**, **29b** und die parallelen Schenkel **27a**, **27b** sowie die oberhalb und unterhalb des Durchbruchs **31** befindlichen Teile der Querstrebe **29** in Abhängigkeit der Elastizität des Materials des Traversenelements **17** parallelogrammähnlich verformen bzw. verschwenken können.

[0053] Jede Querstrebe **29** weist ferner zwei in Querrichtung des Spiegelements **2** voneinander beabstandete und zu den beiden Schenkeln **27a**, **27b** in gleichem Maße beabstandete Angriffsabschnitte **35a**, **35b** auf, die an den Endabschnitten **29a**, **29b** vorgesehen und gegenüber dem Rest der Querstrebe **29** erhöht sind und auf denen das Spiegelement **2** aufliegt. Insgesamt liegt das Spiegelement **2** somit ausschließlich an acht voneinander beabstandeten Angriffsabschnitten **35a**, **35b** auf der Aufhängungsvorrichtung **3** auf. Zwischen und neben den Erhöhungen **35a**, **35b** sowie zwischen den Schenkeln **27a**, **27b** und dem Spiegelement **2** ist ein schmaler Spalt **37** vorgesehen, so dass das Spiegelement **2** auch bei einer parallelogrammartigen Verformung des Traversenelements **17** nur auf den Angriffsabschnitten **35a**, **35b** der Querstrebe **29** aufliegt, aber nicht z. B. an den Schenkeln **27a**, **27b** anliegt.

[0054] An jedem Schenkel **27a**, **27b** der Traversenelemente **17** ist ferner ein Vorsprung **39a**, **39b** vorgesehen, der in die Nut **9** eingreift, die in der dem jeweiligen Schenkel **27a**, **27b** zugewandten Seite **7** des Spiegelements **2** ausgebildet ist. Die Vorsprünge **39a**, **39b** ragen dabei senkrecht zu den parallelen Schenkeln **27a**, **27b** in die Nuten **9** hinein und liegen ausschließlich an derjenigen Fläche **41** der Nut **9** an, die in die Richtung der Fläche **21** zeigt, an welcher der Spiegel **1** auf der Querstrebe **29** aufliegt. Ein solcher Aufbau der Traversenelemente **17** erlaubt es, dass der Spiegel **1** um 180° um die Längsachse gedreht und das Spiegelement **2** in dieser Position gelagert bzw. aufgehängt verwendet werden kann. Die Angriffsabschnitte **43**, an denen das Spiegelement **2** an den Vorsprüngen **39a**, **39b** anliegt, sind gegenüber den Angriffsabschnitten **35a**, **35b** angeordnet, an welchen das Spiegelement **2** in der aufliegenden Anordnung auf der Querstrebe **29** aufliegt. Gegenüber heißt in diesem Zusammenhang an gleicher Position bezogen auf die Längsachse des Spiegelements **2**.

[0055] Der Abstand A der beiden Schwenkachsen **23** entlang der Länge der Grundplatte **11** beträgt in dem dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispiel das 0,508-fache der Länge L des Spiegelements **2** (siehe [Fig. 4](#)). Gleichzeitig beträgt für jede Halteeinrichtung **12** der Abstand B der Kreuzfedergelenke **25**, mit denen die beiden entsprechenden Traversenelemente **17** an einem der beiden lateralen Elementen **13a**, **13b** gelagert sind, und somit in der Bezugsposition der Abstand der beiden Traversenelemente **17** jeder Halteeinrichtung **12** und der Abstand der entsprechenden Angriffsabschnitte **35a**, **35b** bzw. **43** entlang der Länge der Grundplatte **11** das 0,264-fache der Länge L des Spiegelements **2**.

[0056] Eine Aufhängung des Spiegelements **2** an acht Angriffsabschnitten **35a**, **35b** bzw. **43**, die gemäß den zuvor beschriebenen Maßen voneinander beabstandet sind, verursacht eine deutliche Einebnung der Biegelinie des Spiegelements **2** gegenüber der eines Spiegelements, welches entlang seiner Länge nur an den beiden Besselschen Punkten gelagert ist (siehe [Fig. 5](#)). Die Einebnung der Biegelinie wiederum hat eine deutliche Verringerung des Tangentenfehlers, d. h. der Winkelabweichung der Spiegelfläche von der Idealform, zur Folge, wodurch eine bessere Abbildungsgenauigkeit des Synchrotronstrahls erreicht werden kann.

[0057] In [Fig. 6](#) ist ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Spiegels **1** für Synchrotronstrahlung mit einer Aufhängungsvorrichtung **3** für das Spiegelement **2** dargestellt. Der Spiegel stimmt im Wesentlichen mit dem Spiegel des ersten Ausführungsbeispiels überein. Im Unterschied zu dem ersten Ausführungsbeispiel weist der Spiegel **1** hier jedoch darüber hinaus eine erfindungsgemäße Biegevorrichtung **45** für das Spiegelement **2** auf.

[0058] Die Biegevorrichtung **45** weist zwei Biegehebel **47a**, **47b** auf, die an den beiden in Längsrichtung des Spiegelements **2** betrachteten Enden des Spiegelements **2** angreifen und bei einer Betätigung der Biegehebel **47a**, **47b** ein geeignetes Biegemoment in das Spiegelement **2** einleiten. Dazu ist das Spiegelement **2** zunächst in hängender Anordnung vorgesehen, in der es im Wesentlichen auf den Vorsprüngen **39a**, **39b** gelagert ist. Jeder der Biegehebel **47a**, **47b** greift über zwei Punkte an dem Spiegelement **2** an und leitet somit das Biegemoment durch ein punktsymmetrisches Kräftepaar **49a**, **49b** in den Spiegel ein, sobald der Biegehebel **47a**, **47b** eine Kraft **51a**, **51b** parallel zur Längsachse des Spiegelements **2** an dem Ende erfährt, welches von dem Spiegelement **2** abgewandt ist. Die Angriffspunkte **53a**, **53b**, **53c**, **53d** der Biegehebel **47a**, **47b** an dem Spiegelement **2** befinden sich zum einen an einer Bohrung **53a**, **53c** in dem Spiegelement **2**, die sich an jedem Ende des Spiegelements **2** quer zur Längsrichtung des Spiegelements **2** und parallel zur Spiegelfläche

5 erstreckt, und zum anderen an der zu der Grundplatte **11** weisenden Oberfläche **21** des Spiegelements **2** an den Enden des Spiegelements **2**.

[0059] Aus dem Biegemoment resultiert eine Längsbiegung, d. h. eine Biegung um eine Querachse des Spiegelements **2**, die im Wesentlichen parallel zu den Gelenkachsen der Gelenke **19**, **25** verläuft. Um eine freie Verbiegung des Spiegelements **2** zuzulassen, ist in diesem Ausführungsbeispiel unterschiedlich zu dem ersten Ausführungsbeispiel an den lateralen Elementen **13** in der Umgebung jedes Lagers **25** der Traversenelemente **17** ein weiteres Gelenk in Form von jeweils einem Festkörpergelenk **55a**, **55b** vorgesehen, das ein Schwenken der Angriffsabschnitte **35a**, **35b** bzw. **43** der Traversenelemente **17** an dem Spiegelement **2** um einen Ort an den lateralen Elementen **13a**, **13b** ermöglicht, der von der Gelenkachse des jeweiligen Gelenklagers **25** der Traversenelemente **17** an den lateralen Elementen **13a**, **13b** beabstandet ist.

[0060] Bei einer Biegung des Spiegelements **2** wird eine solche doppelt-gelenkige Lagerung nötig, um an den Lagern **25** keine zusätzlichen Kräfte zu der Schwerkraft in das Spiegelement **2** einzuleiten. Denn sobald das Spiegelement um eine Querachse gebogen wird, ändert sich auch die Position der Lager **25** in Längsrichtung des Spiegels **1**. Durch die Festkörpergelenke **55a**, **55b** wird diese Längsverschiebung der Lager **25** zugelassen. Ohne zusätzliche Festkörpergelenke **55a**, **55b** wäre die Längsverschiebung verhindert und es würden Längskräfte in den Lagern **25** entstehen. Solche Längskräfte hätten wiederum eine eigene Biegelinie zufolge, welche die beabsichtigte, erzwungene Biegelinie überlagern und somit die optische Genauigkeit des Spiegels **1** mindern würde. Mit der erfindungsgemäßen Aufhängungsvorrichtung **3** kann das Spiegelement **2** also – neben der Lagerung mit reduzierter Schwerkraftbedingter Deformation – von einer Biegevorrichtung **45** unter minimalen Genauigkeitseinbußen gebogen werden.

[0061] Der Spiegel **1** für Synchrotronstrahlung wird entweder ngebogen, wie in dem erstgenannten Ausführungsbeispiel beschrieben, oder gebogen, wie in dem zweiten Ausführungsbeispiel beschrieben, in einem Synchrotronstrahlengang angeordnet. Dabei ist das Spiegelement **2** entweder aufliegend (siehe [Fig. 1](#)) oder aufgehängt (siehe [Fig. 2](#)) gelagert. Durch die in Längsrichtung des Spiegels **1** betrachteten vier bzw. die insgesamt acht Angriffsabschnitte **35a**, **35b** bzw. **43** wird die schwerkraftbedingte Deformation des Spiegelements **2** gegenüber einem Spiegelement mit in Längsrichtung zwei Angriffsabschnitten auf ein Minimum, jedoch zumindest unter den Einfluss der Fertigungsgenauigkeit des Spiegelements **2**, reduziert. Die gelenkige Lagerung des Spiegelements **1** auf den Traversenelementen **17** mit

tels Kreuzfedergelenken **25** und Festkörpergelenken **33a**, **33b**, **55a**, **55b** und die gelenkige Lagerung der lateralen Elemente **13a**, **13b** auf der Grundplatte **11** mittels Kreuzfedergelenken **19** erlaubt sowohl eine Biegung des Spiegelements **2** mit einer erfindungsgemäßen Biegevorrichtung **45** (siehe Fig. 6) als auch einen Ausgleich der Fertigungsungenauigkeiten der Aufhängungsvorrichtung **3** und des Spiegelements **2** selbst.

Patentansprüche

1. Spiegel (**1**) für Synchrotronstrahlung mit einem Spiegelement (**2**) und einer das Spiegelement (**2**) tragenden Aufhängungsvorrichtung (**3**), wobei das Spiegelement (**2**) einen länglichen Körper mit einer sich entlang der Richtung der Längsachse des Spiegelements (**2**) und über zumindest einen Teil von dessen Länge erstreckenden Spiegelfläche (**2a**) hat und wobei die Aufhängungsvorrichtung (**3**)

- eine Basiskomponente (**11**) und
- zwei Halteeinrichtungen (**12**) aufweist, die voneinander beabstandet an der Basiskomponente angebracht sind, das Spiegelement (**2**) tragen und entlang der Längsachse des Spiegelements (**2**) in Bezug auf dieses symmetrisch und voneinander beabstandet angeordnet sind,

dadurch gekennzeichnet, dass jede Halteeinrichtung (**12**)

- zwei laterale Elemente (**13a**, **13b**), die auf gegenüberliegenden Seiten der Längsachse des Spiegelements (**2**) angeordnet und in der Weise an der Basiskomponente (**11**) montiert sind, dass sie in Bezug auf die Basiskomponente (**11**) und in Bezug aufeinander in beide Drehrichtungen um eine gemeinsame Schwenkachse (**23**) geschwenkt werden können, die senkrecht zur Längsachse des Spiegelements (**2**) verläuft, und
- mindestens ein Traversenelement (**17**) aufweist, das die beiden lateralen Elemente (**13a**, **13b**) miteinander verbindet,

wobei die beiden Schwenkachsen (**23**) entlang der Längsachse des Spiegelements (**2**) in Bezug auf dieses symmetrisch und voneinander beabstandet angeordnet sind und wobei jede Halteeinrichtung (**12**) zum Tragen des Spiegelements (**2**) vier voneinander beabstandete Angriffsabschnitte (**35a**, **35b**) aufweist, die an dem Spiegelement (**2**) angreifen und dieses abstützen und von denen in einer Bezugsposition der lateralen Elemente (**13a**, **13b**), aus der sie in beide Drehrichtungen um die gemeinsame Schwenkachse (**23**) geschwenkt werden können, ein erstes Paar und ein zweites Paar auf einer ersten bzw. einer zweiten geraden Linie angeordnet ist, die parallel zur Schwenkachse (**23**) verlaufen und entlang der Längsachse des Spiegelements (**2**) in entgegengesetzten Richtungen symmetrisch von der Schwenkachse (**23**) beabstandet sind, und wobei sich die beiden Angriffs-

abschnitte jedes Paares auf gegenüberliegenden Seiten der Längsachse des Spiegelements (**2**) befinden und der Schwenkbewegung eines anderen der beiden lateralen Elemente (**13a**, **13b**) folgen.

2. Spiegel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwenkachsen (**23**) der Halteeinrichtungen (**12**) entlang der Längsachse des Spiegelements (**2**) einen Abstand von 40 bis 60% der Länge des Spiegelements (**2**) haben.

3. Spiegel nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwenkachsen (**23**) der Halteeinrichtungen (**12**) entlang der Längsachse des Spiegelements (**2**) einen Abstand von 50,8% der Länge des Spiegelements (**2**) haben.

4. Spiegel nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für jede Halteeinrichtung (**12**) die beiden geraden Linien, auf denen in der Bezugsposition der lateralen Elemente (**13a**, **13b**) jeweils ein Paar der Angriffsabschnitte (**35a**, **35b**) angeordnet ist, entlang der Längsachse des Spiegelements (**2**) einen Abstand von 20 bis 30% der Länge des Spiegelements (**2**) haben.

5. Spiegel nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass für jede Halteeinrichtung (**12**) die beiden geraden Linien, auf denen in der Bezugsposition der lateralen Elemente (**13a**, **13b**) jeweils ein Paar der Angriffsabschnitte (**35a**, **35b**) angeordnet ist, entlang der Längsachse des Spiegelements (**2**) einen Abstand von 26,4% der Länge des Spiegelements (**2**) haben.

6. Spiegel nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die lateralen Elemente (**13a**, **13b**) mit Kreuzfedergelenken (**19**) schwenkbar an der Basiskomponente (**11**) gelagert sind.

7. Spiegel nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden lateralen Elemente (**13a**, **13b**) jeder Halteeinrichtung (**12**) durch zwei Traversenelemente (**17**) miteinander verbunden sind.

8. Spiegel nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Traversenelemente (**17**) mit Kreuzfedergelenken (**25**) in der Weise gelenkig an den lateralen Elementen (**13**) angebracht sind, dass sie jeweils um eine senkrecht zur Längsachse des Spiegelements (**2**) verlaufende Achse drehbar sind, wobei die Angriffsabschnitte (**35**) an den Traversenelementen (**17**) vorgesehen sind.

9. Spiegel nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Kreuzfedergelenke (**25**) über Festkörpergelenke (**55a**, **55b**) an den lateralen Elementen (**13**) angebracht sind.

10. Spiegel nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass jedes der beiden Traversenelemente **(17)** in Längsrichtung des Spiegelements **(2)** betrachtet einen U-förmigen Querschnitt mit zwei im Wesentlichen parallelen Schenkeln **(27a, 27b)** und einer die beiden Schenkel **(27a, 27b)** verbindenden Querstrebe **(29)** aufweist.

11. Spiegel nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass jede Querstrebe **(29)** zwei Paare von Festkörpergelenken **(33a, 33b)** aufweist, die symmetrisch entlang der Länge der Querstrebe **(29)** und beabstandet von deren Enden angeordnet sind und die durch einen doppel-T-förmigen Durchbruch **(31)** in der Querstrebe **(29)** gebildet sind, durch die das Material der Querstrebe **(29)** an vier rechteckig zueinander angeordneten Orten so weit verjüngt ist, dass sich die Querstrebe **(29)** bei einer relativen Schwenkbewegung der beiden jeweiligen lateralen Elemente **(13a, 13b)** an diesen Orten in der Weise verbiegt, dass die jenseits der Festkörpergelenke **(33a, 33b)** gelegenen Endabschnitte **(29a, 29b)** der Querstrebe **(29)** und die beiden oberhalb und unterhalb des Durchbruchs **(31)** befindlichen Abschnitte der Querstrebe **(29)** parallelogrammartig gegen einander verschwenkt werden können.

12. Spiegel nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Angriffsabschnitte **(35a, 35b)** des jeweiligen Traversenelements **(17)** an den Endabschnitten **(29a, 29b)** der Querstreben **(29)** vorgesehen sind.

13. Spiegel nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Spiegelement **(2)** an gegenüberliegenden Seitenflächen **(7)** eine Nut **(9)** aufweist und dass die Schenkel **(27a, 27b)** des Traversenelements **(17)** jeweils einen Vorsprung **(39a, 39b)** aufweisen, wobei die Vorsprünge **(39a, 39b)** die Angriffsabschnitte **(35a, 35b)** bilden.

14. Biegevorrichtung **(45)** für einen Spiegel **(1)** für Synchrotronstrahlung nach einem der vorherigen Ansprüche zur Biegung von dessen Spiegelement **(2)** mit zwei Biegehebeln **(47a, 47b)**, die jeweils an zwei in Längsrichtung des Spiegelements **(2)** voneinander beabstandeten Punkten **(53a, 53b, 53c, 53d)** an den beiden Enden des Spiegelements **(2)** angreifen, wobei durch eine Betätigung der Biegehebel **(47a, 47b)** an beiden Ende des Spiegelements **(2)** ein Biegemoment in das Spiegelement **(2)** eingeleitet wird, so dass das Spiegelement **(2)** eine Krümmung um die Querachse erfährt.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

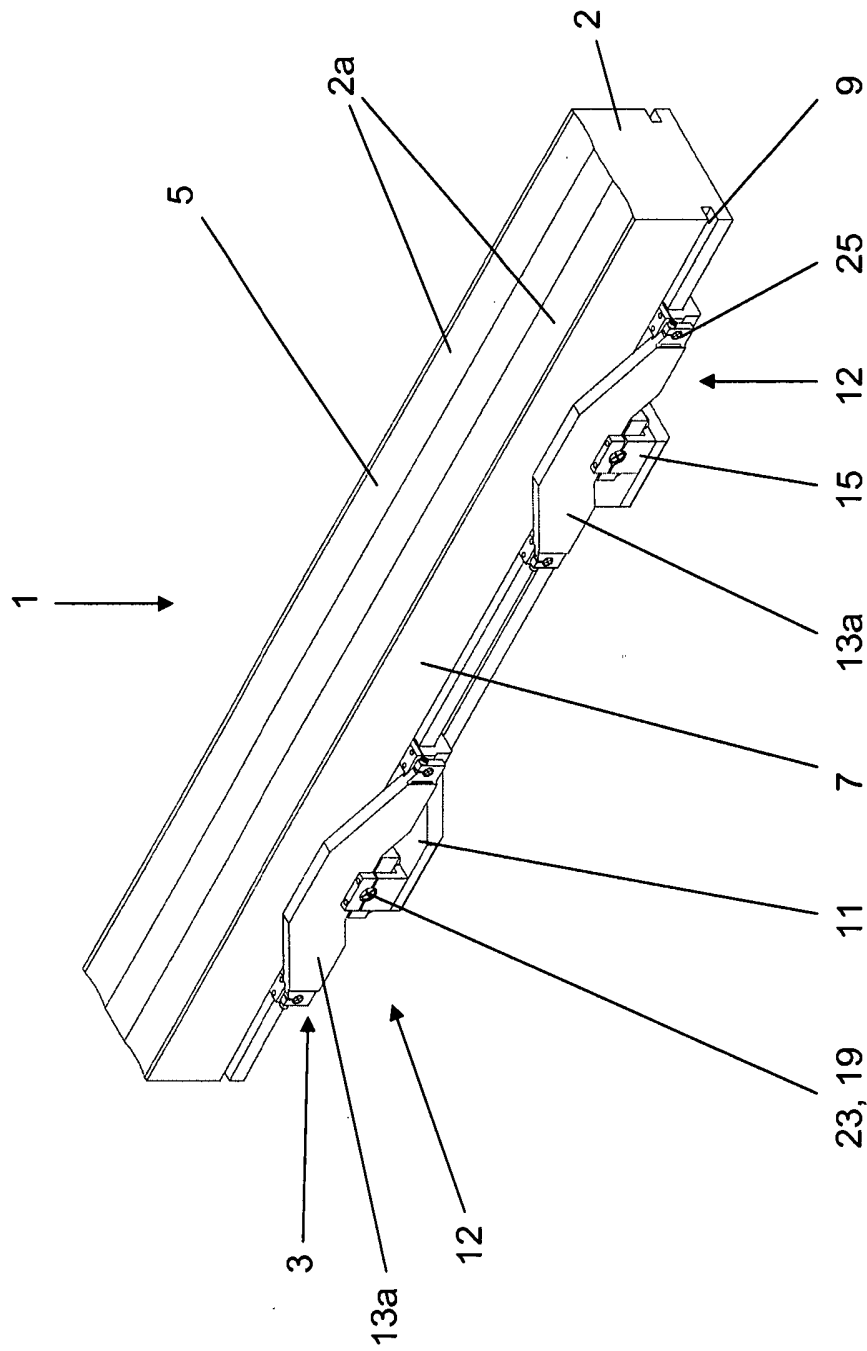


Fig. 1

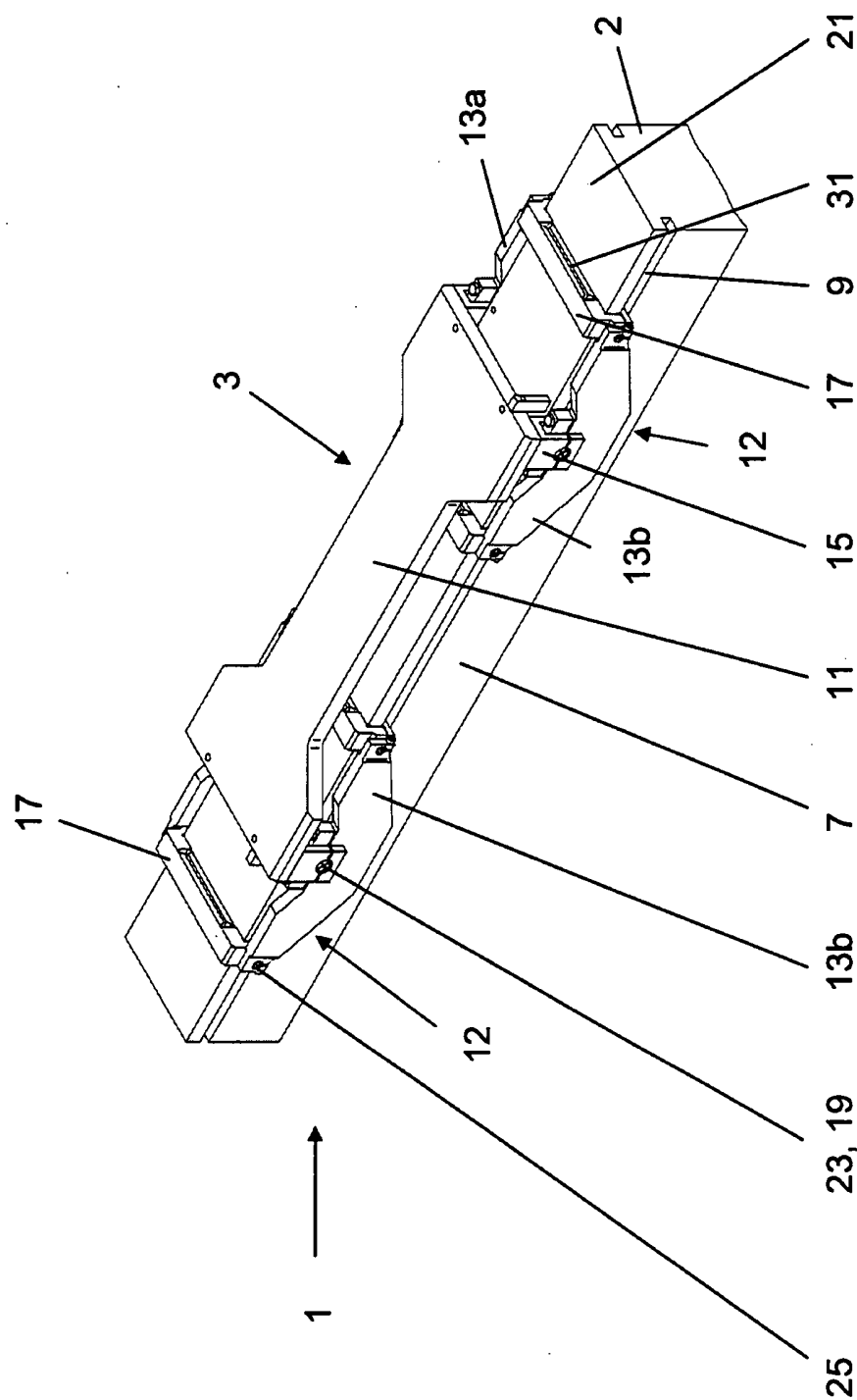


Fig. 2

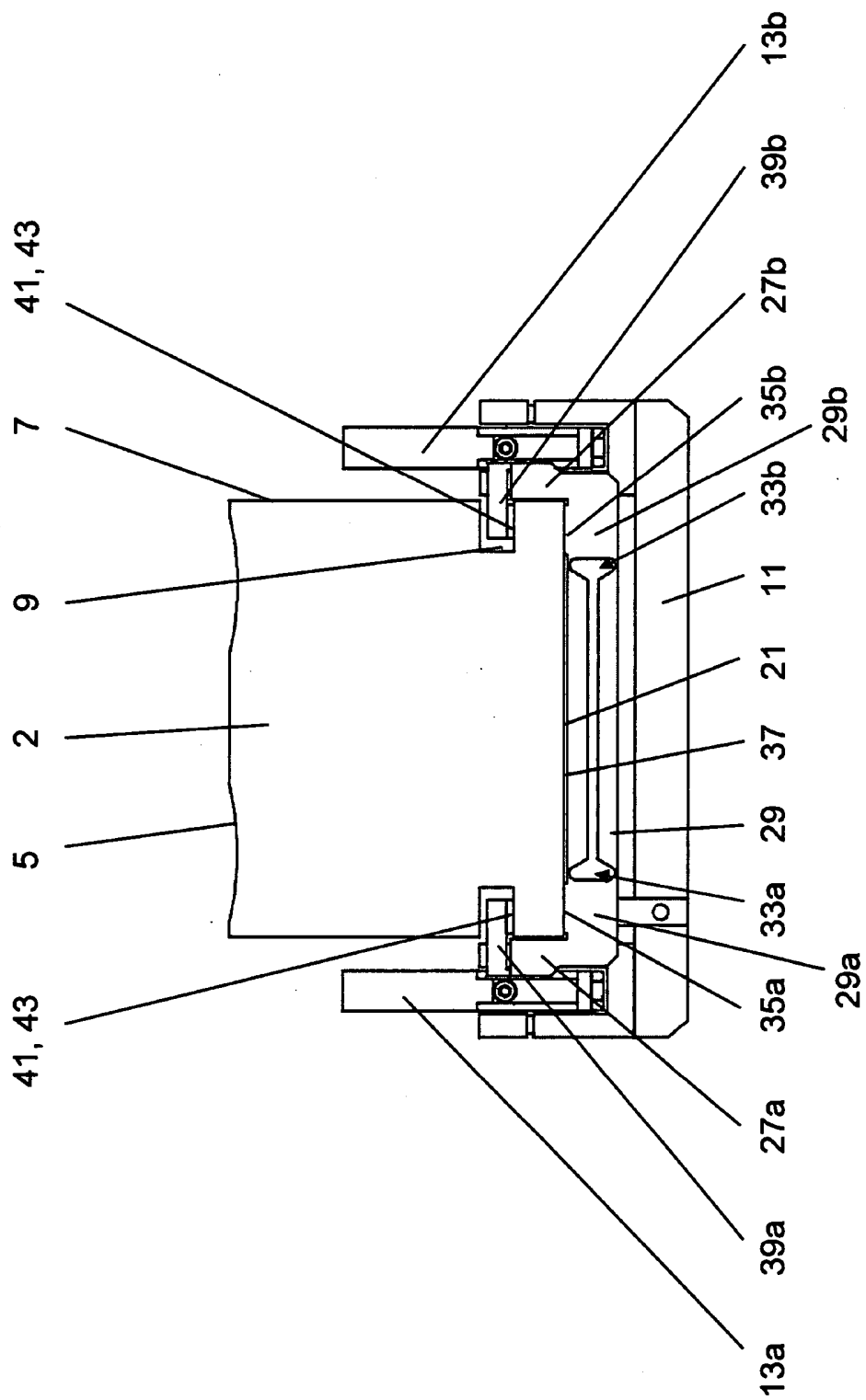


Fig. 3

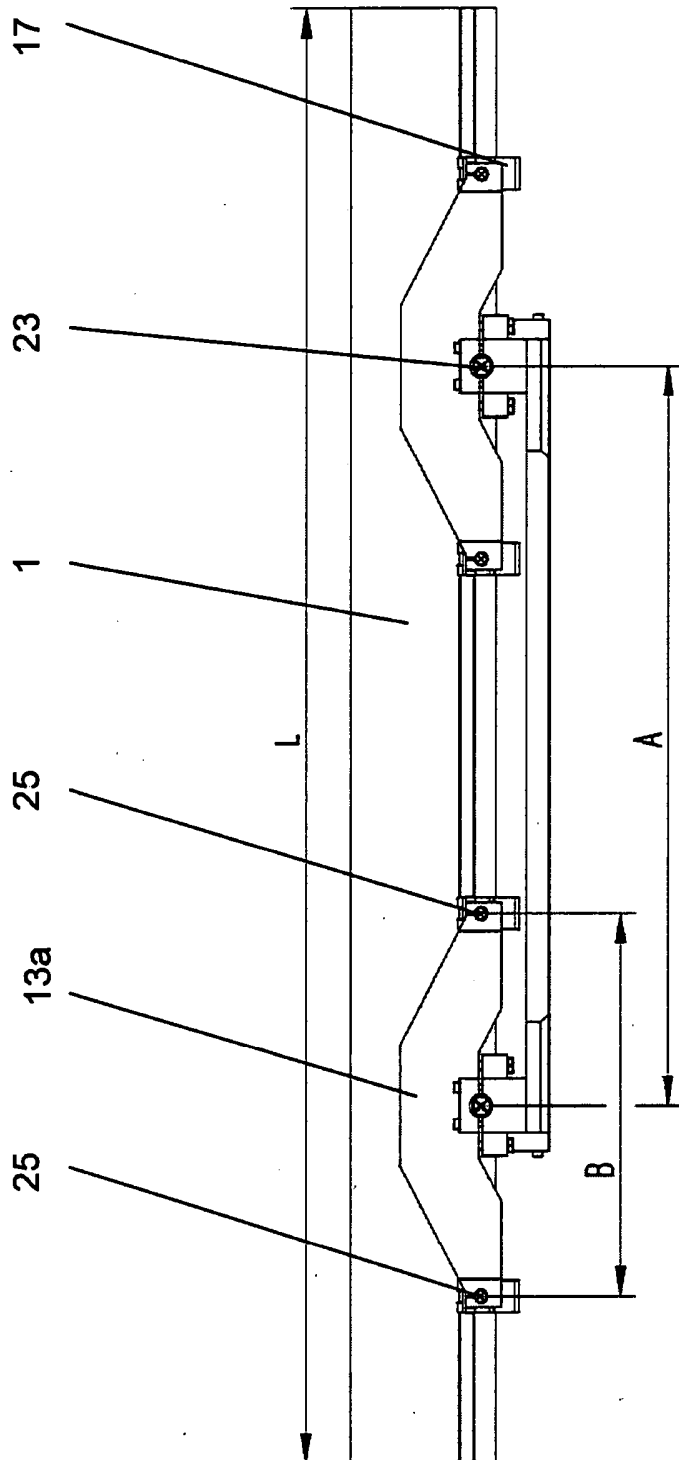


Fig. 4

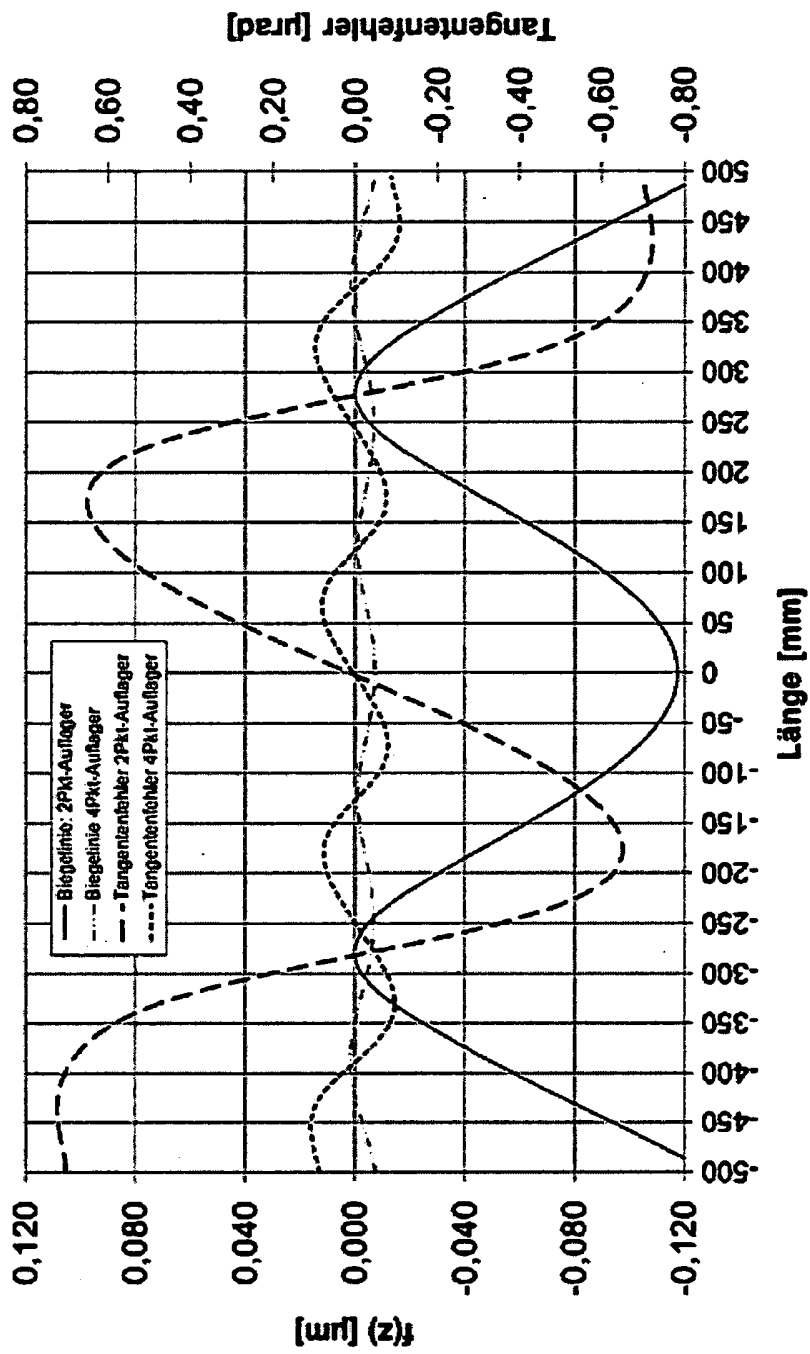


Fig. 5

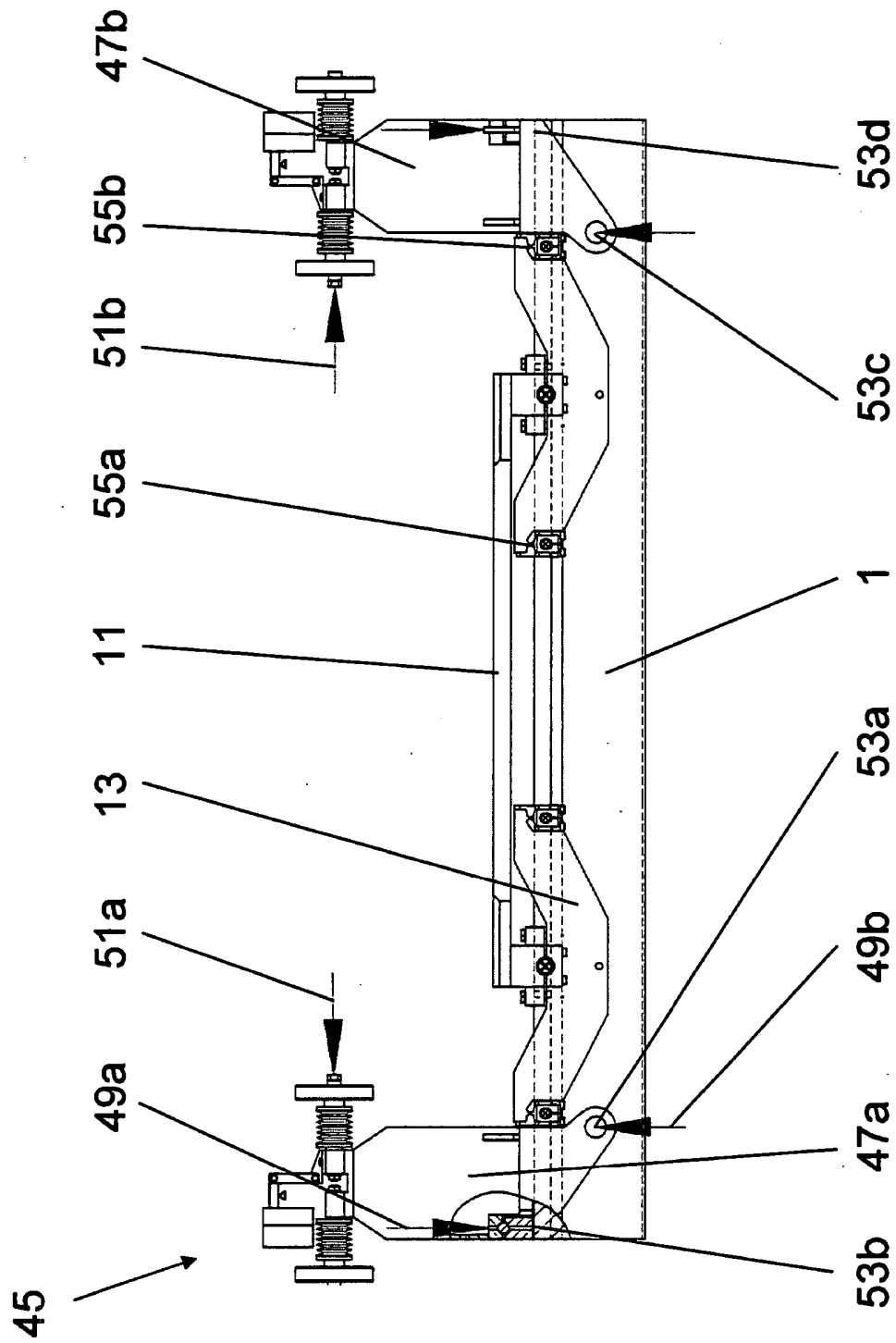


Fig. 6