(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 106 262 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
17.01.2018 Patentblatt 2018/03

(51) Int Cl.:
B24B 13/00 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **16166363.8**

(22) Anmeldetag: **21.04.2016**

(54) **POLIERVORRICHTUNG ZUM POLIEREN LINSENFLÄCHEN VON OPTISCHEN LINSEN UND VERFAHREN ZU DEREN BETRIEB**

POLISHING APPARATUS FOR POLISHING LENSES SURFACES ON OPTICAL LENSES AND METHOD FOR THE OPERATION THEREOF

DISPOSITIF DE POLISSAGE DESTINE A POLIR DES SURFACES DE LENTILLES OPTIQUES ET SON PROCEDE DE FONCTIONNEMENT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **15.06.2015 DE 102015109495**
08.09.2015 DE 102015115078

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
21.12.2016 Patentblatt 2016/51

(73) Patentinhaber: **OptoTech Optikmaschinen GmbH**
35435 Wettenberg (DE)

(72) Erfinder: **Mandler, Roland**
35452 Heuchelheim (DE)

(74) Vertreter: **Patentanwälte Olbricht Buchhold Keulertz**
Partnerschaft mbB
Bettinastraße 53-55
60325 Frankfurt am Main (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 867 430
EP-A1- 2 662 185
EP-A2- 1 655 102
EP-A2- 2 384 854
DE-A1-102009 006 797
DE-A1-102014 003 598
US-A- 3 877 177
US-A- 6 012 965
US-B1- 6 722 962

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 3 106 262 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Poliervorrichtung zum Polieren gekrümmter Linsenflächen von optischen Linsen gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 wie aus der Druckschrift DE 10 2009 006797 A1 bekannt, und ein Verfahren zu deren Betrieb nach Anspruch 7. Zur Erzielung einer optisch wirksamen Linsenoberfläche werden optische Linsen mit Poliervorrichtungen poliert. So sind aus dem Stand der Technik Poliervorrichtungen bekannt, die einen Werkstückhalter aufweisen, die eine optische Linse aufnehmen und um eine Rotationsachse rotieren. Auf die freie Linsenoberfläche, die konkav, konvex, torisch, sphärisch und freiformgestaltet sein kann, wird ein Polierwerkzeug mit einer Polierfläche aufgesetzt.

[0002] Zur Bearbeitung konkaver Linsenflächen ist aus DE 10 2007 026 841 A1 bekannt, ein Polierwerkzeug einzusetzen, welches einen Trägerteller aufweist, auf dem eine elastischer Unterbau aufgebracht ist. Auf dem elastischen Unterbau ist die Polierfläche angeordnet. Durch Rotieren des Trägertellers rotiert also auch die Polierfläche um eine Rotationsachse lotrecht zum Trägerteller. Dabei sind die Rotationsachsen der optischen Linse und einer Antriebswelle des Polierwerkzeugs parallel ausgerichtet. Der Trägerteller wiederum ist über ein kardanisches Ausgleichsgelenk mit der Antriebswelle verbunden.

[0003] Die eingesetzten Poliermaschinen im Stand der Technik haben zur Einstellung des Abtragprofils beim Polieren also drei interpolierend angetriebene Achsen, nämlich

a) die Geschwindigkeit um die Rotationsachse des Werkstückhalters,
b) eine Position entlang einer ersten Verschiebeachse für einen seitlichen Versatz zwischen den Rotationsachsen des Werkstückhalters und des Polierwerkzeugs,
c) sowie eine Position entlang einer zweiten Verschiebeachse zur Einstellung des Abstands zwischen dem Werkstückhalter und dem Polierwerkzeug.

[0004] Das kardanische Ausgleichgelenk bildet einen Freiheitsgrad aus, sodass das Polierwerkzeug statisch unbestimmt auf die Linsenoberfläche aufgesetzt ist und immer plan auf der Linsenoberfläche aufliegt, wozu es um das Ausgleichsgelenk pendelt. Die Oberflächenkrümmung der Polierfläche entspricht meist im Wesentlichen der Oberflächenkrümmung der konkaven Linsenfläche.

[0005] Nachteilhaft an einer solchen Ausgestaltung ist, dass das Polierwerkzeug nur sehr begrenzt über einen Umfangsrand der Linsenfläche hinausbewegt werden kann. Dies hat nämlich zur Folge, dass der Anpressdruck in Richtung Linsenmitte schon bei einem kleinen Überstand stark abfällt. Bewegt man die Polierfläche zu einem noch größeren Teil über den Umfangsrand hinaus, kippt das Polierwerkzeug ab.

[0006] Ein weiterer Nachteil derartiger Polierwerkzeuge ist, dass die Anpresskraft über der Polierfläche dazu führt, dass der Polierabtrag der Linsenoberfläche in Richtung einer Sphäre tendiert. Hierdurch werden bereits hergestellte optische Geometrien auf der Linsenoberfläche auspoliert. Um überhaupt engere Radien auf der Linsenoberfläche polieren zu können, sind große Anpressdrücke erforderlich, um durch elastische Verformung des Trägertellers und/oder dem elastischen Unterbau an diese heran zu gelangen. Hierdurch wird die Poliertendenz hin zu einer Sphäre in diesen Linsenbereichen noch verstärkt.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Poliervorrichtung und ein Polierverfahren zu entwickeln, mit denen Linsenoberflächen bearbeitbar sind, die Überlagerungen aus sphärischen, torischen und progressiven Wirkungen aufweisen und somit Freiformflächen bilden, die durch reine Punktewolken beschrieben sind, ohne dass beim Polieren diese Wirkungen auspoliert werden. Die Vorrichtung und das Verfahren sollen zudem eine schnelle, effiziente und kostengünstige Polierbearbeitung von solchen Linsenflächen ermöglichen. Hauptmerkmale der Erfindung sind im kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 sowie in Anspruch 7 angegeben. Ausgestaltungen sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 6 und 8 bis 14. Die Erfindung betrifft eine Poliervorrichtung zum Polieren gekrümmter Linsenflächen von optischen Linsen, wobei die Poliervorrichtung einen Werkstückhalter zur Aufnahme einer optischen Linse und ein Polierwerkzeug aufweist, wobei das Polierwerkzeug ein Trägerelement, einen elastischen Unterbau und eine gekrümmte Polierfläche auf dem elastischen Unterbau aufweist, wobei das Polierwerkzeug mit der Polierfläche rotierend um eine Rotationsachse angetrieben ist, wobei entweder die gekrümmte Linsenfläche konkav und die gekrümmte Polierfläche konvex oder die gekrümmte Linsenfläche konvex und die gekrümmte Polierfläche konkav ist, wobei der Werkstückhalter rotierend um eine erste Achse angetrieben ist, um die optische Linse zu rotieren, wobei ein Abstand zwischen dem Werkstückhalter und dem Polierwerkzeug entlang einer zweiten Achse verstellbar ist, wobei ein Versatz zwischen dem Werkstückhalter und dem Polierwerkzeug entlang einer dritten Achse, die quer zur ersten Achse ausgerichtet ist, verstellbar ist, und wobei ein Anstellwinkel zwischen der Rotationsachse und der ersten Achse durch Kippen um eine vierte Achse, im Besonderen aktiv, verstellbar ist.

[0008] Die Poliervorrichtung hat den Vorteil, dass eine bis zu zehnfach höhere Polierleistung erzielt wird als mit einem kardanisch gelagerten Polierteller. Außerdem kann durch das Kippen ein konstantes Abtragprofil in engeren und weiteren Radien erzielt werden. Zudem kann auch der an den Umfangsrand angrenzende Bereich sehr gut und präzise bearbeitet

werden. Dies hat zur Folge, dass Geometrien auf der optischen Oberfläche nicht auspoliert werden. Es gibt nämlich nicht das Phänomen, dass das Polierwerkzeug die Linsenfläche tendenziell in Richtung einer Sphäre bearbeitet. Vielmehr ist es mit dem elastischen Unterbau des Polierwerkzeugs und dem Anstellwinkel möglich, Abweichungen, bedingt durch einen progressiven Anteil der Linsenoberfläche von einer kugelabschnittsförmigen Relativfläche der Polierfläche, zu einer rein sphärischen partiellen Berührungsfläche zu kompensieren. Außerdem lassen sich mit einer solchen Poliervorrichtung Zylinderwirkungen von bis zu zehn Zylindern herstellen. Das ganze gelingt in einer ersten Variante für die Bearbeitung konkaver Linsenflächen mit einer konvexen Polierfläche und in einer zweiten Variante für die Bearbeitung konvexer Linsenflächen mit einer konkaven Polierfläche. Durch Umrüsten, insbesondere automatisiert, ist es außerdem möglich mit der Vorrichtung eine konkave vordere Linsenfläche und die gegenüberliegende konvexe rückseitige Linsenfläche zu polieren. Es lassen sich so insbesondere sehr komplexe Brillengläser fertigen.

[0009] Die gekrümmte Linsenfläche liegt auf der Linsenvorderseite oder der Linsenrückseite. Ein Umfangsrand der Linse zählt nicht zu der gekrümmten Linsenfläche. Optional kann die gekrümmte Linsenfläche eine Teilfläche der Linsenvorderseite oder der Linsenrückseite sein. Vorzugsweisen werden optische Linsen mit kreisrundem Umfangsrand poliert. Der Umfangsrand begrenzt die Linsenvorderseite und die Linsenrückseite jeweils an deren Umfang.

[0010] Dabei sollte die erste Achse im Wesentlichen lotrecht durch das Zentrum der gekrümmten Linsenfläche ausgerichtet sein. Entsprechend wird die erste Achse im Wesentlichen oder exakt lotrecht zu einer Aufnahme des Werkstückhalters sein, in welcher eine optische Linse aufgenommen wird.

[0011] Weiterhin wird erfindungsgemäß erreicht, dass die Polierfläche in einer definierten rotationssymmetrischen Fläche um die Rotationsachse rotiert. Bei kardanisch pendelnder Lagerung wie im Stand der Technik ist dies nicht der Fall. Die rotationssymmetrische Fläche kann insbesondere eine Sphäre sein, zumindest außerhalb einer Kontaktfläche mit der Linsenfläche, wo es zu einer elastischen Verformung der Polierfläche kommt.

[0012] Dabei sollte die Polierfläche um Ihr Zentrum rotieren. Zwar kann die Polierfläche bis an ihr Zentrum heranragen. In vielen Anwendungsfällen sind jedoch auch Polierwerkzeuge einsetzbar, bei denen eine ringförmige oder ringsegmentförmige Polierfläche um das Zentrum angeordnet ist.

[0013] Eine im Verhältnis einfache interpolierende Bewegungskinematik der ersten, zweiten, dritten und vierten Achse wird erreicht, wenn die erste Achse parallel zur zweiten Achse ist.

[0014] Gemäß einer näheren Ausgestaltung der Poliervorrichtung ist, wenn eine optische Linse in dem Werkstückhalter aufgenommen ist, das Polierwerkzeug entsprechend des Anstellwinkels schräg auf der gekrümmten Linsenfläche aufsetzbar und durch Verformung des elastischen Unterbaus eine streifenförmige Kontaktfläche zwischen der Polierfläche und der gekrümmten Linsenfläche ausbildbar. Der Anstellwinkel zwischen der Rotationsachse und der ersten Achse sollte so groß sein, dass die Polierfläche teilweise von der gekrümmten Linsenfläche abgehoben ist, sozusagen über dieser schwebt. Dabei schwebt dann ein Teil der Polierfläche seitlich von der Kontaktfläche beabstandet oberhalb der Linsenfläche. Je stärker das Polierwerkzeug gegen die Linsenoberfläche gedrückt wird, desto größer wird die Anpresskraft und desto breiter wird die Kontaktfläche. Beides korreliert mit der Abtragleistung. Durch Einstellen des Anstellwinkels ist es insbesondere möglich, auf ein konstantes Abtragprofil über der Länge der Kontaktfläche zu regeln. Insbesondere ist ein Anstellwinkel geeignet, bei dem das Polierwerkzeug im Bereich der Rotationsachse keinen Kontakt zur Linsenfläche hat. Hierdurch wird das Geschwindigkeitsvektorprofil in der Kontaktfläche konstanter.

[0015] Hierzu trägt auch eine spezielle Ausbildung bei, nach der sich die streifenförmige Kontaktfläche an beiden Enden bis an einen Umfangsrand der gekrümmten Linsenfläche erstreckt. Hierdurch wird erreicht, dass der Anpressdruck über die Länge und bis an die Enden der streifenförmigen Kontaktfläche auf einen homogenen Wert regelbar ist. Hierfür sollte entweder die Oberflächenkrümmung der konvexen Polierfläche kleiner sein als die Oberflächenkrümmung der konkaven Linsenfläche oder die Oberflächenkrümmung der konkaven Polierfläche größer bzw. stärker sein als die Oberflächenkrümmung der konvexen Linsenfläche. Außerdem ist der Durchmesser der Polierfläche größer zu wählen als der Durchmesser der zu polierenden Linsenfläche, vorzugsweise um wenigstens 20% größer.

[0016] Weiterhin ist in einer näheren Ausführung der Poliervorrichtung vorgesehen, dass diese eine elektrische Steuereinrichtung aufweist, durch welche während eines Polierprozesses, insbesondere ausschließlich, die Geschwindigkeit der Rotation des Werkstückhalters um die erste Achse, der Abstand zwischen dem Werkstückhalter und dem Polierwerkzeug entlang der zweiten Achse, der Versatz zwischen dem Werkstückhalter und dem Polierwerkzeug entlang der dritten Achse, und der Anstellwinkel zwischen der Rotationsachse und der ersten Achse durch Kippen um die vierte Achse interpolierend angetrieben sind.

[0017] Die Interpolation ermöglicht es, den Anpressdruck der Kontaktfläche über deren Länge auf einen konstanten Wert zu regeln. Zusätzlich lässt sich der Anpressdruck auf einen gewünschten Wert regeln, der zum Beispiel zu Beginn des Polierens höher ist als zum Ende des Polierens. Hierdurch wird mit dem Polierfortschritt ein feinerer Polierschliff erzeugt. Als elektrische Steuereinrichtung kommt eine CNC-Steuerung in Betracht.

[0018] Nach einer speziellen Variante der Poliervorrichtung ist der rotierende Antrieb des Werkstückhalters um die erste Achse mit einem ersten Antrieb bewirkt, die Verstellung des Abstands zwischen dem Werkstückhalter und dem Polierwerkzeug entlang der zweiten Achse mit einem zweiten Antrieb bewirkt, die Verstellung des Versatzes zwischen dem Werkstückhalter und dem Polierwerkzeug entlang der dritten Achse mit einem dritten Antrieb bewirkt, und die

Verstellung des Anstellwinkels zwischen der Rotationsachse und der ersten Achse mit einem vierten Antrieb bewirkt. Hierdurch kann das interpolierende Zusammenwirken weitestgehend frei durchgeführt werden, denn die Antriebe sind unabhängig ansteuerbar.

[0019] In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass es sich anbietet, die Rotation des Polierwerkzeugs mit der Polierfläche um die Rotationsachse durch einen Spindelantrieb zu bewirken.

[0020] In derartiger Ausgestaltung kann die Poliervorrichtung eine elektrische Steuereinrichtung aufweisen, durch welche während eines Polierprozesses, insbesondere ausschließlich, die Rotationsgeschwindigkeit des ersten Antriebs, die Position des zweiten Antriebs, die Position des dritten Antriebs, und die Position des vierten Antriebs interpolierend angetrieben sind. Damit eignen sich für den ersten Antrieb rotierende Motoren und für den zweiten, dritten und vierten Antrieb insbesondere Stellmotoren.

[0021] In besonderer Konfiguration der Steuereinrichtung ist der Anstellwinkel mit der Steuereinrichtung auf einen Wert geregelt, bei dem über die Länge einer streifenförmigen Kontaktfläche zwischen der Polierfläche und der gekrümmten Linsenfläche eine maximal einheitliche Andrückkraft vorliegt.

[0022] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der Poliervorrichtung sind die zweite Achse und die dritte Achse mechanisch mit dem Werkstückhalter gekoppelt. Das bedeutet, dass der Werkstückhalter sich absolut entlang der zweiten Achse und der dritten Achse bewegt. Damit bewegt sich die optische Linse in zwei Raumrichtungen und rotiert dabei um die erste Achse.

[0023] Bei einer optionalen Ausführungsform der Poliervorrichtung ist die vierte Achse mechanisch mit dem Polierwerkzeug gekoppelt. Entsprechend wird das Polierwerkzeug um die vierte Achse gekippt. Gleichzeitig kann es um die Rotationsachse rotieren. Eine einfache interpolierende Kinematik wird erreicht, wenn die Rotationsachse die vierte Achse schneidet, vorzugsweise Lotrecht. Bevorzugt wird zudem eine Ausbildung gewählt, bei der das Polierwerkzeug starr mit einer Antriebsachse gekoppelt ist. Weder Winkel- noch Längenänderungen sollten möglich sein, damit eine CNC-gesteuerte definierte Position ohne Freiheitsgrade mit dem Polierwerkzeug angefahren werden kann. Insbesondere sollte das Polierwerkzeug kein kardanisches Ausgleichsgelenk aufweisen oder an einem solchen gelagert sein.

[0024] Vorzugsweise ist der Werkstückhalter geodätisch oberhalb des Polierwerkzeugs angeordnet. Abraum und überschüssiges Poliermittel geraten somit nicht auf die zu polierende Linsenfläche, sondern fallen herab.

[0025] Besonders geeignet ist die Vorrichtung zur Bearbeitung von gekrümmten Linsenflächen mit einer torischen Grundform, auf der auch progressive Wirkungsflächen enthalten sein können.

[0026] Die Erfindung betrifft zudem die Verwendung einer vorstehend beschriebenen Poliervorrichtung zum Polieren einer gekrümmten Linsenfläche einer optischen Linse, insbesondere von konkaven oder konvexen Linsenflächen. Auch bei der Verwendung werden je nach Ausgestaltung der Poliervorrichtung die vorstehend beschriebenen Vorteile erzielt.

[0027] Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betrieb einer vorstehend beschriebenen Poliervorrichtung, bei dem folgende Schritte durchgeführt werden:

a) Aufnehmen einer optischen Linse mit dem Werkstückhalter, insbesondere bevor die folgenden Schritte durchgeführt werden,
b) Aufsetzen des Polierwerkzeugs mit der Polierfläche auf die gekrümmte Linsenfläche,
c) Rotieren des Polierwerkzeugs um die Rotationsachse, und
d) Durchführen eines Poliervorgangs durch interpolierendes Antreiben bzw. interpolierendes Modulieren

- der Geschwindigkeit der Rotation des Werkstückhalters um die erste Achse,
- des Abstands zwischen dem Werkstückhalter und dem Polierwerkzeug entlang der zweiten Achse,
- des Versatzes zwischen dem Werkstückhalter und dem Polierwerkzeug entlang der dritten Achse, und
- des Anstellwinkels zwischen der Rotationsachse und der ersten Achse durch Kippen um die vierte Achse.

[0028] Vorteilhaft hieran ist, dass eine bis zu zehnfach höhere Polierleistung erzielt wird als mit einem kardanisch gelagerten Polierteller. Außerdem kann durch das modulierte Kippen um die vierte Achse ein konstantes Abtragprofil in engeren und weiteren Radien erzielt werden. Hierbei ist auch der an den Umfangsrand angrenzende Bereich der Linsenfläche sehr gut und präzise bearbeitbar. Dies hat zur Folge, dass Geometrien auf der optischen Oberfläche nicht auspoliert werden. Es lassen sich verfahrensgemäß Zylinderwirkungen von bis zu zehn Zylindern herstellen. Es ist ausreichend, dass beim Poliervorgang vier Achsen miteinander interpolieren, nämlich die erste, zweite, dritte und vierte Achse. Zur Durchführung des Poliervorgangs sollte ein Poliermittel vorgesehen sein, welches in der Polierfläche oder in einem zugeführten Fluid enthalten sein kann.

[0029] Mit dem Verfahren ist insbesondere erreichbar, dass bei jeder Umdrehung des Linsenrohlings um die erste Ache eine interpolierende Bewegung der zweiten, dritten und vierten Achse durchgeführt wird. Zur Erhöhung der Schliffqualität wird dabei vorzugsweise gleichzeitig auch die Rotationsgeschwindigkeit um die erste Achse moduliert. Ein gutes Schliffbild wird insbesondere erzielt, wenn die interpolierende Bewegung der zweiten, dritten und vierten Achse kontinuierlich ist.

[0030] In einer speziellen Verfahrensausgestaltung wird beim interpolierenden Antreiben als erste Zielfunktion ein Anstellwinkel berücksichtigt, bei dem über der Länge einer streifenförmigen Kontaktfläche zwischen der Polierfläche und der gekrümmten Linsenfläche eine maximal einheitliche Andrückkraft vorliegt. Es wird hierdurch ein einheitliches Abtragprofil über der Länge der Kontaktfläche erzielt. Hierzu sollten als Eingangsgrößen die Form und Position des Polierwerkzeugs, sowie die Form und Position der optischen Linse bzw. von deren Linsenfläche bekannt sein.

[0031] Eine weitere optionale Verfahrensausgestaltung sieht vor, dass das interpolierende Antreiben als zweite Zielfunktion eine streifenförmige Kontaktfläche zwischen der Polierfläche und der gekrümmten Linsenfläche berücksichtigt, die sich an beiden Enden bis an einen Umfangsrand der gekrümmten Linsenfläche erstreckt. Damit wird erreicht, dass bis in den Endbereich der streifenförmigen Kontaktfläche innerhalb der Linsenfläche eine konstante Andrückkraft vorliegen kann.

[0032] Nach einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens berücksichtigt das interpolierende Antreiben als dritte Zielfunktion einen über eine Umdrehung der optischen Linse maximal einheitliche Andrückkraft. Damit wird nicht nur in einer Standbetrachtung eine einheitliche Andrückkraft über der Länge der Kontaktfläche erzielt, sondern auch während einer fortschreitenden Bewegung der Kontaktfläche über die Linsenfläche. Hierdurch wird über der gesamten Linsenfläche ein konstantes Abtragprofil erzielt.

[0033] Des Weiteren sieht eine ergänzende Ausgestaltung des Verfahrens vor, dass das interpolierende Antreiben als vierte Zielfunktion ein konstantes Abtragprofil in der Kontaktfläche zwischen der Polierfläche und der gekrümmten Linsenfläche berücksichtigt. Hierbei werden insbesondere neben den Anpressdrücken in der Kontaktfläche auch die Relativgeschwindigkeiten zwischen der Polierfläche und der Linsenfläche berücksichtigt. Es resultieren homogen über der Kontaktfläche verteilte Abtragraten.

[0034] Zu einem gewünschten Polierverhalten trägt auch eine Verfahrensvariante bei, nach der pro Umdrehung des Linsenrohlings um die erste Ache der Anstellwinkel zwischen der Rotationsachse und der ersten Achse zweimal, insbesondere exakt zweimal, um die vierte Achse hin- und her gekippt bzw. vor- und zurückgekippt wird. Dies insbesondere, wenn eine Linsenfläche mit torischer Grundform poliert wird. Auf diese Weise kann der Anstellwinkel an die torische Grundform angepasst werden und es wird in jedem Drehwinkel eine über die Länge der Kontaktfläche gleichmäße Anpresskraft erzielt.

[0035] Hierzu trägt auch eine Verfahrensausgestaltung bei, nach der pro Umdrehung des Linsenrohlings um die erste Achse der Versatz zwischen dem Werkstückhalter und dem Polierwerkzeug entlang der dritten Achse zweimal, insbesondere exakt zweimal, hin und her pendelt, insbesondere um eine Nulllage hin und her pendelt. Dies wiederum insbesondere, wenn eine Linsenfläche mit torischer Grundform poliert wird.

[0036] Ferner trägt zu einem harmonischen Schliffbild eine Variante bei, bei der die Verstellung des Versatzes zwischen dem Werkstückhalter und dem Polierwerkzeug entlang der dritten Achse mit einer Oszillationsbewegung entlang der dritten Achse überlagert ist, wobei die Oszillationsbewegung kleiner ist als die Verstellung des Versatzes. Hierdurch werden größere kreisförmige Schliffbahnen um das Zentrum der Linsenfläche durch kleinere kreisförmige Schliffbahnen überlagert. Es entsteht ein besonders feines Schliffbild, bei dem die größeren Schliffbahnen nicht durch Lichtbrechung erkennbar sondern verwischt sind.

[0037] Gemäß einer bevorzugten Verfahrensdurchführung erfolgt das Rotieren des Polierwerkzeugs um die Rotationsachse zwischen einem Anfahren und einem Abbremsen mit konstanter Drehzahl. Damit interpoliert die Drehzahl also nicht mit der ersten, zweiten, dritten und vierten Achse. Geeignet für das Polieren ist insbesondere ein Rotieren des Polierwerkzeugs um die Rotationsachse zwischen einem Anfahren und einem Abbremsen mit einer Drehzahl zwischen 600 und 1500 Umdrehungen pro Minute. Das Verfahren sollte so ausgeführt werden, dass die Drehzahl des Rotierens des Polierwerkzeugs um die Rotationsachse zwischen dem Anfahren und dem Abbremsen höher ist als die maximale Drehzahl der Rotation des Werkstückhalters um die erste Achse. Es bietet sich an, die Drehzahl der Rotation des Werkstückhalters um die erste Achse während des Poliervorgangs auf Werte zwischen 0 und 100 Umdrehungen pro Minute zu modulieren. Mit der schnell rotierenden Polierfläche wird so eine hohe Abtragleistung erzielt, während die Verteilung der Abtragleistung über der Linsenfläche durch die Interpolation auf Seiten der weniger schnell agierenden ersten, zweiten, dritten und vierten Achse erfolgt. Entsprechend schnell und effizient ist das Polierverfahren pro optische Linse durchführbar.

[0038] Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem Wortlaut der Ansprüche sowie aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1 einen Schnitt durch einen Ausschnitt einer Poliervorrichtung;
Fig. 2 eine perspektivische Ansicht einer Poliervorrichtung mit zwei Arbeitsebenen;
Fig. 3 eine schematische Skizze zur Veranschaulichung der Kontaktfläche eines mit Anstellwinkel auf die Linsenfläche aufgesetzten Polierwerkzeugs; und
Fig. 4 eine perspektivische Ansicht einer Poliervorrichtung gemäß Fig. 2 jedoch dargestellt mit Gestell, Gehäuse und Sekundäreinrichtungen zum automatisierten Betrieb.

[0039] In Fig. 1 sieht man in einen Schnitt durch einen Ausschnitt einer Poliervorrichtung 1, wie das Polieren einer konkaven Linsenfläche 101 einer optischen Linse 100 mit einem Polierwerkzeug 20 erfolgt.

[0040] Die Poliervorrichtung 1 setzt sich aus zwei korrespondierenden Einheiten zusammen. Dabei umfasst die erste Einheit die Aufnahme und Bewegungskinematik der optischen Linse 100 mit einem Werkstückhalter 10. Die zweite Einheit betrifft das Polierwerkzeug 20 und dessen Bewegungskinematik.

[0041] Das Polierwerkzeug 20 verfügt über ein Trägerelement 21 sowie einen elastischen Unterbau 22 zwischen einer konvexen Polierfläche 23 und dem Trägerelement 21. Dabei ist das Polierwerkzeug 20 mit der Polierfläche 23 rotierend um eine Rotationsachse R angetrieben. Insbesondere ist das Polierwerkzeug 20 rotierbar an einem Werkzeughalter, hier insbesondere einer Werkzeugtrommel 50 gelagert. Hier ist auch ein Spindelantrieb 35 angeordnet, mit dem Polierwerkzeug 20 um die Rotationsachse R angetrieben ist.

[0042] Die Werkzeugtrommel 50 wiederum ist um eine vierte Achse A4 rotierbar angetrieben. Diese Rotation wird dazu eingesetzt, um mittels eines vierten Antriebs A4 einerseits einen Anstellwinkel W des Polierwerkzeugs 20 gegenüber der optischen Linse 100 einzustellen und zu regeln, und andererseits, um unterschiedliche Polierwerkzeuge, die auf dem Umfang der Werkzeugtrommel 50 angeordnet sind, einsetzen zu können.

[0043] Vorliegend schneiden sich die Rotationsachse R und die vierte Achse A4 perpendikular. Dies macht die Bewegungskinematik besonders einfach. Dieses Schneiden ist jedoch nicht unbedingt notwendig. Denkbar sind alternativ auch eine nicht-perpendikulare Ausrichtung und/oder eine beabstandete Anordnung.

[0044] Zusammengefasst rotiert das Polierwerkzeug 20 also um die Rotationsachse R und kann durch Anpassung des Anstellwinkels W zur Linsenfläche 101 ausgerichtet und angestellt werden. Dies sind die einzigen verstellbaren Achsen und Freiheitsgrade des Polierwerkzeugs 20. Es ist also gerade kein kardanisch gelagerter Polierteller vorgesehen.

[0045] Der Werkstückhalter 10 ist rotierend um eine erste Achse A1 angetrieben, um die optische Linse 100 um ihr Zentrum zu rotieren. Die optische Linse 100 kann hierzu insbesondere mit Ihrer Linsenrückseite 102 entweder materialschlüssig mit einem sogenannten Blockstück verbunden sein oder aber es wird ein Vakuumhalter eingesetzt, der die optische Linse 100 durch Unterdruck auf der Linsenrückseite 102 hält.

[0046] Bezüglich der optischen Linse 100 sind auch der Durchmesser D2 der Linsenfläche 101, der Umfangsrand 103 und die Oberflächenkrümmung K2 der Linsenfläche 101 gekennzeichnet.

[0047] Des Weiteren ist die Bewegungskinematik des Werkstückhalters 10 schematisch dargestellt. Zunächst weist der Werkstückhalter 10 einen ersten Antrieb 31 zur Bewirkung einer Rotation um die erste Achse A1 auf. Mittels eines zweiten Antriebs 32 lässt sich der Werkstückhalter 10 entlang einer zweiten Achse A2 vor und zurück bewegen. Die zweite Achse A2 ist vorliegend koaxial zur ersten Achse A1. Hierdurch wird eine einfache Bewegungskinematik erzielt. Zusätzlich ist ein dritter Antrieb 33 vorgesehen, mit dem der Werkstückhalter 10 seitlich hin und her bewegbar ist; dies insbesondere quer und im Besonderen perpendikular zur zweiten Achse A2. Dies sind die einzigen drei Bewegungsachsen des Werkstückhalters 10. Außerdem ist die erste Achse A1 lotrecht durch das Zentrum der konkaven Linsenfläche 101 ausgerichtet.

[0048] Es ist zu bevorzugen, dass die vierte Achse A4 die von der zweiten und dritten Achse A2, A3 aufgespannte Ebene perpendikular schneidet. Außerdem schneiden sich bevorzugt auch die Rotationsachse R und die erste Achse A1.

[0049] Vorliegend sind also die erste Achse A1, die zweite Achse A2 und die dritte Achse A3 mechanisch mit dem Werkstückhalter 10 gekoppelt bzw. bestimmen diese drei Achsen die Freiheitsgrade des Werkstückhalters 10. Die vierte Achse A4 und die Rotationsachse R sind mechanisch mit dem Polierwerkzeug 20 gekoppelt, bzw. bestimmen diese die Freiheitsgrade des Polierwerkzeugs 20.

[0050] Die erste Achse A1 und die Rotationsachse R sind wie beschrieben anzuordnen, um die Rotationen der Linse 100 und des Polierwerkzeugs 20 zu bewirken. Demgegenüber ist es grundsätzlich alternativ möglich, die zweite Achse A2 und die dritte Achse A3 mechanisch mit dem Polierwerkzeug 20 zu koppeln und/oder die vierte Achse A4 mechanisch mit dem Werkstückhalter 10 zu koppeln.

[0051] Durch diese oder die genannten alternativen Anordnungen und Freiheitsgrade des Werkstückhalters 10 und des Polierwerkzeugs 10 ist es nunmehr möglich, einen Abstand z zwischen dem Werkstückhalter 10 und dem Polierwerkzeug 20 entlang der zweiten Achse A2 zu verstellen und zu regeln. Gleichzeitig ist ein Versatz x zwischen dem Werkstückhalter 10 und dem Polierwerkzeug 20 entlang der dritten Achse A3, die quer zur ersten Achse A1 ausgerichtet ist, verstell- und regelbar. Ergänzend ist der Anstellwinkel W zwischen der Rotationsachse R und der ersten Achse A1 aktiv mittels des vierten Antriebs 34 durch Kippen um die vierte Achse A4 verstell- und regelbar.

[0052] Damit gelingt es, das Polierwerkzeug 10 derart schräg auf die konkave Linsenfläche 101 aufzusetzen, dass nur ein Teil der Polierfläche 23 in Kontakt mit der konkaven Linsenfläche 101 tritt. Dargestellt ist diese Kontaktfläche F durch eine Überschneidung zwischen dem Polierwerkzeug 10 und der optischen Linse 100. In der Realität verformt sich der elastische Unterbau 22. Ein anderer Teil der Polierfläche 23 ist von der Linsenfläche 101 abgehoben. Er schwebt gewissermaßen oberhalb der Linsenfläche 101. Dies betrifft insbesondere auch das Zentrum in der Mitte M der Polierfläche 23 um die Rotationsachse R.

[0053] Durch Verformung des elastischen Unterbaus 22 wird insbesondere eine streifenförmige Kontaktfläche F zwi-

schen der Polierfläche 23 und der konkaven Linsenfläche 101 ausgebildet, wie es nachstehend näher zu Fig. 3 erläutert wird. Je stärker das Polierwerkzeug 20 gegen die Linsenfläche 101 gedrückt wird, desto größer wird die Anpresskraft und desto breiter wird die Kontaktfläche F. Beides korreliert mit der Abtragsleistung. Außerdem wird die Abtragsleistung von der Rotationsgeschwindigkeit des Polierwerkzeugs 20 um die Rotationsachse R und die Rotationsgeschwindigkeit der optischen Linse 100 um die erste Achse A1 mitbestimmt.

[0054] Mit Hilfe einer elektrischen Steuereinrichtung kann nunmehr während eines Polierprozesses, insbesondere ausschließlich,

- die Geschwindigkeit der Rotation des Werkstückhalters 10 um die erste Achse A1,
- der Abstand z zwischen dem Werkstückhalter 10 und dem Polierwerkzeug 20 entlang der zweiten Achse A2,
- der Versatz x zwischen dem Werkstückhalter 10 und dem Polierwerkzeug 20 entlang der dritten Achse A3, und
- der Anstellwinkel W zwischen der Rotationsachse R und der ersten Achse A1 durch Kippen um die vierte Achse A4

interpolierend angetrieben werden. Dies insbesondere indem

- der rotierende Antrieb des Werkstückhalters 10 um die erste Achse A1 mit dem ersten Antrieb 31 durch die Steuereinrichtung geregelt wird,
- die Verstellung des Abstands z zwischen dem Werkstückhalter 10 und dem Polierwerkzeug 20 entlang der zweiten Achse A2 mit dem zweiten Antrieb 32 durch die Steuereinrichtung geregelt wird,
- die Verstellung des Versatzes x zwischen dem Werkstückhalter 10 und dem Polierwerkzeug 20 entlang der dritten Achse A3 mit dem dritten Antrieb 33 durch die Steuereinrichtung geregelt wird, und
- die Verstellung des Anstellwinkels W zwischen der Rotationsachse R und der ersten Achse A1 mit dem vierten Antrieb 34 durch die Steuereinrichtung geregelt wird.

[0055] Durch die elektrische Steuereinrichtung sind während eines Polierprozesses, insbesondere ausschließlich,

- die Rotationsgeschwindigkeit des ersten Antriebs 31,
- die Position des zweiten Antriebs 32,
- die Position des dritten Antriebs 33, und
- die Position des vierten Antriebs 34

interpolierend angetrieben. Es ist insbesondere eine Interpolation möglich, die über jeder Umdrehung des Linsenrohlings 100 um die erste Ache A1 eine interpolierende Bewegung der zweiten, dritten und vierten Achse A2, A3, A4 durchführt.

[0056] Demgegenüber wird die Rotationsgeschwindigkeit der konvexen Polierfläche 23 um die Rotationsachse R durch den Spindelantrieb 35 vorzugsweise auf einer konstanten Umdrehungszahl gehalten. Diese ist vorzugsweise ohnehin derart schnell zu wählen, dass aufgrund der Rotationsträgheit eine schnelle Modulation der Umdrehungsgeschwindigkeit nicht möglich ist. Zu bevorzugen ist eine Drehzahl zwischen 600 und 1500 Umdrehungen pro Minute.

[0057] Die Drehzahl des Rotierens des Polierwerkzeugs 20 um die Rotationsachse R zwischen dem Anfahren und dem Abbremsen sollte außerdem höher sein als die maximale Drehzahl der Rotation des Werkstückhalters 10 um die erste Achse A1. Als maximale Drehzahl der Rotation des Werkstückhalters 10 um die erste Achse A1 eignen sich während des Polierens insbesondere Werte zwischen 0 und 100 Umdrehungen pro Minute.

[0058] Der Anstellwinkel W wird mit der Steuereinrichtung soweit möglich auf einen Wert geregelt, bei dem über die Länge der streifenförmigen Kontaktfläche F zwischen der Polierfläche 23 und der konkaven Linsenfläche 101 eine maximal einheitliche Andrückkraft vorliegt. Je größer die örtliche Oberflächenkrümmung K2 der Linsenfläche K2 ist, desto größer wird der Anstellwinkel W folglich sein.

[0059] Zum Betrieb einer Poliervorrichtung 1 werden insbesondere folgende Schritte durchgeführt:

a) Aufnehmen einer optischen Linse 100 mit dem Werkstückhalter 10,
b) Aufsetzen des Polierwerkzeugs 20 mit der Polierfläche 23 auf die konkave Linsenfläche 101,
c) Rotieren des Polierwerkzeugs 20 um die Rotationsachse R,
d) Durchführen eines Poliervorgangs durch interpolierendes Antreiben

- der Geschwindigkeit der Rotation des Werkstückhalters 10 um die erste Achse A1,
- des Abstands z zwischen dem Werkstückhalter 10 und dem Polierwerkzeug 20 entlang der zweiten Achse A2,
- des Versatzes x zwischen dem Werkstückhalter 10 und dem Polierwerkzeug 20 entlang der dritten Achse A3, und
- des Anstellwinkels W zwischen der Rotationsachse R und der ersten Achse A1 durch Kippen um die vierte Achse A4.

[0060] Das heißt, es interpolieren beim Polieren exakt vier Achsen miteinander, nämlich die erste, zweite, dritte und vierte Achse A1, A2, A3, A4. Die Rotationsgeschwindigkeit um die Rotationachse R wird (wenn überhaupt) als konstante Eingangsgröße berücksichtigt.

[0061] Verfahrensgemäß ist es möglich, dass das interpolierende Antreiben als erste Zielfunktion einen Anstellwinkel W berücksichtigt, bei dem über der Länge einer streifenförmigen Kontaktfläche F zwischen der Polierfläche 23 und der konkaven Linsenfläche 101 eine maximal einheitliche Andrückkraft vorliegt. Zusätzlich kann darauf geregelt werden, dass das interpolierende Antreiben als dritte Zielfunktion eine über eine Umdrehung der optischen Linse 100 maximal einheitliche Andrückkraft erzeugt.

[0062] Außerdem kann durch das interpolierende Antreiben als zweite Zielfunktion eine streifenförmige Kontaktfläche F zwischen der Polierfläche 23 und der konkaven Linsenfläche 101 verfolgt werden, die sich an beiden Enden E1, E2 bis an einen Umfangsrand 103 der konkaven Linsenfläche 101 erstreckt. Unerheblich ist ein Linsenrand, der die konkave Linsenfläche 101 umgibt und nicht poliert werden muss.

[0063] Wie vorstehend beschrieben, hängt die Abtragsleistung auch von den Umdrehungsgeschwindigkeiten ab, insbesondere von den Geschwindigkeitsvektoren in der Kontaktfläche F. Die Geschwindigkeitsvektoren sind neben der lokalen Andrückkraft allein anhand der Positionen des Werkstückhalters 10, des Polierwerkzeugs 20 und der Flächenform der Linsenfläche 101 bestimmbar. Dies ermöglicht, dass das interpolierende Antreiben als vierte Zielfunktion ein maximal konstantes Abtragprofil in der Kontaktfläche F zwischen der Polierfläche 23 und der konkaven Linsenfläche 101 berücksichtigt.

[0064] In **Fig. 2** sieht man eine perspektivische Ansicht einer Poliervorrichtung 1 mit zwei Arbeitsebenen. In der in Bildrichtung vorne liegenden Arbeitsebene liegen ein Werkstückhalter 10 und ein Polierwerkzeug 20 gemäß dem Schnitt nach Fig. 1. Zur Übersichtlichkeit sind hier nur einige der technischen Merkmale mit Bezugszeichen versehen.

[0065] Insbesondere erkennt man, dass der Werkstückhalter 10 eine optische Linse 100 hält, welche mit dem Polierwerkzeug 20 bearbeitet wird. Das Polierwerkzeug 20 setzt sich zusammen aus einem Trägerelement 21, einem hierauf angebrachten elastischen Unterbau 22 und einer Polierfläche 23 auf dem elastischen Unterbau 22.

[0066] Wie auch in Fig. 1 lässt sich der Werkstückhalter 10 entlang der zweiten Achse A2 verschieben, um einen Abstand z zwischen dem Werkstückhalter 10 und dem Polierwerkzeug 20 regeln zu können. Außerdem ist ein Versatz x zwischen dem Werkstückhalter 10 und dem Polierwerkzeug 20 durch Verschieben des Werkstückhalters 10 entlang einer dritten Achse A3 regelbar. Gleichzeitig wird der Werkstückhalter 10 inklusive optischer Linse 100 um eine erste Achse A1 rotiert.

[0067] Auf der anderen Seite ist das Polierwerkzeug 20 um eine Rotationsachse R rotierend angetrieben. Außerdem kann die Werkzeugtrommel 50, an welcher das Polierwerkzeug 20 um die Rotationsachse R drehbar gelagert ist, um eine vierte Achse A4 gedreht werden, um den Anstellwinkel W des Polierwerkzeugs 20 auf der Linse 100 zu regeln.

[0068] Hinsichtlich der weiteren Details zu dem Werkstückhalter 10 und dem Polierwerkzeug 20 wird auf vorstehende Beschreibung zu Fig. 1 verwiesen.

[0069] In Fig. 2 erkennt man weiterhin, dass noch eine optionale zweite Arbeitsebene vorgesehen ist. Diese ist funktional identisch zur vorderen Arbeitsebene ausgebildet. Hierdurch lassen sich zwei Linsen 100, 100a gleichzeitig und identisch bearbeiten. Insbesondere sind die Arbeitsebenen hinsichtlich der Freiheitsgrade des Werkstückhalters 10, 10a und des Polierwerkzeugs 20, 20a fest miteinander verbunden. Die Arbeitsebenen teilen sich auch die Antriebe, sodass sich die Werkstückhalter 10, 10a und die Polierwerkzeuge 20, 20a synchron bewegen.

[0070] Ein weiteres optionales Detail der Ausführung nach Fig. 2 ist, dass die Werkzeugtrommel 50 in jeder der Arbeitsebenen über mehrere, hier insbesondere vier, insbesondere unterschiedliche Polierwerkzeuge 20, 20a, 20b, 20c, 20d, 20e, 20f, 20g verfügt. Bei den dritten bis achten Polierwerkzeugen 20b, 20c, 20d, 20e, 20f, 20g kann es sich auch um Polierteller handeln, die ein kardanisches Ausgleichsgelenk aufweisen. Diese Polierteller legen sich dann an die Linsenflächen der Linsen 100, 100a an und pendeln um das kardanische Ausgleichsgelenk.

[0071] Fig. 3 zeigt eine schematische Skizze zur Veranschaulichung der Kontaktfläche F eines mit Anstellwinkel auf eine Linsenfläche 101 einer optischen Linse 100 aufgesetzten Polierwerkzeugs 20.

[0072] Von der Linsenfläche 101 sind außerdem der Umfangsrand 103, die Oberflächenkrümmung K2 und der Durchmesser D2 gekennzeichnet. Anhand einer optischen Übergangslinie erkennt man, dass die bereits vorbearbeitete Linse 100 eine torische Linsenfläche 101 aufweist. Das heißt, die zu polierende Linsenfläche 101 ist oval bzw. elliptisch. Zwei mondsichelförmige Randbereiche müssen nicht mitpoliert werden.

[0073] Mit Schraffur gekennzeichnet ist nunmehr insbesondere die Kontaktfläche F zwischen der Polierfläche 23 und der Linsenfläche 101. Diese ist streifenförmig und ragt an beiden Enden E1, E2 bis an einen Umfangsrand 103 der konkaven Linsenfläche 101 erstreckt. Mit anderen Bereichen ragt die Polierfläche 23 an den Enden E1, E2 über den Umfangsrand 103 hinaus. Nicht erkennbar sind die Teile der Polierfläche 23, die wie in Fig. 1 erkennbar über der Linsenfläche 101 schweben.

[0074] Gekennzeichnet sind zudem die Bewegungen der Linse 100 um die erste Achse A1 und entlang der Achse A3.

[0075] **Fig. 4** zeigt eine perspektivische Ansicht einer Poliervorrichtung 1 gemäß Fig. 2 jedoch dargestellt mit Gestell 41, Gehäuse 40 und Sekundäreinrichtungen zum automatisierten Betrieb.

[0076] Das Gestell 41 haltert sowohl das Polierwerkzeug 20 als auch den Werkstückhalter 10. Die gesamte Werkzeugtrommel 50 nebst Polierwerkzeug 20 und dem Werkstückhalter sind innerhalb des Gehäuses 40 angeordnet. Auf der Vorderseite verfügt das Gehäuse 40 über ein Sichtfenster und eine Klappe bzw. Tür. Gut zu erkennen sind in der Darstellung der Fig. 4 die Antriebe 31, 32, 33, 34. Der erste Antrieb 31 treibt den Werkstückhalter 10 rotierend um die erste Achse A1 an.

[0077] Der zweite und dritte Antrieb 32, 33 sind als Kreuzschlitten ausgebildet, sodass die Verschiebungen zur Regelung des Versatzes x und des Abstands z regelbar sind.

[0078] Ferner erkennt man eine Transportschiene 42, über welche automatisiert vorbearbeitete Linsen 100a bereitgestellt und nach der Bearbeitung wieder abtransportiert werden.

[0079] Mit Hilfe einer Ladeeinrichtung 43 werden die Linsen 100, 100a vor dem Polieren von der Transportschiene 42 entnommen und in die Werkstückhalter 10 geladen. Nach dem Polieren werden sie mit Hilfe der Ladeeinrichtung 43 wieder aus dem Werkstückhalter 10 entnommen und zum Abtransport auf der Transportschiene 42 abgesetzt.

[0080] Die Erfindung ist nicht auf eine der vorbeschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern in vielfältiger Weise abwandelbar.

[0081] Insbesondere gelten die vorstehenden Beschreibungen auch für eine optionale Abwandlung, bei welcher die gekrümmte Linsenfläche 101 konvex und die gekrümmte Polierfläche 23 konkav ist. Im Besonderen können in der Werkzeugtrommel 50 neben den Polierwerkzeugen 20, 20a auch Polierwerkzeuge 20b, 20c mit konkaver Polierfläche 23 eingesetzt werden. Dann sind in derselben Poliervorrichtung 1 konkave und konvexe Linsenflächen 101 bearbeitbar.

[0082] Sämtliche aus den Ansprüchen, der Beschreibung und der Zeichnung hervorgehenden Merkmale und Vorteile, einschließlich konstruktiver Einzelheiten, räumlicher Anordnungen und Verfahrensschritten, können sowohl für sich als auch in den verschiedensten Kombinationen erfindungswesentlich sein.

Bezugszeichenliste

1	Poliervorrichtung	50	Werkzeugtrommel
10	Werkstückhalter	100	optische Linse
10a	zweiter Werkstückhalter	100a	zweite optische Linse
20	Polierwerkzeug	101	Linsenfläche
20a	zweites Polierwerkzeug	102	Linsenrückseite
20b	drittes Polierwerkzeug	103	Umfangsrand
20c	viertes Polierwerkzeug		
20d	fünftes Polierwerkzeug	A1	erste Achse (Rotation)
20e	sechstes Polierwerkzeug	A2	zweite Achse (Abstand)
20f	siebtes Polierwerkzeug	A3	dritte Achse (Versatz)
20g	achtes Polierwerkzeug	A4	vierte Achse (Anstellwinkel)
		D1	Durchmesser (Polierfläche)
21	Trägerelement	D2	Durchmesser (Linsenfläche)
22	elastischer Unterbau	E1	erstes Ende (streifenförmige Kontaktfläche)
23	konvexe Polierfläche		
		E2	zweites Ende (streifenförmige Kontaktfläche)
31	erster Antrieb (erste Achse)		
32	zweiter Antrieb (zweite Achse)	F	streifenförmige Kontaktfläche
33	dritter Antrieb (dritte Achse)	K1	Oberflächenkrümmung (Polierfläche)
34	vierter Antrieb (vierte Achse)	K2	Oberflächenkrümmung (Linsenfläche)
35	Spindelantrieb	M	Zentrum (Polierfläche)
		R	Rotationsachse
40	Gehäuse		Anstellwinkel
41	Gestell	z	Abstand
42	Transportschiene	x	Versatz
43	Ladeeinrichtung		

Patentansprüche

1. Poliervorrichtung (1) zum Polieren gekrümmter Linsenflächen (101) von optischen Linsen (100),

- wobei die Poliervorrichtung (1) einen Werkstückhalter (10) zur Aufnahme einer optischen Linse (100) und ein Polierwerkzeug (20) aufweist,
- wobei das Polierwerkzeug (20) mit einer gekrümmten Polierfläche (23) rotierend um eine Rotationsachse (R) angetrieben ist,
- wobei entweder die gekrümmte Linsenfläche (101) konkav und die gekrümmte Polierfläche (23) konvex oder die gekrümmte Linsenfläche (101) konvex und die gekrümmte Polierfläche (23) konkav ist,
- wobei der Werkstückhalter (10) rotierend um eine erste Achse (A1) angetrieben ist, um die optische Linse (100) zu rotieren,
- wobei ein Abstand (z) zwischen dem Werkstückhalter (10) und dem Polierwerkzeug (20) entlang einer zweiten Achse (A2) verstellbar ist,
- wobei ein Versatz (x) zwischen dem Werkstückhalter (10) und dem Polierwerkzeug (20) entlang einer dritten Achse (A3), die quer zur ersten Achse (A1) ausgerichtet ist, verstellbar ist,
- wobei ein Anstellwinkel (W) zwischen der Rotationsachse (R) und der ersten Achse (A1) durch Kippen um eine vierte Achse (A4) verstellbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Polierwerkzeug (20) ein Trägerelement (21) und einen elastischen Unterbau (22) aufweist, wobei die gekrümmte Polierfläche (23) auf dem elastischen Unterbau (22) angeordnet ist, und
- wenn eine optische Linse (100) in dem Werkstückhalter (20) aufgenommen ist, das Polierwerkzeug (20) entsprechend des Anstellwinkels (W) schräg auf der gekrümmten Linsenfläche (101) aufsetzbar ist und durch Verformung des elastischen Unterbaus (22) eine streifenförmige Kontaktfläche (F) zwischen der Polierfläche (23) und der gekrümmten Linsenfläche (101) ausbildbar ist,
- wobei der Anstellwinkel (W) zwischen der Rotationsachse (R) und der ersten Achse (A1) so groß ist, dass die Polierfläche (23) teilweise von der gekrümmten Linsenfläche abgehoben ist und ein Teil der Polierfläche (23) seitlich von der Kontaktfläche (F) beabstandet oberhalb der Linsenfläche (101) schwebt.

2. Poliervorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die streifenförmige Kontaktfläche (F) an beiden Enden (E1, E2) bis an einen Umfangsrand (103) der gekrümmten Linsenfläche (101) erstreckt.

3. Poliervorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** diese eine elektrische Steuereinrichtung aufweist, durch welche während eines Polierprozesses,

- die Geschwindigkeit der Rotation des Werkstückhalters (10) um die erste Achse (A1),
- der Abstand (z) zwischen dem Werkstückhalter (10) und dem Polierwerkzeug (20) entlang der zweiten Achse (A2),
- der Versatz (x) zwischen dem Werkstückhalter (10) und dem Polierwerkzeug (20) entlang der dritten Achse (A3), und
- der Anstellwinkel (W) zwischen der Rotationsachse (R) und der ersten Achse (A1) durch Kippen um die vierte Achse (A4) interpolierend angetrieben sind.

4. Poliervorrichtung (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anstellwinkel (W) mit der Steuereinrichtung auf einen Wert geregelt ist, bei dem über die Länge einer streifenförmigen Kontaktfläche (F) zwischen der Polierfläche (23) und der gekrümmten Linsenfläche (101) eine maximal einheitliche Andrückkraft vorliegt.

5. Poliervorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Achse (A2) und die dritte Achse (A3) mechanisch mit dem Werkstückhalter (10) gekoppelt sind.

6. Poliervorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vierte Achse (A3) mechanisch mit dem Polierwerkzeug (20) gekoppelt ist.

7. **Verfahren** zum Betrieb einer Poliervorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

a) Aufnehmen einer optischen Linse (100) mit dem Werkstückhalter (10),
b) Aufsetzen des Polierwerkzeugs (20) mit der Polierfläche (23) auf die gekrümmte Linsenfläche (101),
c) Rotieren des Polierwerkzeugs (20) um die Rotationsachse (R),
d) Durchführen eines Poliervorgangs durch interpolierendes Antreiben

- der Geschwindigkeit der Rotation des Werkstückhalters (10) um die erste Achse (A1),
- des Abstands (z) zwischen dem Werkstückhalter (10) und dem Polierwerkzeug (20) entlang der zweiten Achse (A2),
- des Versatzes (x) zwischen dem Werkstückhalter (10) und dem Polierwerkzeug (20) entlang der dritten Achse (A3), und
- des Anstellwinkels (W) zwischen der Rotationsachse (R) und der ersten Achse (A1) durch Kippen um die vierte Achse (A4).

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das interpolierende Antreiben als erste Zielfunktion einen Anstellwinkel (W) berücksichtigt, bei dem über der Länge einer streifenförmigen Kontaktfläche (F) zwischen der Polierfläche (23) und der gekrümmten Linsenfläche (101) eine maximal einheitliche Andrückkraft vorliegt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das interpolierende Antreiben als zweite Zielfunktion eine streifenförmige Kontaktfläche (F) zwischen der Polierfläche (23) und der gekrümmten Linsenfläche (101) berücksichtigt, die sich an beiden Enden (E1, E2) bis an einen Umfangsrand (103) der gekrümmten Linsenfläche (101) erstreckt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das interpolierende Antreiben als dritte Zielfunktion eine über eine Umdrehung der optischen Linse (100) maximal einheitliche Andrückkraft berücksichtigt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das interpolierende Antreiben als vierte Zielfunktion ein konstantes Abtragprofil in der Kontaktfläche (F) zwischen der Polierfläche (23) und der gekrümmten Linsenfläche (101) berücksichtigt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** pro Umdrehung des Linsenrohlings (100) um die erste Achse (A1) der Anstellwinkel (W) zwischen der Rotationsachse (R) und der ersten Achse (A1) zweimal um die vierte Achse (A4) hin und her gekippt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** pro Umdrehung des Linsenrohlings (100) um die erste Ache (A1) der Versatz (x) zwischen dem Werkstückhalter (10) und dem Polierwerkzeug (20) entlang der dritten Achse (A3) zweimal hin und her pendelt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Rotieren des Polierwerkzeugs (20) um die Rotationsachse (R) zwischen einem Anfahren und einem Abbremsen mit konstanter Drehzahl erfolgt.

Claims

1. Polishing device (1) for polishing curved lens faces (101) of optical lenses (100),

- wherein the polishing device (1) has a workpiece holder (10) for receiving an optical lens (100) and a polishing tool (20),
- wherein the polishing tool (20) having a curved polishing face (23) is driven in a rotating manner about a rotation axis (R),
- wherein either the curved lens face (101) is concave and the curved polishing face (23) is convex or the curved lens face (101) is convex and the curved polishing face (23) is concave,
- wherein the workpiece holder (10) is rotatably driven about a first axis (A1) in order to rotate about the optical lens (100),
- wherein a spacing (z) can be adjusted between the workpiece holder (10) and the polishing tool (20) along a second axis (A2),
- wherein an offset (x) between the workpiece holder (10) and the polishing tool (20) can be adjusted along a third axis (A3) which is orientated transversely relative to the first axis (A1),

- wherein an angle of attack (W) between the rotation axis (R) and the first axis (A1) can be adjusted by means of tilting about a fourth axis (A4),

characterised in that

- the polishing tool (20) has a carrier element (21) and a resilient substructure (22), wherein the curved polishing face (23) is arranged on the resilient substructure (22), and,
- when an optical lens (100) is received in the workpiece holder (20), the polishing tool (20) can be placed in accordance with the angle of attack (W) in an oblique manner on the curved lens face (101) and, by means of deformation of the resilient substructure (22), a strip-like contact face (F) can be formed between the polishing face (23) and the curved lens face (101),
- wherein the angle of attack (W) between the rotation axis (R) and the first axis (A1) is so large that the polishing face (23) is partially raised from the curved lens face and a portion of the polishing face (23) floats in a state laterally spaced apart from the contact face (F) above the lens face (101).

2. Polishing device (1) according to claim 1, **characterised in that** the strip-like contact face (F) extends at both ends (E1, E2) as far as a peripheral edge (103) of the curved lens face (101).

3. Polishing device (1) according to either of the preceding claims, **characterised in that** it has an electrical control device by means of which, during a polishing process,

- the speed of the rotation of the workpiece holder (10) about the first axis (A1),
- the spacing (z) between the workpiece holder (10) and the polishing tool (20) along the second axis (A2),
- the offset (x) between the workpiece holder (10) and the polishing tool (20) along the third axis (A3), and
- the angle of attack (W) between the rotation axis (R) and the first axis (A1) as a result of tilting about the fourth axis (A4),

are driven in an interpolating manner.

4. Polishing device (1) according to claim 3, **characterised in that** the angle of attack (W) is adjusted with the control device to a value at which, over the length of a strip-like contact face (F) between the polishing face (23) and the curved lens face (101), there is a maximum uniform pressing force.

5. Polishing device (1) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the second axis (A2) and the third axis (A3) are mechanically coupled to the workpiece holder (10).

6. Polishing device (1) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the fourth axis (A3) is mechanically coupled to the polishing tool (20).

7. **Method** for operating a polishing device (1) according to any one of the preceding claims, **characterised by** the following steps:

a) receiving an optical lens (100) with the workpiece holder (10),
b) placing the polishing tool (20) having the polishing face (23) on the curved lens face (101),
c) rotating the polishing tool (20) about the rotation axis (R),
d) carrying out a polishing operation by means of interpolating driving of

- the speed of the rotation of the workpiece holder (10) about the first axis (A1),
- the spacing (z) between the workpiece holder (10) and the polishing tool (20) along the second axis (A2),
- the offset (x) between the workpiece holder (10) and the polishing tool (20) along the third axis (A3), and
- the angle of attack (W) between the rotation axis (R) and the first axis (A1) as a result of tilting about the fourth axis (A4).

8. Method according to claim 7, **characterised in that** the interpolating driving considers as a first target function an angle of attack (W) at which, over the length of a strip-like contact face (F) between the polishing face (23) and the curved lens face (101), there is a maximum uniform pressing force.

9. Method according to claim 8, **characterised in that** the interpolating driving considers as a second target function

a strip-like contact face (F) between the polishing face (23) and the curved lens face (101), which extends at both ends (E1, E2) as far as a peripheral edge (103) of the curved lens face (101).

10. Method according to any one of claims 7 to 9, **characterised in that** the interpolating driving considers as a third target function a maximum uniform pressing force over a rotation of the optical lens (100).

11. Method according to any one of claims 7 to 10, **characterised in that** the interpolating driving considers as a fourth target function a constant removal profile in the contact face (F) between the polishing face (23) and the curved lens face (101).

12. Method according to any one of claims 7 to 11, **characterised in that,** per rotation of the lens blank (100) about the first axis (A1), the angle of attack (W) between the rotation axis (R) and the first axis (A1) is tilted back and forth twice about the fourth axis (A4).

13. Method according to any one of claims 7 to 12, **characterised in that,** per rotation of the lens blank (100) about the first axis (A1), the offset (x) between the workpiece holder (10) and the polishing tool (20) oscillates back and forth twice along the third axis (A3).

14. Method according to any one of claims 7 to 13, **characterised in that** the rotation of the polishing tool (20) about the rotation axis (R) is carried out at a constant speed between a start-up and a braking operation.

Revendications

1. Dispositif de polissage (1) pour le polissage de surfaces incurvées (101) de lentilles optiques (100),

- dans lequel le dispositif de polissage (1) présente un porte-pièce (10) pour recevoir une lentille optique (100) et un outil de polissage (20),
- dans lequel l'outil de polissage (20) avec une face de polissage incurvée (23) est entraîné en rotation autour d'un axe de rotation (R),
- dans lequel la face de lentille incurvée (101) est concave et la face de polissage incurvée (23) est convexe ou la face de lentille incurvée (101) est convexe et la face de polissage incurvée (23) est concave,
- dans lequel le porte-pièce (10) est entraîné en rotation autour d'un premier axe (A1) pour faire tourner la lentille optique (100),
- dans lequel un intervalle (z) entre le porte-pièce (10) et l'outil de polissage (20) peut être réglé le long d'un deuxième axe (A2),
- dans lequel un déport (x) entre le porte-pièce (10) et l'outil de polissage (20) peut être réglé le long d'un troisième axe (A3) qui est orienté transversalement au premier axe (A1),
- dans lequel un angle d'attaque (W) entre l'axe de rotation (R) et le premier axe (A1) peut être réglé par basculement autour d'un quatrième axe (A4),

caractérisé en ce que :

- l'outil de polissage (20) présente un élément de support (21) et une base élastique (22), dans lequel la face de polissage incurvée (23) est agencée sur la base élastique (22) et,
- lorsqu'une lentille optique (100) est reçue dans le porte-pièce (20), l'outil de polissage (20) peut être réglé en fonction de l'angle d'attaque (W) en oblique sur la face de lentille incurvée (101) et, par déformation de la base élastique (22), une face de contact en forme de bande (F) peut être formée entre la face de polissage (23) et la face de lentille incurvée (101),
- dans lequel l'angle d'attaque (W) entre l'axe de rotation (R) et le premier axe (A1) est assez grand pour que la face de polissage (23) soit soulevée partiellement de la face de lentille incurvée et qu'une partie de la face de polissage (23) flotte latéralement à distance de la face de contact (F) au-dessus de la face de lentille (101).

2. Dispositif de polissage (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la face de contact en forme de bande (F) s'étend aux deux extrémités (E1, E2) jusqu'à un bord périphérique (103) de la face de lentille incurvée (101).

3. Dispositif de polissage (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** celui-ci présente un dispositif de commande électrique par lequel, au cours d'un processus de polissage,

- la vitesse de rotation du porte-pièce (10) autour du premier axe (A1),
- l'intervalle (z) entre le porte-pièce (10) et l'appareil de polissage (20) le long du deuxième axe (A2),
- le déport (x) entre le porte-pièce (10) et l'outil de polissage (20) le long du troisième axe (A3) et
- l'angle d'attaque (W) entre l'axe de rotation (R) et le premier axe (A1) par basculement autour du quatrième axe (A4) sont commandés par interpolation.

4. Dispositif de polissage (1) selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** l'angle d'attaque (W) est réglé par le dispositif de commande à une valeur dans laquelle une force de pression unitaire maximale s'applique sur la longueur d'une face de contact en forme de bande (F) entre la face de polissage (23) et la face de lentille incurvée (101).

5. Dispositif de polissage (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le deuxième axe (A2) et le troisième axe (A3) sont couplés mécaniquement au porte-pièce (10).

6. Dispositif de polissage (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le quatrième axe (A3) est couplé mécaniquement à l'outil de polissage (20).

7. Procédé de commande d'un dispositif de polissage (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé par** les étapes suivantes :

a) réception d'une lentille optique (100) avec le porte-pièce (10),
b) mise en place de l'outil de polissage (20) avec la face de polissage (23) sur la face de lentille incurvée (101),
c) rotation de l'outil de polissage (20) autour de l'axe de rotation (R),
d) réalisation d'une opération de polissage par commande par interpolation :

- de la vitesse de rotation du porte-pièce (10) autour du premier axe (A1),
- de l'intervalle (z) entre le porte-pièce (10) et l'outil de polissage (20) le long du deuxième axe (A2),
- du déport (x) entre le porte-pièce (10) et l'outil de polissage (20) le long du troisième axe (A3) et
- de l'angle d'attaque (W) entre l'axe de rotation (R) et le premier axe (A1) par basculement autour du quatrième axe (A4).

8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** la commande par interpolation prend en compte en tant que première fonction cible un angle d'attaque (W), dans lequel une force de pression unitaire maximale apparaît sur la longueur d'une face de contact en forme de bande (F) entre la face de polissage (23) et la face de lentille incurvée (101).

9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** la commande par interpolation prend en compte en tant que deuxième fonction cible une face de contact en forme de bande (F) entre la face de polissage (23) et la face de lentille incurvée (101), qui s'étend aux deux extrémités (E1, E2) jusqu'à un bord périphérique (103) de la face de lentille incurvée (101).

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, **caractérisé en ce que** la commande par interpolation prend en compte en tant que troisième fonction cible une force de pression unitaire maximale sur une rotation de la lentille optique (100).

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, **caractérisé en ce que** la commande par interpolation prend en compte en tant que quatrième fonction cible un profil de taille constant dans la face de contact (F) entre la face de polissage (23) et la face de lentille incurvée (101).

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 11, **caractérisé en ce que,** par rotation de l'ébauche de lentille (100) autour du premier axe (A1), l'angle d'attaque (W) entre l'axe de rotation (R) et le premier axe (A1) est soumis deux fois à un basculement en va-et-vient autour du quatrième axe (A4).

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 12, **caractérisé en ce que,** par rotation de l'ébauche de lentille (100) autour du premier axe (A1), le déport (x) entre le porte-pièce (10) et l'outil de polissage (20) est soumis à un mouvement de balancement à deux reprises le long du troisième axe (A3).

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 13, **caractérisé en ce que** la rotation de l'outil de polissage (20) autour de l'axe de rotation (R) entre un démarrage et un freinage se fait à vitesse de rotation constante.

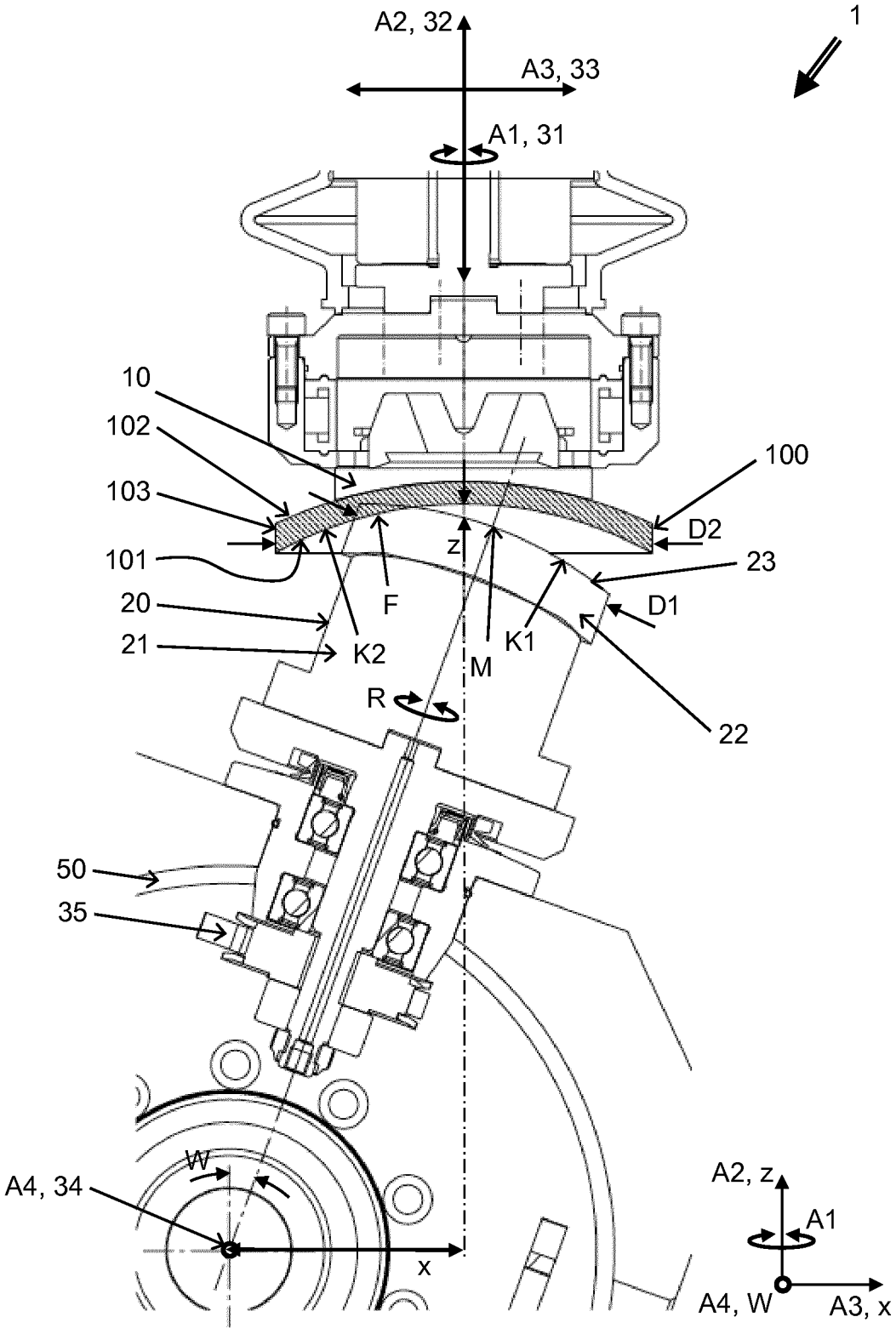

A2, 32
A3, 33
A1, 31
1
10
102
103
101
20
21
100
D2
23
D1
22
z
F
K2
M
K1
R
50
35
A4, 34
W
x
A2, z
A1
A4, W
A3, x

Fig. 1

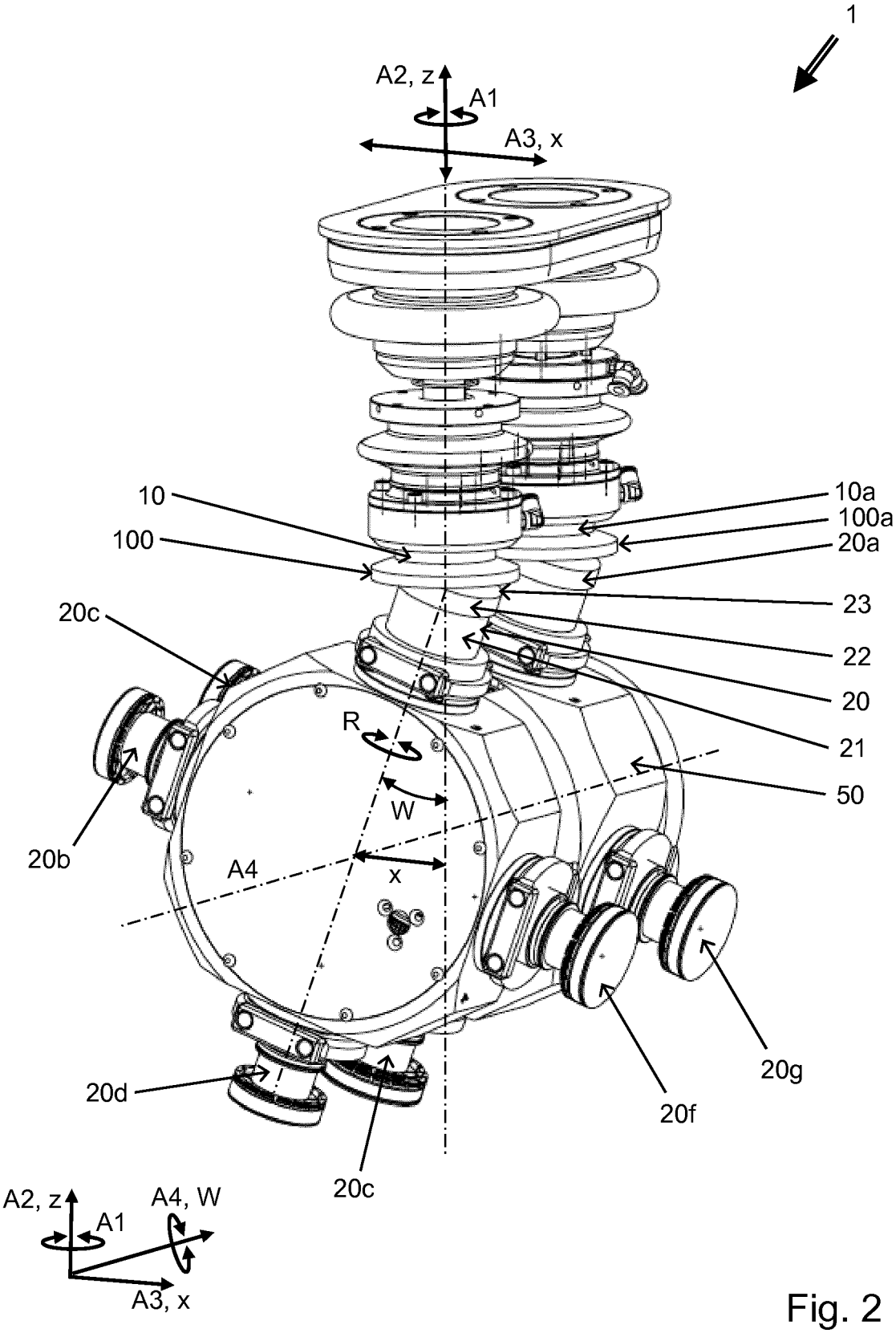

1
A2, z
A1
A3, x
10
100
10a
100a
20a
23
22
20
21
50
20c
R
W
x
A4
20b
20d
20c
20f
20g
A2, z
A1
A4, W
A3, x

Fig. 2

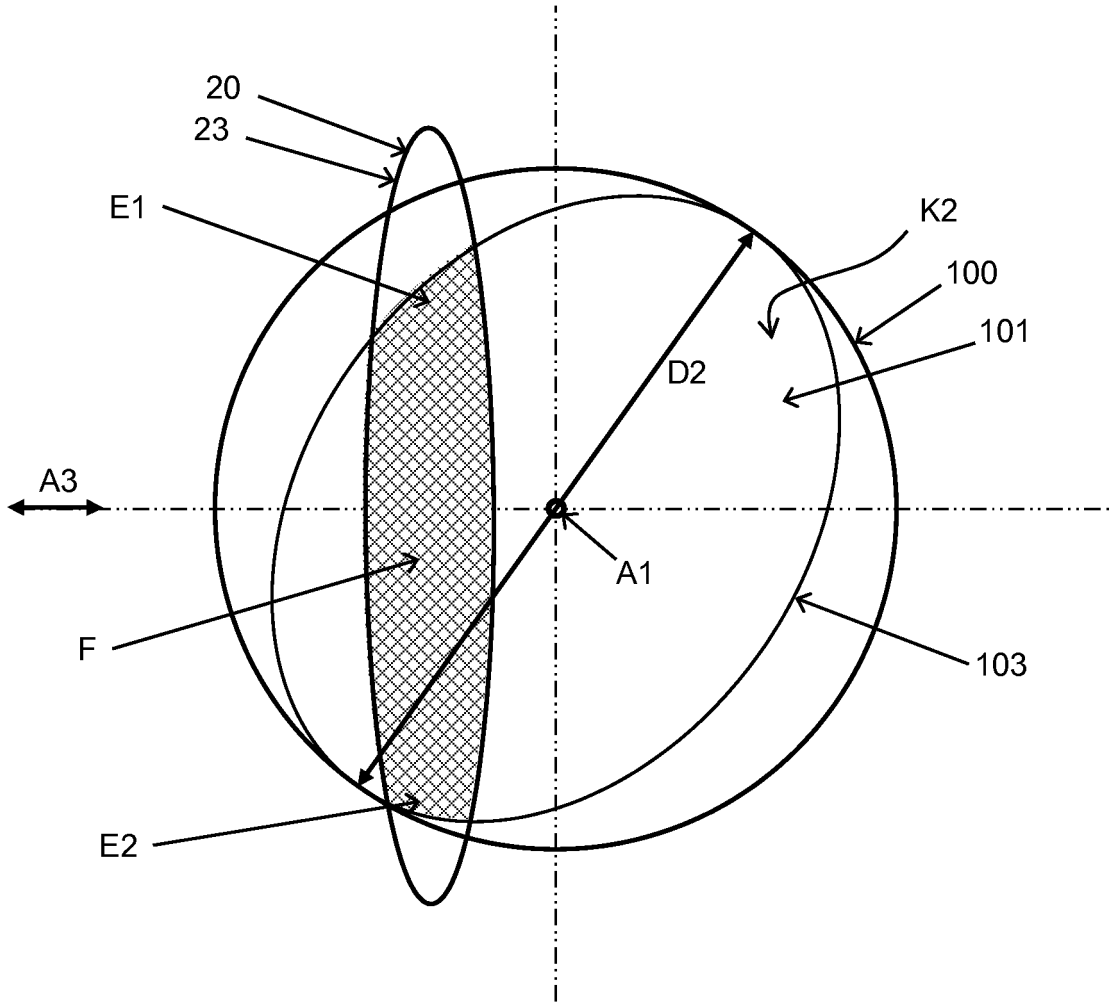


Fig. 3

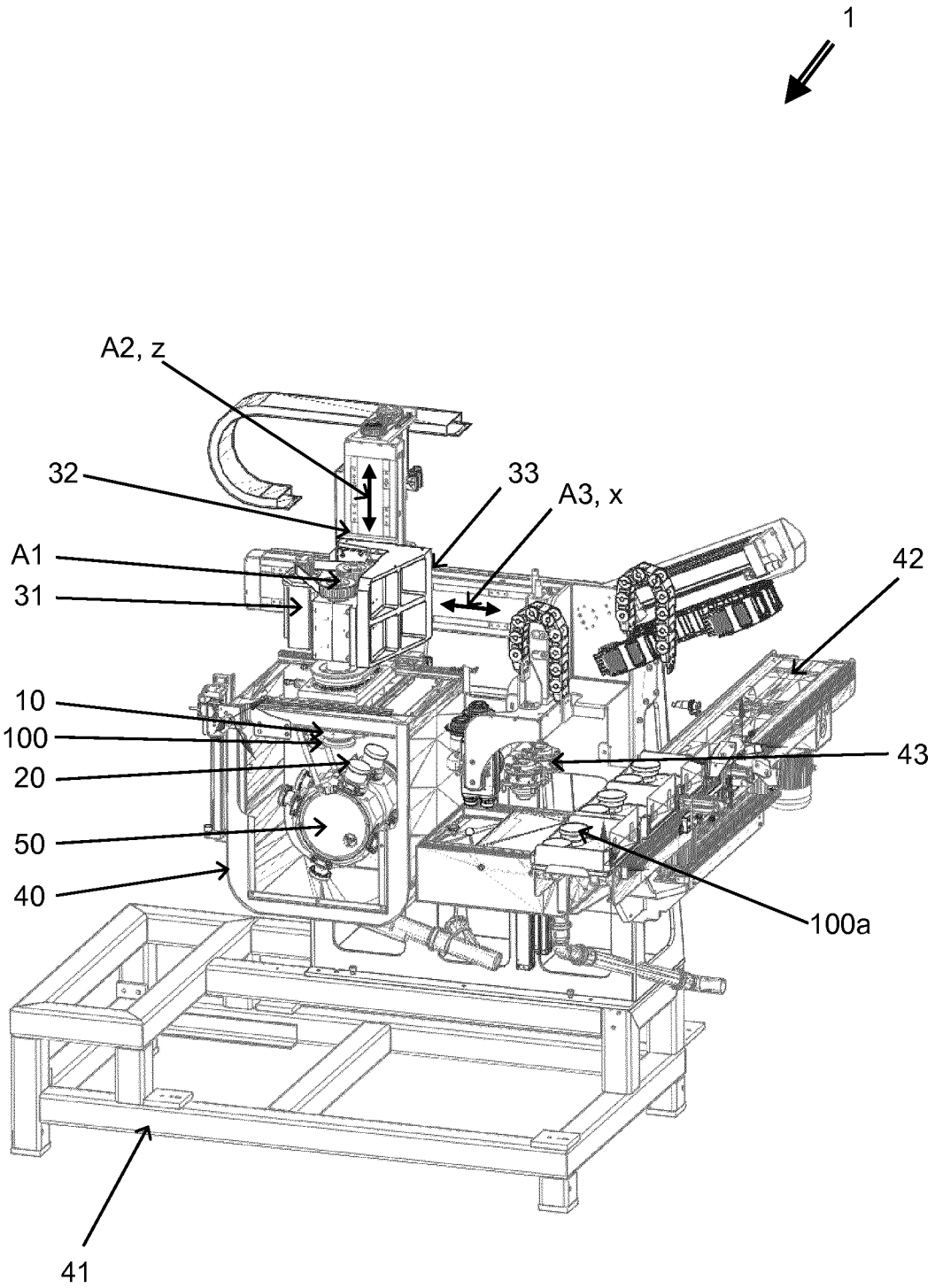


Fig. 4

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102009006797 A1 **[0001]**
- DE 102007026841 A1 **[0002]**