

Justierbare Lagerungsanordnung für ein relativ zu einer Basis präzise zu positionierendes Objekt

Die vorliegende Erfindung betrifft eine justierbare Lagerungsanordnung für ein relativ
5 zu einer Basis präzise zu positionierendes Objekt. Insbesondere betrifft die Erfindung eine justierbare Lagerungsanordnung für einen Sekundärspiegel eines optischen Spiegelteleskops.

Optische Spiegelteleskope können sowohl zum Empfang von optischer Strahlung
10 (zum Beispiel: klassisches Teleskop-Fernrohr) als auch zum Senden von optischer Strahlung (zum Beispiel: Laser-Wirksystem) ausgelegt und eingesetzt werden.

Die meisten Bauarten optischer Spiegelteleskope benötigen eine Struktur, die im Bereich ihrer Apertur eine Aufhängung eines zum Hauptspiegel (oder Primärspiegel)
15 korrespondierenden Fangspiegels (oder Sekundärspiegel) ermöglicht. Beide Spiegel müssen sehr präzise zueinander positioniert sein, so dass einerseits ihre optischen Achsen im Idealfall exakt koaxial sind und andererseits der eingestellte Fokusabstand möglichst unter allen äußeren Bedingungen invariant ist. Veränderungen des Abstandes hätten eine Änderung der Fokussierebene zur Folge,
20 Abweichungen von der Koaxialität würden Abbildungsfehler hervorrufen oder bei einem Sendeteleskop die Spot-Qualität verschlechtern, also beispielsweise den Spot-Radius eines gesendeten Laserstrahls vergrößern.

Große Teleskopschwenkwinkel im Schwerfeld der Erde stellen außerdem große
25 Herausforderungen an die Steifigkeit der Struktur dar, die zugleich hohen thermischen Ansprüchen genügen muss. Abhängig vom Strukturkonzept des Teleskopaufbaues entstehen durch die erforderlichen Verbindungsträger zwischen Haupt- und Fangspiegel (Primär- und Sekundärspiegel) zwangsläufig mehr oder weniger starke Abschattungen. Bei Sendeteleskopen, wie beispielsweise
30 Strahlrichteinheiten für Hochenergie-Laser, verschärft sich dieses Problem in zweierlei Hinsicht:

- Die den Hauptspiegel abschattenden Strukturteile würden einen nicht zu vernachlässigenden Teil der ausgesendeten Energie absorbieren, was kurzzeitig zu thermischen Problemen in der Struktur des Teleskops aufgrund hoher Temperaturgradienten führt. Der reflektierte Anteil führt dabei zudem zu schädlichem Streulicht.
- Sehr hohe Richtgeschwindigkeiten und -beschleunigungen in Verbindung mit großen Richtwinkeln inklusive Überkopf-Schwenkbewegungen, wie beispielsweise bei der Zieleinweisung und -Verfolgung, setzen neben der erforderlichen statischen Steifigkeit zusätzliche strukturdynamische Eigenschaften voraus, die typischerweise im Widerspruch zur Erreichbarkeit minimaler Abschattungen stehen.

Stand der Technik:

- 15 Zur Überwindung dieser Probleme wäre eine direkte Fixierung des Fangspiegels (Sekundärspiegel) innerhalb einer an der Apertur (Eintritts- oder Austrittsapertur) des Teleskops vorgesehenen Glasscheibe denkbar. Da solch eine direkte Fixierung des Fangspiegels (Sekundärspiegels) aufgrund werkstoffbedingter und geometriebedingter Steifigkeitsgrenzen sowie aufgrund begrenzter Möglichkeiten einer räumlichen Feinjustage nur für kleine Teleskopaufbauten mit kleinen Aperturen in Frage käme, umgehen derzeitige bekannte Lösungen dieses Problem in der Regel dadurch, dass einzelne Strahlenbündel zwischen den Strukturteilen verlaufen, die somit Subaperturen bilden. Diese Strahlenbündel können anschließend außerhalb des Teleskopes geometrisch gekoppelt werden, wobei jedoch stets nur ein Teil der Hauptspiegelfläche nutzbar ist. Folglich sind derartige Teleskopstrukturen auch nicht für die Anbindung an einen Coudé-Strahlengang geeignet, da die entstehende Rollbewegung der Strahlenbündel auf den Spiegeln entsprechend der Summe der Richtwinkeländerungen aufgrund der gestellfesten Position dieser Subaperturen nicht möglich ist. Hierzu müsste die gesamte Teleskopstruktur synchron mitrotieren, was zu erheblichen Zusatzproblemen mit Blick auf erreichbare Richtdynamik (wegen der Zusatzträgheit um die Rollachse), Steifigkeiten (Verringerung der Steifigkeit durch zusätzliche Lager) und Genauigkeiten (wegen der zusätzliche Belastung durch

Kreiselmomente) führen würde. Darüber hinaus müssten sämtliche Daten- und Versorgungsleitungen über Drehdurchführungen oder sonstige Übertrager angebunden werden. Eine volle Ausnutzung der Hauptspiegelfläche wäre demnach nur durch eine Off-Axis-Anordnung beider Spiegel erreichbar, was zu erheblichem
5 Fertigungsaufwand der Spiegel und den damit verbundenen Machbarkeitsgrenzen führt.

Auch in anderen Anwendungsfällen kann es erforderlich sein, zwei Objekte relativ zueinander zu lagern und zueinander exakt, zum Beispiel coaxial, zu positionieren.
10

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine justierbare Lagerungsanordnung für ein relativ zu einer Basis präzise zu positionierendes Objekt, insbesondere für einen Sekundärspiegel eines optischen Spiegelteleskops, anzugeben, mit der bei geringem Aufwand eine hochgenaue Positionierung des
15 Objekts erzielbar ist.

Diese Aufgabe wird durch eine Lagerungsanordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

20 Diese erfindungsgemäße Lagerungsanordnung weist zumindest eine mit der Basis und dem Objekt verbundene Tragstruktur auf. Die Tragstruktur weist ihrerseits zumindest zwei nichtparallel zueinander verlaufende Streben auf, wobei jeder Strebe ein antreibbares Aktorelement derart zugeordnet ist, das das Aktorelement unter Antriebseinfluss die Strebe mit einer die Strebe quer zu ihrer Längserstreckung
25 auslenkenden Kraft beaufschlagt und wobei die Tragstruktur relativ zur Basis gelenkig gelagert ist.

Diese Konstruktion ermöglicht es, einzelne Streben durch Aufbringen einer Kraft auszulenken, beispielsweise unter Einwirkung eines dadurch entstehenden
30 Biegemoments geringfügig zu verbiegen, so dass – im ausgelenkten Zustand der Strebe – der direkte Abstand zwischen den beiden Enden der Strebe (Luftlinie) gegenüber deren Abstand bei gerader Erstreckung der Strebe geringfügig verkürzt

ist, woraus eine minimale Verlagerung des Objekts in Richtung auf diese Strebe hin resultiert. Diese sehr feinfühligte Verkürzung des wirksamen Luftlinien-Abstands zwischen den beiden Enden der Strebe wird dadurch erreicht, dass die Auslenkung der Strebe als eine Art Untersetzung für die Bewegung des Aktorelements genutzt wird, mit dem die Kraft auf die Strebe aufgebracht wird. Der Bewegungsweg des Aktorelements wird also untersetzt in eine Veränderung des Luftlinien-Abstands zwischen den beiden Enden der Strebe übertragen.

Vorzugsweise ist das Aktorelement von einem Stellantrieb antreibbar. Auf diese Weise kann der Bewegungsweg des Aktorelements und damit die Veränderung des Luftlinien-Abstands zwischen den beiden Enden der Strebe genau eingestellt werden. Dabei ist es von Vorteil, wenn das Aktorelement ein angetriebenes Element des Stellantriebs ist.

Besonders vorteilhaft ist es auch, wenn die Tragstruktur zumindest vier nichtparallel zueinander verlaufende Streben aufweist. Dadurch wird das Objekt im Raum noch besser positionierbar, da durch die erfindungsgemäße Möglichkeit der Veränderung des Luftlinien-Abstands zwischen den beiden Enden einer jeden Strebe auch die Neigung und die Rotationslage des Objekts einstellbar sind.

Bevorzugt weist die Lagerungsanordnung zumindest zwei, vorzugsweise zumindest drei, weiter vorzugsweise zumindest vier, mit der Basis und dem Objekt verbundene Tragstrukturen auf. Ist dabei jede der Tragstrukturen mit dem erfindungsgemäßen Verstellmechanismus zur Veränderung des Luftlinien-Abstands zwischen den beiden Enden einer jeden Strebe ausgestattet, so ergibt sich eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Position und die Lage des Objekts zu justieren.

Eine besonders wirksame Feinjustierbarkeit wird dadurch erreicht, dass die Streben jeweils einen ersten, basisnahen Endbereich und einen zweiten, objektnahen Endbereich aufweisen und dass das zugeordnete Aktorelement so angeordnet ist, dass es die Strebe unter Antriebseinfluss mit der auf die Strebe ausgeübten Kraft in einem der Endbereiche beaufschlagt. Dieses Aufbringen der Kraft nicht im

Mittelabschnitt einer Strebe, sondern in deren Endabschnitt, ermöglicht es, den Antrieb für die Verstellung des Aktorelements am Rand der Lagerungsanordnung zu platzieren, wodurch dieser, beispielsweise im Fall des Einsatzes in einem Teleskop, nicht zur Strahlenabschattung beiträgt.

5

Vorzugsweise weisen die Streben jeweils eine bandartige Gestalt auf. Derartige Streben besitzen eine erste Breitenerstreckung, die um ein Vielfaches größer ist als die zweite Breitenerstreckung in der zur ersten Breitenerstreckung orthogonalen Richtung. Dadurch ist die Strebe in Richtung quer zu der Ebene der ersten, längeren Breitenerstreckung leicht biegsam, während sie in der Ebene der ersten, längeren Breitenerstreckung sehr biegesteif ist. Das ermöglicht eine definierte Verbiegung der Strebe in einer vorbestimmten Richtung, nämlich in einer Ebene, die quer zur ersten, längeren Breitenerstreckung liegt. Außerdem ist der sichtbare, lichte Querschnitt der Strebe, in Richtung auf die zweite, kürzere Breitenerstreckung gesehen, sehr gering, so dass die Strebe für in dieser Richtung verlaufende Strahlen nur eine sehr geringe Abschattungsfläche bildet.

Besonders vorteilhaft ist es auch, wenn das jeder Strebe zugeordnete Aktorelement oder ein weiteres, vorzugsweise ebenfalls von einem Stellantrieb, antreibbares Aktorelement der Strebe derart zugeordnet ist, dass dieses Aktorelement unter Antriebseinfluss die Strebe mit einer ein Torsionsmoment auf die Strebe ausübenden Kraft beaufschlagt. Dadurch kann nicht nur die bereits beschriebene Auslenkung der Strebe in der sich quer, insbesondere rechtwinklig, zur ersten, längeren Breitenerstreckung erstreckenden Ebene durchgeführt werden, sondern die Strebe kann auch noch in sich tordiert werden, um beispielsweise den lichten Querschnitt der Strebe für in einer vorgegebenen Richtung verlaufende Strahlen zu minimieren. Ebenso kann durch Aufbringen gezielt unterschiedlicher Kräfte auf die jeweilige Strebe einer bezüglich der optischen Achse des Teleskops schräg stehenden Tragstruktur eine Torsion dieser Tragstruktur oder von deren Streben bewirkt werden, die ebenfalls dazu führt, den lichten Querschnitt der Streben für in einer vorgegebenen Richtung verlaufende Strahlen zu minimieren.

Diese Minimierung des lichten Querschnitts einer Tragstruktur durch Torsion der Streben ist besonders dann von Vorteil, wenn die erfindungsgemäße Lagerungsanordnung in einem Teleskop eines Laser-Wirksystems eingesetzt wird, denn dann kann durch eine solche Minimierung des lichten Querschnitts der
5 einzelnen Streben die Strebenfläche minimiert werden, auf die Laserstrahlung auftrifft, wodurch sowohl die Erwärmung der Streben als auch der Strahlungsverlust deutlich reduziert werden. Auch flache Einstrahlwinkel auf von den Oberflächen der einzelnen Streben gebildete Ebenen können so vermieden oder reduziert werden, die weitreichendes und somit besonders schädliches Streulicht zur Folge hätten (im
10 Gegensatz zu stumpfen Kanten oder abgerundeten Flächen, wo das Streulicht innerhalb kürzester Entfernungen divergiert).

Sind die Stellantriebe aller Aktorelemente mit einer gemeinsamen Steuerungseinrichtung zur Übertragung von Stellsignalen verbunden, so kann die auf
15 der Vielzahl von Verstellmöglichkeiten der einzelnen Streben beruhende Komplexität der Justierung von Position und Lage des Objekts zuverlässig beherrscht werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Lagerungsanordnung mit einer Mehrzahl von Tragstrukturen versehen, die eine Aufhängung eines zu einem
20 Hauptspiegel korrespondierenden Sekundärspiegels bilden, wobei die mit den Tragstrukturen verbundene Basis von einem Spiegelteleskopgehäuse gebildet ist, wobei das Objekt von einer Halterungseinrichtung des Sekundärspiegels gebildet ist und wobei der Sekundärspiegel mittels der Aktorelemente zu dem Hauptspiegel bezüglich dessen Spiegelteleskopachse coaxial einjustierbar ist. Besonders
25 vorteilhaft ist diese Ausführungsform der Erfindung wenn das Teleskop Teil eines Strahlung aussendenden Laser-Wirksystems ist. Die Erfindung kann aber auch an Strahlung empfangenden Teleskopen eingesetzt werden, wobei dann der Fangspiegel dem oben erwähnten Sekundärspiegel entspricht.

30 Vorteilhaft ist, wenn die bandartig ausgebildeten Streben der Tragstrukturen so angeordnet sind, dass ihre flächigen Seiten in einer im Wesentlichen parallel zur

Spiegelteleskopachse ausgerichteten Ebene verlaufen. Dabei ist die Abschattung durch die Streben für die durch das Teleskop hindurchtretenden Strahlen minimiert.

Diese Lagerungsanordnung nach der Erfindung schafft somit ein

5 „durchstrahlungsfähiges Strukturkonzept“, das die eingangs geschilderten Abschattungsprobleme derart minimiert, dass:

- entstehendes Streulicht durch Adaptierbarkeit der Struktur stets auf berechenbar unkritische Intensitäten begrenzt werden kann,
- 10 - thermische Einflüsse aufgrund von Absorption und von äußeren Umwelteinwirkungen konzeptionell beherrschbar werden sowie
- die strukturdynamischen Eigenschaften für sehr hohe Richtbeschleunigungen innerhalb beliebig großer Teleskopschwenkwinkel realisierbar werden.

15 Die Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert; in dieser zeigt:

Fig. 1 eine perspektivische, teilweise geschnittene Ansicht eines mit einer
20 erfindungsgemäßen Lagerungsanordnung für den Sekundärspiegel
ausgestattetes Teleskops;

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen
Lagerungsanordnung mit drei Tragstrukturen;

25 Fig. 3 eine alternative Lagerungsanordnung mit vier Tragstrukturen;

Fig. 4 eine andere alternative Lagerungsanordnung mit sechs Tragstrukturen;

Fig. 5 Kraftangriffspunkte der Aktorelemente an den Tragstrukturen am
30 Beispiel Variante aus Fig. 3;

Fig. 6 eine schematische Darstellung von zwei einander gegenüber
gelegenen Tragstrukturen einer erfindungsgemäßen
Lagerungsanordnung zur Erläuterung einer seitwärts gerichteten
Auslenkung des Objekts;

5

Fig. 7 eine schematische Darstellung von zwei einander gegenüber
gelegenen Tragstrukturen einer erfindungsgemäßen
Lagerungsanordnung zur Erläuterung einer Verkipfung des Objekts;

10 Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Steward-Plattform und

Fig. 9 eine schematische Darstellung einer kinematischen Kette einer
erfindungsgemäßen Lagerungsanordnung mit sechs Tragstrukturen.

15 In Fig. 1 ist ein Teleskop 1 in teilweise geschnittener perspektivischer Ansicht
gezeigt. Das Teleskop 1 weist ein zylindrisches Gehäuse 10 auf, an dessen einem
Ende ein ringförmiger, konkaver Primärspiegel 12, der auch als Hauptspiegel
bezeichnet wird, mit einer zentralen, ersten Apertur 14 auf einer gehäusefesten
Stützstruktur 11 angeordnet ist. Im Bereich des anderen Endes des Teleskops 1 ist
20 zentral ein auch als Fangspiegel bezeichneter Sekundärspiegel 16 vorgesehen, der
mittels einer erfindungsgemäßen Lagerungsanordnung 2 und eines Gestellrings 17
am zylindrischen Gehäuse 10 gelagert ist. Der Primärspiegel 12 und der
Sekundärspiegel 16 sind koaxial bezüglich der Längsachse X des zylindrischen
Gehäuses 10 ausgerichtet. Eine ringförmige zweite Apertur 18 umgibt den
25 Sekundärspiegel 16 und wird außen vom zylindrischen Gehäuse 10 begrenzt.

Die Lagerungsanordnung 2 weist mehrere gleich aufgebaute Tragstrukturen 20, in
Fig. 1 sechs Tragstrukturen, auf, die sich jeweils zwischen einer
Halterungseinrichtung 15 des Sekundärspiegels 16 und einer an dem mit dem
30 Gehäuse 10 verbundenen Gestellring 17 vorgesehenen Lagereinrichtung 19
erstrecken. Die erfindungsgemäße Lagerungsanordnung 2 bildet eine bezüglich des
Primärspiegels 12 am Gehäuse 10, also gestellfest, gelagerte mehrgliedrige

kinematische Struktur. Der Aufbau der Lagerungsanordnung 2 und insbesondere der Tragstrukturen 20 wird unter Bezugnahme auf Fig. 2 anhand eines vereinfachten Beispiels mit nur drei minimal erforderlichen Tragstrukturen 20, 20', 20" beschrieben.

- 5 Die drei Tragstrukturen 20, 20', 20" sind identisch aufgebaut, so dass nachstehend nur die Tragstruktur 20 im Detail beschrieben wird; diese Beschreibung trifft sinngemäß auch für alle andere Tragstrukturen zu. Ein inneres zylindrisches Halterungselement 13 bildet an seinem oberen Stirnende die Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16, die im gezeigten Beispiel nicht näher dargestellt ist.
- 10 Auch das Gehäuse 10 des Teleskops 1 und der Gestellring 17 mit der Lagereinrichtung 19 sind in Fig. 2 aus Gründen der Übersichtlichkeit nur abschnittsweise im Bereich der Tragstruktur 20" dargestellt.

- Das Gehäuse 10 bildet eine Basis für die Tragstrukturen 20, 20', 20" und das von
15 den Tragstrukturen 20, 20', 20" gehaltene Objekt ist im gezeigten Beispiel der an einer Halterungseinrichtung 15 angebrachte Sekundärspiegel 16. Die Tragstrukturen 20, 20', 20" sind jeweils mittels einer ein Gelenk aufweisenden Wiege 21 an der jeweils zugeordneten Lagereinrichtung 19 des mit dem Gehäuse 10 verbundenen Gestellrings 17 schwenkbar gelagert. Im Falle rechtwinklig zueinander angeordneter
20 Tragstrukturen kann das Gelenk der Wiege 21 zwar grundsätzlich als Schneidengelenk mit einem Freiheitsgrad ausgebildet sein, sofern auf die Möglichkeit einer Streulichtminimierung verzichtet werden kann. Zur Vermeidung dieser Einschränkungen ist es, wie auch in den Figuren gezeigt, vorzugsweise als Kugelgelenk 27 mit drei Freiheitsgraden ausgebildet.

25

- An der jeweiligen Wiege 21 sind vier Streben 22, 23, 24, 25 angebracht, die nicht parallel zueinander radial nach innen zu einer am zylindrischen Halterungselement 13 angebrachten Verankerungsstruktur 26 verlaufen. Die Streben 22, 23, 24, 25 sind beispielsweise aus einem X-förmigen Blechteil gebildet, das mit seinem
30 Mittelabschnitt 21' um einen ein Wiegenlager bildenden Lagerstift 21" der Wiege 21 herumgebogen und durch eine Öffnung im Wiegenkörper 21'" der Wiege 21 hindurchgeführt ist. Der Lagerstift 21" stützt sich an der radial äußeren Seite des

Wiegenkörpers 21''' ab. Jeder Lagerstift besitzt eine Längsachse x, x', x'' , die im nicht ausgelenkten Zustand der Tragstrukturen parallel zur Längsachse X des zylindrischen Gehäuses 10 verläuft. An der radial inneren Seite ist jede Wiege 21 mit einer kugelförmigen oder kugelsegmentförmigen konvexen Lagerfläche 27' des Kugelgelenks 27 versehen. Als Gegenlagerfläche ist eine kugelförmige oder kugelsegmentförmige konkave Lagerfläche 27'' an der Lagereinrichtung 19 vorgesehen, gegen die sich die konvexe Lagerfläche 27' abstützt. Im Falle gleicher Kugelradien liegt hier eine kugelgelenkige Lagerung vor. Alternativ wäre auch eine Spitzenlagerung möglich, jedoch mit reduzierten Tragfähigkeits- und Steifigkeitseigenschaften.

Die Verankerungsstruktur 26 weist zwei in Umfangsrichtung des zylindrischen Halterungselements 13 voneinander beabstandete und parallel zur Längsachse X' des zylindrischen Halterungselements 13 verlaufende Strukturbalken 26', 26'' auf. Die erste Strebe 22 und die zweite Strebe 23 sind am ersten Strukturbalken 26' in Richtung der Achse X' voneinander beabstandet mit dem ersten Strukturbalken 26' verbunden. Die dritte Strebe 24 und die vierte Strebe 25 sind, ebenfalls in Richtung der Längsachse X' des zylindrischen Halterungselements 13 voneinander beabstandet mit dem zweiten Strukturbalken 26'' verbunden. Auf diese Weise bilden die vier Streben 22, 23, 24, 25, die strahlenförmig in unterschiedliche Richtungen von der Wiege 21 ausgehen, ein räumliches Strukturgebilde, das zusammen mit den am zylindrischen Halterungselement 13 angebrachten Strukturbalken 26', 26'' und der Wiege 21 die Tragstruktur 20 definiert. Dabei sind die Streben 22, 23, 24, 25 an der Verankerungsstruktur 26 geklemmt gehalten, wozu die Strukturbalken 26', 26'' Klemmeinrichtungen aufweisen. Die Strukturbalken mit den Klemmeinrichtungen bildet die Verankerungsstruktur 26.

Wie in Fig. 2 zu erkennen ist, sind die einzelnen Streben 22, 23, 24, 25 von bandartiger Gestalt, das heißt, dass ihre Breitenerstreckung in einer Ebene parallel zur Längsachse X' des zylindrischen Halterungselements 13 größer ist als in einer Richtung, die parallel zu einer Tangente an das zylindrische Halterungselement 13 im Bereich des zugeordneten Strukturbalkens 26', 26'' verläuft.

Jeder der Streben 22, 23, 24, 25 ist ein Aktorelement 22', 23', 24', 25' zugeordnet, die in Fig. 2 aus Gründen der Übersichtlichkeit an der Tragstruktur 20' gezeigt sind.

Jedes der Aktorelemente 22', 23', 24', 25' ist von einem jeweils zugeordneten

- 5 Stellantrieb 22", 23", 24", 25" derart antreibbar, dass das Aktorelement 22', 23', 24', 25' eine Kraft auf die seitliche Fläche einer zugeordneten Strebe 22, 23, 24, 25 ausüben kann. Durch Ausüben einer solchen Kraft auf die Strebe kann diese Strebe seitlich ausgelenkt werden, beispielsweise mit einem Biegemoment beaufschlagt werden, und sich so aus der parallel zur Längsachse X' des zylindrischen
- 10 Halterungselements 13 verlaufenden Ebene, in der sich die Strebe in ihrer Strecklage erstreckt, ausbiegen. Der Luftlinien-Abstand zwischen dem an der Wiege 21 angebrachten Ende der Strebe und dem am zugeordneten Strukturbalken 26', 26" angebrachten Ende der Strebe verkürzt sich dadurch, wodurch der entsprechende Anlenkungspunkt der Strebe am zugeordneten Strukturbalken und damit am
- 15 zylindrischen Halterungselement 13 geringfügig radial nach außen gezogen wird.

Die einzelnen Tragstrukturen 20, 20', 20" weisen somit mehrere sehr dünne Strebenbänder auf, die innerhalb von mindestens drei durch die Tragstrukturen gebildeten Führungsketten so angeordnet sind, dass ihre kinematischen

- 20 Abmessungen mittels einer Anzahl von mehr als sechs Stellantrieben einerseits eine Justage seiner abtriebsseitigen Plattform (Halterungseinrichtung 15) mit angebundenem Sekundärspiegel 16 in allen sechs Freiheitsgraden ermöglicht (entsprechend einer Parallelkinematik mit dem Freiheitsgrad $F = 6$, „Hexapod“) und andererseits, dass in Kombination mit der Anzahl von Stellantrieben, die über den
- 25 sechsten Stellantrieb hinaus geht, ebenfalls Vorspannung und Torsion jeder einzelnen Führungskette aufgrund implementierter sogenannter „identischer Freiheitsgrade“ einstellbar werden. Hierbei ist jeder Strebe ein Stellantrieb zugeordnet, der sich gemeinsam mit den übrigen Stellantrieben der jeweiligen Führungskette (Tragstruktur) mittels der kugelig gelagerten Wiege 21 an einer am
- 30 rotationssymmetrischen gehäusefesten Gestellring 17 vorgesehenen Lagereinrichtung 19 abstützt. Daraus resultiert bereits eine entscheidende Voraussetzung für eine steuerbare Streulichtminimierung.

Fig. 3 zeigt eine erfindungsgemäße Lagerungsanordnung mit vier Tragstrukturen 20a, 20b, 20c, 20d und Fig. 4 eine mit sechs Tragstrukturen 20A, 20B, 20C, 20D, 20E, 20F, die jeweils in Umfangsrichtung in gleichbleibenden Abständen zueinander
5 am zylindrischen Halterungselement 13 angebracht und an dem mit dem Gehäuse 10 verbundenen, gehäusefesten Gestellring 17 gelagert sind. Im Aufbau entsprechen die dort gezeigten Tragstrukturen denen aus Fig. 2.

Der hier auf diese Weise gebildete Verstellmechanismus für die Lage und Position
10 der Längsachse X' des Halterungselements 13 und folglich für die Lage und Position der optischen Achse des mit dem Halterungselement 13 mittels der Halterungseinrichtung 15 verbundenen Sekundärspiegels 16 wird nachstehend im Detail erläutert.

15 Das im Weiteren unter Bezugnahme auf Fig. 5 bis Fig. 7 beschriebene Justagekonzept beruht auf der oben beschriebenen seitlichen Biegeauslenkung einzelner bandartiger Streben mittels der von einem zugeordneten Stellantrieb bewegbar angetriebenen Aktorelemente, ausgehend von einer vorgespannten Ausgangslage der jeweils zugeordneten Strebe nahe ihrer Strecklage (Singularität
20 erster Ordnung). Aufgrund der dadurch erzielbaren anfangs extrem hohen Stellübersetzungen wird eine sehr hohe Feinfühligkeit der Justage erreicht, die besonders fehlertolerant bezüglich Regelabweichungen der Stellantriebe ist und die zugleich geringe Rückstellkräfte auf die Stellantriebe bewirkt.

25 Die einzelnen Streben können zum Beispiel aus sehr dünnen, längssteifen Blechen mit hinreichender Biegeelastizität in Querrichtung gebildet werden. Alternativ kommen auch Anordnungen einzelner Fäden, Drähte, Gewebe oder auch Verbundwerkstoffe als Streben in Frage, die in ihrer Ausgangsstellung jeweils eine dünne, ebene Struktur bilden. Dabei können Teile der Tragstrukturen, aus denen die
30 beschriebene kinematische Struktur besteht, aus Integralstrukturen zusammengefassten Strebenelementen bestehen, wobei die Integralstrukturen die einzelnen Streben bilden.

Durch einen nachfolgend anhand der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform unter Bezugnahme auf Fig. 5 beschriebenen, realisierten kinematischen Zwanglauf der Führungsketten bildenden Tragstrukturen 20a, 20b, 20c, 20d zueinander wird eine

5 Hochkant-Anordnung der bandartigen Streben in Richtung der Längsachse X ermöglicht, die durch das Flächenträgheitsmoment zugleich die Steifigkeit der Sekundärspiegelanbindung bezüglich der Nick- und der Gierachse deutlich vergrößert. Die in Fig. 5 nicht gezeigte Nickachse und die dort ebenfalls nicht

10 gezeigte Gierachse sind orthogonal zueinander ausgerichtet und verlaufen zudem jeweils orthogonal zur Längsachse X des Teleskops, welche eine Rollachse bildet. Die Stellantriebe für die auf die jeweiligen Streben eine Biegekraft ausübenden Aktorelemente, auf die in der nachstehenden Funktionsbeschreibung Bezug

15 genommen wird, sind in Fig. 5 bezeichnet.

Die durch die Stellantriebe verursachten Auslenkungen an drei Biegestellen je Strebe erfolgen stets in deren Querrichtung. Erfolgt nämlich eine Biegung der Strebe am Angriffspunkt des Aktors, muss die dadurch vorgespannte Strebe ebenfalls zwei

20 Biegestellen an Ihren Einspannungen aufweisen; das entspricht der Aufspannung eines Dreiecks bei einer ebenen Strebe einer noch nicht ausgelenkten Tragstruktur.

In Fig. 2 lägen diese weiteren Biegestellen an der Verankerungsstruktur 26 sowie an der Umschlingung des Lagerstifts 21' durch den Mittelabschnitt 21' des X-förmigen Strebenblechs.

Die Biegestellen stellen somit eindimensionale Festkörperdrehgelenke dar, wobei die

25 Drehachsen dieser Festkörperdrehgelenke an den Angriffspunkten der Stellantriebe geometrisch bedingt jedoch per Zwanglauf räumlich wandern. Die in diesem Ausführungsbeispiel dargestellten Stellantriebe sind deshalb kugelgelenkig an die jeweils zugeordnete Strebe angebunden. Anordnungen von Drehschubgelenken sind an diesen Stellen ebenfalls möglich.

30

Die Justage von Nick- und Gierwinkel der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 (Pfeil P_1 in Fig. 6) wird nachfolgend am Beispiel einer

spinnenartigen Anordnung mit vier Führungsketten bildenden Tragstrukturen gemäß Fig. 5 anhand der schematischen Darstellung in Fig. 6 aufgezeigt. Nick- und Gierwinkel sind die Winkel einer Schwenkbewegung des Teleskops um die Nickachse Y' beziehungsweise um die Gierachse Z' .

5

Werden die Stellantriebe 111a und 112a der beiden Streben 22a und 25a der Tragstruktur 20a und die Stellantriebe 113c und 114c der beiden Streben 23c und 24c der Tragstruktur 20c in Pfeilrichtung zugestellt, üben also eine Kraft auf die jeweilige Strebe aus, und werden zugleich die Stellelemente der spiegelsymmetrisch angeordneten Stellantriebe 113a und 114a der beiden Streben 23a und 24a der Tragstruktur 20a sowie 111c und 112c der beiden Streben 22c und 25c der Tragstruktur 20c gegen die Pfeilrichtung entspannt, resultiert eine Veränderung der kinematischen Längen der korrespondierenden Streben, so wie dies die vereinfachte Abwicklung in die Ebene gemäß Fig. 6 verdeutlicht.

10

Die Verformung der realen Geometrie der Streben in Querrichtung gemäß Fig. 5 setzt hingegen die beiden folgenden kinematischen Zwangsläufe voraus:

1. eine räumliche Verlagerung des Drehpols an der Angriffsstelle, das heißt die bandartigen Streben werden beidseitig der Angriffsstelle des Aktorelements der Stellantriebe tordiert, weshalb die Stellantriebe oder die Aktorelemente auch kugelgelenkig an die jeweilige Strebe angebunden sein müssen, wenn sie die Strebe nicht nur unter Berührung beaufschlagen, sondern mit dieser gekoppelt sind;

20

2. einen kinematischen Ausgleich der Gangpolverschiebung V gemäß Fig. 6 bezüglich der Auflagepunkte A , was sich ausgehend vom bekannten Prinzip eines Roberts-Lenkers erfindungsgemäß realisieren lässt, indem sein Funktionsprinzip in ein räumliches Getriebe überführt wird, wobei der Abtriebspunkt des Roberts-Lenkers R hierbei gestellfest kugelig gelagert wird und darüber hinaus seine kinematischen Abmessungen derart zu bemessen sind, dass inklusive justagebedingter Veränderung der Strebenlängen seine

25

30

Auslenkung am Punkt A in (in Fig. 6) vertikaler Richtung genau dem Betrag der Gangpolverschiebung V entspricht.

- Analog zum Dreieck des ebenen Roberts-Lenkers R resultiert beim räumlichen
- 5 Getriebe eine Pyramide, deren Spitze kugelig an der Lagereinrichtung 19 am Gestellring 17 gelagert ist, und an deren weiteren (Basis-)Ecken jeweils die Stellantriebe 111 bis 114 kugelgelenkig angreifen. Sind die zuvor genannten Zwangsbedingungen erfüllt, so korrespondieren alle jeweils gegenüberliegenden, Führungsketten bildenden Tragstrukturen 20a, 20c beziehungsweise 20b, 20d der
- 10 spinnenartigen Lagerungsanordnung zwangsläufig um denselben Justage-Drehpol der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 aufgrund ihrer rotationssymmetrischen Anordnung. Die Wiegen 21 neigen sich hierbei gegensinnig zum Verstellwinkel der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16.
- 15 Anhand der Lagerungsanordnung mit vier Tragstrukturen wird deutlich, dass die beiden zur Justage-Winkelverstellung orthogonal zueinander angeordneten Tragstrukturen eine Drehbewegung um den Auflagepunkt 19' der jeweiligen Wiege 21 um ihre Symmetrieachse durchführen müssen, um eine Torsion dieser Streben zu vermeiden. Aus dem beschriebenen Freiheitsgrad jeder einzelnen Tragstruktur mit
- 20 kugelgelenkiger Anbindung an den Gestellring 17 resultiert auch die Möglichkeit, Lagerungsanordnungen mit einer theoretisch beliebigen Anzahl von Tragstrukturen vorzusehen, wie beispielsweise sechs Tragstrukturen gemäß Fig. 4, wobei sich gleichzeitige Einstellbewegungen um die Nickachse und um die Gierachse beliebig überlagern lassen. In Analogie werden auch Toleranzen und eventuell resultierende
- 25 Asymmetrien nach abgeschlossener Justage der Lagerungsanordnung durch die sich individuell einstellenden Nick- und Gierbewegungen der Wiegen selbsttätig ausgeglichen.

- Die horizontale und vertikale Justage der Halterungseinrichtung 15 für den
- 30 Sekundärspiegel 16 erfolgt am Beispiel der in Fig. 5 gezeigten Lagerungsanordnung mit vier Tragstrukturen gemäß der schematischen Darstellung in Fig. 7 in ähnlicher Weise.

- Für eine seitliche Parallelverschiebung der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 nach rechts (Pfeil P_2) werden die vier Stellantriebe 111a bis 114a der Streben 22a, 23a, 24a, 25a der in Fig. 7 rechten Tragstruktur 20a in Pfeilrichtung synchron zugestellt, wobei eine auf die jeweilige Strebe einwirkende Auslenkung (Biegekraft) erhöht wird, während die Stellantriebe 111c bis 114c der Streben 22c, 23c, 24c, 25c der gegenüberliegenden, korrespondierenden Tragstruktur 20c gegensinnig zeitsynchron entspannt werden.
- 10 An den orthogonal dazu liegenden Tragstrukturen 20b, 20d wird diese Bewegung durch entsprechende Rollbewegungen der zugehörigen Wiegen (um eine Achse des Kugelgelenks) selbsttätig ausgeglichen. Hierbei wird deutlich, dass die Rollbewegung jeder Wiege durch seitlichen Offset der zugehörigen Stellantriebe (Zustellen von 111b und 113b sowie Entspannen von 112b und 114b sowie spiegelsymmetrisch an der gegenüberliegenden Tragstruktur) beliebig verändert und somit auch wieder ausgeglichen werden könnte. Im Umkehrschluss folgt daraus, dass bei rundum gleichsinnig orientierter, seitlicher Offset-Verstellung der Stellantriebe an den Wiegen aller Tragstrukturen (beliebiger Anzahl) eine Justage der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 um ihre Rollachse ermöglicht wird. Dieser Freiheitsgrad ist für die Feinjustage von Off-Axis-Optiken relevant.
- 15
- 20

- Die Justage des Fokusabstandes durch koaxiale Verschiebung der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 bezüglich des Primärspiegels 12 entlang der Längsachse X (in Fig. 5 nach oben) wird durch Zustellung (Biegekrafterhöhung) aller Stellantriebe an der oberen Seite der spinnenartigen Lagerungsanordnung, nämlich an den Stellantrieben 111 und 112, und durch entsprechende Entspannung (Biegekraftreduzierung) aller übrigen Stellantriebe 113 und 114 an der unteren Seite der Lagerungsanordnung ermöglicht. Eine entsprechend umgekehrte Betätigung der Stellantriebe führt zu einer koaxialen Verschiebung der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 in entgegengesetzter Richtung.
- 25
- 30

Das beschriebene spinnenartige Lagerungskonzept ermöglicht eine feinfühligke, spiel- und hysteresefreie und zugleich sehr robuste und langzeitstabile Feinjustierbarkeit der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 hinsichtlich aller sechs Freiheitsgrade, die auch jederzeit überprüft und nachkalibriert werden kann.

5

Eine Streulichtminimierung setzt zusätzlich voraus, dass darüber hinaus auch alle bandartigen Streben über ihre gesamte Länge parallel zu den ein- oder austretenden Lichtbündeln des Teleskops justierbar sind, was im Unterschied zur reinen Parallelkinematik eines Hexapoden einen größeren antriebsseitigen Freiheitsgrad bedingt (=> hybride Parallelkinematik). Im Falle teleskopintern steuerbarer Ablenkbarkeit der austretenden Lichtbündel, wie beispielsweise durch einen bezüglich seiner Halterungseinrichtung 15 kardanisch gelagerten Sekundärspiegel 16 oder durch andere vorgeschaltete optische Komponenten, muss die Strebenausrichtung winkel- und phasensynchron mit der Bandbreite der geregelten Strahlablenkung erfolgen können, ohne dass sich dabei der beabsichtigte Justagezustand der Lagerungsanordnung ändert.

10

15

Erfindungsgemäß lässt sich eine optimierte Strebenausrichtung zur Realisierung minimaler Abschattungsflächen wie folgt realisieren:

20

Nach korrekter Einstellung der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 koaxial zur optischen Achse des Primärspiegels 12 sind die radial inneren Anbindungen der Streben am zylindrischen Halterungselement 13 bereits parallel zu der mit der Längsachse übereinstimmenden optischen Achse des Primärspiegels 12 ausgerichtet. Zur Streulichtminimierung am Teleskop mit feststehendem Sekundärspiegel 16 müssen die radial äußeren, am Gestellring 17 gelagerten Anbindungen der zusammengefassten Streben über die Wiegen 21 mittels der vier jeweils zugehörigen Stellantriebe exakt auf den einjustierten Winkel der radial inneren Anbindungen der Streben tordiert werden. Dies wird erfindungsgemäß durch gezielte Steuerung der eingangs erwähnten „identischen Freiheitsgrade“ mittels derselben Stellantriebe erreicht, die auch zur Realisierung der Justagefreiheitsgrade benötigt werden. Für die in Fig. 5 rechte Tragstruktur 20a erfolgt dies zum Beispiel

25

30

durch gleichsinniges Zustellen der Stellantriebe 111a und 114a sowie durch Entspannen der Stellantriebe 112a und 113a oder umgekehrt, ebenso wie für alle weiteren Tragstrukturen synchron in Analogie. Maßgeblich hierfür ist die jeweilige Raumwinkelstellung der Streben am Angriffspunkt der kugelgelenkig angreifenden Aktorelemente, wie es bereits anhand der Nickwinkeleinstellung zuvor beschrieben worden ist. Die hierdurch wieder herstellbare Ebenheit der bandartigen Streben realisiert eine minimale Projektionsfläche zu den Lichtbündelachsen über die gesamte Strebenlänge unabhängig vom jeweiligen Justagezustand, wodurch kritische Reflektionen an den Längsseiten der Streben vollständig vermieden werden können.

Mit zunehmender Vergrößerung aller erforderlichen Justierwege hierzu würde die Strebenvorspannung geringfügig ansteigen, wobei auch diese durch synchrone Zustellung oder Entspannung aller Stellantriebe jeweils gegenüberliegender Tragstrukturen anpassbar ist beziehungsweise durch Kollektivverstellung aller Stellantriebe der Vorspannungszustand der gesamten Lagerungsanordnung steuerbar ist. Bei Teleskopen mit interner Strahlablenkung können die Torsionswinkel der Streben mit gleicher Methode derart überkompensiert werden, dass die Streben im Bereich maximaler Intensität der teleskopintern abgelenkten Strahlenbündel genau parallel zu diesen verlaufen, und dass zugleich die Abweichungen dort am größten sind, wo die Strahlungsintensität am geringsten ist. Bei mittiger Durchstrahlung der Streben entspräche der einzustellende Torsionswinkel an der Wiege beispielsweise genau dem doppelten Neigungswinkel des Lichtbündels quer zu dieser Strebe. Aufgrund der relativ geringen Massenträgheit der Wiegen 21 lassen sich durch die Stellantriebe in Verbindung mit optimal angepasster Übersetzung bei ausreichender Strebenvorspannung große Bandbreiten der Verstellung ermöglichen.

Eine radiale Mindestvorspannung der Streben ist für die Justierbarkeit und für den stabilen Einsatz der gezeigten Lagerungsanordnung unerlässlich, wobei sich eine weitere Erhöhung dieser Vorspannung innerhalb der Belastungsgrenzen der Streben sowohl bezüglich der Robustheit gegenüber äußeren Einflüssen (thermischer

Ausdehnung, Vibration, etc.) als auch hinsichtlich erreichbarer Bandbreite mit den Stellantrieben sowie äußerer Anregungen durch vorgelagerte Stellsysteme (Querbeschleunigung bei Teleskopschwenk, etc.) zunehmend positiv auswirkt. Der nach allen Einstellwegen jeweils erreichte Vorspannungszustand der

- 5 Lagerungsanordnung ist vorteilhaft durch Klangspektrumsanalyse der einzeln angeregten Streben quantitativ nachweisbar.

Ein möglicher Teleskopaufbau, der die zuvor beschriebene hybride Parallelkinematik der Lagerungsanordnung mit dem Freiheitsgrad $F = 6$ als „Spinne“ mit redundanten

10 Stellantrieben zur Realisierung von sechs steuerbaren identischen Freiheitsgraden beinhaltet, lässt sich auch anhand der dem Fachmann bekannten Grübler'schen Formel zur Bestimmung des Laufgrades räumlicher Mechanismen analysieren.

Zur besseren Anschaulichkeit kann dies vergleichsweise zu einer in Fig. 8

15 schematisch gezeigten sogenannten Steward-Plattform abgeleitet werden, die speziell hierfür mit zwölf Kugelgelenken angenommen wird, so dass sechs „identische“ bzw. „nichteinschränkende“ Freiheiten (Rotationsmöglichkeit der Stellantriebe um ihre Längsachsen) entstehen. Eine Aufstellung der kinematischen Kette gemäß Fig. 9 zur erfindungsgemäßen Realisierbarkeit aller zuvor

- 20 beschriebenen Justagemöglichkeiten einer Spinne mit sechs Führungsketten (Tragstrukturen), sechs Kugelgelenken, sechzig eindimensionalen Festkörper-Drehgelenken (Strebenbiegung), sechsundfünfzig Gliedern und sechs „identischen Freiheiten“ an den Wiegen kommt hiernach zum gleichen Ergebnis, wobei die „identischen Freiheiten“ durch die redundante Anzahl von Stellantrieben je
- 25 Tragstruktur gezielt steuerbar sind.

Die Erfindung betrifft somit eine als Teleskopspinne gestaltete Lagerungsanordnung, basierend auf einer hybriden Parallelkinematik, zur feinfühligen, spiel- und hysteresefreien Feinjustierbarkeit der Sekundärspiegelaufnahmen in optischen

30 Spiegelteleskopen in allen sechs Freiheiten, deren an der Fangspiegelaufnahme fixierte Führungsketten (Tragstrukturen) jeweils vier, zu ihrer Dicke relativ breite bandartige Streben beinhalten, denen jeweils genau ein Stellantrieb zugeordnet ist,

der sich gemeinsam mit den übrigen Streben derselben Führungskette gegenüber der am Lagerelement des Teleskop-Gestellrings kugelig gelagerten Wiege abstützt.

Das Prinzip dieser Teleskopspinne eignet sich ebenso zur Justage von Off-Axis-
5 Optiken, wobei auch beliebige Anordnungen der kinematischen Struktur außerhalb von Teleskopaperturen denkbar sind.

Die Durchstrahlungsfähigkeit der spinnenartigen Lagerungsanordnung beruht
zwecks Vermeidung oder Reduktion der Streustrahlung auf besonders dünnen
10 bandartigen Streben, deren Orientierung mit jeder Tragstruktur unabhängig vom Justagezustand der Teleskopspinne einzeln steuerbar ist. Dadurch wird eine Minimierung der Projektionsflächen als direkter Abgleich gegenüber dem erreichten Justagezustand der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 (als nötige Randbedingung hierfür) möglich.

15 Das beschriebene Steuerungsverfahren zur Ausrichtung der bandartigen Streben eignet sich auch für Teleskope mit integrierter optronischer Strahlablenkung hoher Bandbreite wie zuvor beschrieben, wobei die hierfür erforderlichen Randbedingungen direkt aus der Kommandierung des optronischen Stellsystems
20 und der resultierenden Auslenkung der Lichtbündel abgeleitet, transformiert und phasensynchron der Kommandierung der Stellantriebe der Wiegen überlagert werden können (entsprechend der gewählten Zielgrößen zur Streulichtminimierung).

Die Steuerung der Streulichtminimierung erfolgt durch dieselben Stellantriebe wie zur
25 Justage der Sekundärspiegelaufhängung (Halterungseinrichtung 15), wobei die hierfür realisierten Stellbewegungen je Tragstruktur gezielt die „identischen Freiheiten“ der Kinematik nutzen. Hierdurch wird eine Unabhängigkeit zwischen dem Justagezustand der Halterungseinrichtung 15 und dem Orientierungszustand der Streben erreicht.

30 Aufgrund der radialsymmetrischen Vorspannung aller Streben bei zugleich vorteilhafter Anpassbarkeit ihrer thermischen Ausdehnungskoeffizienten entsteht im

Zusammenhang mit der geometrischen Ähnlichkeit der Tragstrukturen in radialsymmetrischer und axialsymmetrischer Anordnung ein mechanisch und thermisch robustes Design mit hoher Langzeitstabilität. Durch den großen realisierbaren Bereich möglicher Vorspannungen wird die Lagerungsanordnung auch
5 dynamisch bezüglich an der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 aufzunehmenden Komponenten adaptierbar.

Ein sehr günstiges Masse-Steifigkeitsverhältnis wird durch kinematisch verwölbungsfrei gleichmäßig vorgespannte bandförmige Streben hochkant zur
10 Richtbewegung durch einen kinematisch exakt ausführbaren Zwanglauf aufgrund einer Kompensation der Gangpolverschiebungen realisiert. Die hierdurch erreichbare dynamische Steifigkeit und die resultierenden hohen Eigenfrequenzen der gesamten Sekundärspiegelaufnahme einschließlich der erfindungsgemäßen Lagerungsanordnung ermöglichen extrem hohe Richtbeschleunigungen des
15 Teleskops bei gleichzeitiger Einhaltung hoher optischer Qualität. Durch diese dynamische Robustheit werden ebenso hohe Bandbreiten der Stellantriebe zur Justage wie auch für die an der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 fixierten Stellsysteme ermöglicht.

20 Die als Teleskopspinne gestaltete Lagerungsanordnung kann theoretisch eine beliebige Anzahl von Tragstrukturen (mindestens jedoch zwei) aufweisen, wobei sie mit größer steigender Anzahl zunehmend isotrope Steifigkeitseigenschaften erhält. Hieraus entsteht über die Realisierbarkeit höchster Richtbeschleunigungen hinaus auch die Möglichkeit beliebiger Teleskopschwenkwinkel zur kompletten sphärischen
25 Abdeckung (Überschlagfähigkeit im Schwerfeld der Erde) bei gleichzeitiger Einhaltung hoher optischer Qualität.

Sowohl die Justage der Lagerungsanordnung als auch die Streulichtminimierung können entweder, beispielsweise mittels einer Regelungseinrichtung, kontinuierlich
30 geregelt und/oder, beispielsweise mittels einer Steuerungseinrichtung, in Zeitabständen gesteuert kalibriert werden.

Sofern die Stellantriebe abtriebsseitig selbsthemmende Eigenschaften aufweisen, können Feststellbremsen ggf. entfallen (sicherer Zustand nach Außerbetriebsetzung für Transport, ebenso wie in Havariefällen).

- 5 Sofern an der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 eine Sensorik zur Justage des Teleskopaufbaues integriert ist, kann mit dieser Lagerungsanordnung jederzeit eine Auto-Kalibration durchgeführt werden.

- 10 Der jeweils erreichte Spannungszustand der einzelnen Streben kann jederzeit durch Klangspektrumsanalyse kontrolliert und überwacht werden. Die nötige Anregung hierfür könnte durch einen Impuls des jeder Strebe zugeordneten Stellantriebes erfolgen.

- 15 Die an den Wiegen vorgesehenen Stellantriebe für die Aktorelemente sind vorteilhaft nahe am Gestellring 17 angeordnet, an dem die Tragstrukturen angebracht sind, so dass deren elektrische Anbindung außerhalb der ringförmigen optischen Apertur 18 möglich ist.

- 20 Die einzelnen Streben sind vorteilhaft elektrisch leitfähig ausgeführt, womit einerseits ein elektrischer Potenzialausgleich zur Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 erfolgen kann und andererseits bezüglich dieses Potenzials über die übrigen Streben auch eine Energiezufuhr zu in der Halterungseinrichtung 15 für den Sekundärspiegel 16 installierten Stellsystemen für den Sekundärspiegel realisierbar ist.

- 25 Bezugszeichen in den Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen dienen lediglich dem besseren Verständnis der Erfindung und sollen den Schutzzumfang nicht einschränken.

Bezugszeichenliste

Es bezeichnen:

5	1	Teleskop
	2	Lagerungsanordnung
	10	zylindrisches Gehäuse
	11	Stützstruktur
	12	ringförmiger, konkaver Primärspiegel
10	13	zylindrisches Halterungselement
	14	erste Apertur
	15	Halterungseinrichtung
	16	Sekundärspiegel
	17	Gestellring
15	18	zweite Apertur
	19	Lagereinrichtung
	19'	Auflagepunkt
	20	Tragstruktur
	20'	Tragstruktur
20	20"	Tragstruktur
	20a	Tragstruktur
	20A	Tragstruktur
	20b	Tragstruktur
	20B	Tragstruktur
25	20c	Tragstruktur
	20C	Tragstruktur
	20d	Tragstruktur
	20D	Tragstruktur
	20E	Tragstruktur
30	20F	Tragstruktur
	21	Wiege
	21'	Mittelabschnitt

	21"	Lagerstift
	21'''	Wiegenkörper
	22	Strebe
	22'	Aktorelement
5	22"	Stellantrieb
	22a	Strebe
	22c	Strebe
	23	Strebe
	23'	Aktorelement
10	23"	Stellantrieb
	23a	Strebe
	24	Strebe
	24'	Aktorelement
	24"	Stellantrieb
15	24a	Strebe
	25	Strebe
	25'	Aktorelement
	25"	Stellantrieb
	25a	Strebe
20	25c	Strebe
	26	Verankerungsstruktur
	26'	Strukturbalken
	26"	Strukturbalken
	27	Kugelgelenk
25	111	Stellantrieb
	111a	Stellantrieb
	111b	Stellantrieb
	111c	Tragstruktur
	112	Stellantrieb
30	112a	Stellantrieb
	112b	Stellantrieb
	112c	Tragstruktur

- 113 Stellantrieb
- 113b Stellantrieb
- 113c Stellantrieb
- 114 Stellantrieb
- 5 114b Stellantrieb
- 114c Stellantrieb

- A Auflagepunkt
- R Dreieck des Roberts-Lenkers (schematisch)
- 10 V Gangpolverschiebung
- X (Längsachse) Spiegelteleskopachse
- X' Längsachse
- x Achse
- x' Achse
- 15 x'' Achse
- Y' Nickachse
- Z' Gierachse

Patentansprüche

1. Justierbare Lagerungsanordnung für ein relativ zu einer Basis (10) präzise zu positionierendes Objekt (15, 16), insbesondere für einen Sekundärspiegel eines optischen Spiegelteleskops;
- 5
- wobei die Lagerungsanordnung zumindest eine mit der Basis (10) und dem Objekt (15, 16) verbundene Tragstruktur (20) aufweist;
 - wobei die Tragstruktur (20) zumindest zwei nichtparallel zueinander verlaufende Streben (22, 23, 24, 25) aufweist;
 - 10
 - wobei jeder Strebe (22, 23, 24, 25) ein antreibbares Aktorelement (22', 23', 24', 25') derart zugeordnet ist, dass das Aktorelement (22', 23', 24', 25') die Strebe (22, 23, 24, 25) mit einer die Strebe (22, 23, 24, 25) quer zu ihrer Längserstreckung auslenkenden Kraft beaufschlagt,
 - 15
 - wobei die Tragstruktur (20) relativ zur Basis (10) gelenkig gelagert ist.
2. Justierbare Lagerungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Aktorelement (22', 23', 24', 25') von einem Stellantrieb (22'', 23'', 24'', 25'')
- 20
- 25'') antreibbar ist, insbesondere ein angetriebenes Element des Stellantriebs (22'', 23'', 24'', 25'') ist.
3. Justierbare Lagerungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Tragstruktur (20) zumindest vier nichtparallel zueinander verlaufende Streben (22, 23, 24, 25) aufweist.
- 25
4. Justierbare Lagerungsanordnung nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lagerungsanordnung zumindest zwei, vorzugsweise zumindest drei, weiter vorzugsweise zumindest vier, mit der Basis (10) und dem Objekt (15, 16) verbundene Tragstrukturen (20a, 20b, 20c, 20d) aufweist.
- 30

5. Justierbare Lagerungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

- 5 - dass die Streben (22, 23, 24, 25) jeweils einen ersten, basisnahen Endbereich und einen zweiten, objektnahen Endbereich aufweisen und
- dass das zugeordnete Aktorelement (22', 23', 24', 25') so angeordnet ist, dass es die Strebe (22, 23, 24, 25) unter Antriebseinfluss mit der auf die Strebe (22, 23, 24, 25) ausgeübten Kraft in einem der Endbereiche
- 10 beaufschlagt.

6. Justierbare Lagerungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**
- dass die Streben (22, 23, 24, 25) jeweils eine bandartige Gestalt aufweisen.

15

7. Justierbare Lagerungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**
- dass das jeder Strebe (22, 23, 24, 25) zugeordnete Aktorelement (22', 23', 24', 25') oder ein weiteres antreibbares Aktorelement der Strebe (22, 23, 24, 25)
- 20 derart zugeordnet ist, dass dieses Aktorelement (22', 23', 24', 25') unter Antriebseinfluss die Strebe (22, 23, 24, 25) mit einer ein Torsionsmoment auf die Strebe (22, 23, 24, 25) ausübenden Kraft beaufschlagt.

8. Justierbare Lagerungsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet,**
- 25 dass die Stellantriebe (22'', 23'', 24'', 25'') aller Aktorelemente (22', 23', 24', 25') mit einer gemeinsamen Steuerungs- oder Regelungseinrichtung zur Übertragung von Stellsignalen verbunden sind.

30

9. Justierbare Lagerungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

- dass die Lagerungsanordnung mit einer Mehrzahl von Tragstrukturen (20a, 20b, 20c, 20d) versehen ist, die eine Aufhängung eines zu einem Hauptspiegel (12) korrespondierenden Sekundärspiegels (16) bilden,
- wobei die mit den Tragstrukturen (20a, 20b, 20c, 20d) verbundene Basis (10) von einem Spiegelteleskopgehäuse gebildet ist,
- wobei das Objekt von einer Halterungseinrichtung (15) des Sekundärspiegels (16) gebildet ist und
- wobei der Sekundärspiegel (16) mittels der Aktorelemente (22', 23', 24', 25') zu dem Hauptspiegel (12) bezüglich einer Spiegelteleskopachse (X) coaxial einjustierbar ist.

10. Justierbare Lagerungsanordnung nach Anspruch 9,

dadurch gekennzeichnet,

dass die bandartig ausgebildeten Streben (22, 23, 24, 25) der Tragstrukturen (20a, 20b, 20c, 20d) so angeordnet sind, dass ihre flächigen Seiten in einer im Wesentlichen parallel zur Spiegelteleskopachse (X) ausgerichteten Ebene verlaufen.