

(19)



(11)

**EP 3 463 751 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**07.05.2025 Patentblatt 2025/19**

(21) Anmeldenummer: **17729015.2**

(22) Anmeldetag: **02.06.2017**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**B24B 13/01** <sup>(2006.01)</sup> **B24B 13/02** <sup>(2006.01)</sup>

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**B24B 13/01; B24B 13/02; B24B 13/06**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2017/025160**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2017/211467 (14.12.2017 Gazette 2017/50)**

(54) **VERFAHREN ZUM POLIEREN VON LINSEN**

METHOD FOR POLISHING LENSES

PROCÉDÉ DE POLISSAGE DE LENTILLES

(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: **06.06.2016 DE 102016006741**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**10.04.2019 Patentblatt 2019/15**

(73) Patentinhaber: **Schneider GmbH & Co. KG**  
**35112 Fronhausen (DE)**

(72) Erfinder:  
• **SCHNEIDER, Gunter**  
**35037 Marburg (DE)**

- **HUTTENHUIS, Stephan**  
**35096 Niederweimar (DE)**
- **FEDOSEEW, Andreas**  
**35390 Geißen (DE)**
- **GEIST, Nadine**  
**35606 Solms (DE)**

(74) Vertreter: **Von Rohr Patentanwälte Partnerschaft mbB**  
**Rüttenscheider Straße 62**  
**45130 Essen (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A1- 1 796 872 DE-A1- 102009 004 787**  
**JP-A- 2000 071 154 US-A- 4 989 316**  
**US-A- 5 320 006 US-A1- 2003 017 783**  
**US-A1- 2013 244 553 US-B1- 6 796 877**

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 3 463 751 B1**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Verwendung eines Werkzeugs zum zonalen Polieren von optischen Werkstücken, insbesondere Linsen.

**[0002]** Die vorliegende Erfindung befasst sich mit dem zonalen Polieren von optischen Werkstücken. Das Werkzeug (Polierwerkzeug) weist eine Polierfläche auf, die nur partiell im Bereich einer Anlagefläche an das zu polierende Werkstück angelegt wird bzw. anlegbar ist. Diese Anlagefläche ist im Vergleich zu der zu polierenden Oberfläche des Werkstücks wesentlich kleiner, insbesondere gegenüber der radialen Erstreckung des Werkstücks. Unter "zonal" soll im Sinne der vorliegenden Erfindung insbesondere nur ein Polieren mit einer solchen "kleinen" Anlagefläche verstanden werden. Demgegenüber erstrecken sich sogenannte Topfwerkzeuge mit ihrer Anlagefläche bzw. ihrem Anlagerand über den gesamten Radius einer zu polierenden Werkstückfläche.

**[0003]** Mit dem vorschlagsgemäßen zonalen Polieren ist insbesondere auch ein Polieren von asphärischen und/oder freigeformten Oberflächen bzw. Werkstücken möglich.

**[0004]** Zum zonalen Polieren werden insbesondere pilzkopfförmige Polierwerkzeuge eingesetzt, wobei ein gewölbter Kopf des Werkzeugs ein flexibles bzw. elastisches Polierelement zur Bildung einer gewölbten Polierfläche trägt. Die EP 1 796 872 B1 zeigt beispielsweise ein solches Werkzeug. Beim Polieren liegt die Polierfläche des Werkzeugs partiell im Bereich ihrer Anlagefläche am Werkstück an, wobei hier der Kippwinkel zwischen der Flächennormalen der Anlagefläche und der Drehachse des Werkzeugs kontinuierlich verändert wird, so dass die Anlagefläche am Werkzeug entlang eines Längengrads wandert.

**[0005]** Das zonale Polieren wird insbesondere für Präzisionsoptiken bzw. Werkstücke mit asphärischen Oberflächen, beispielsweise für Spiegel oder insbesondere Linsen, und insbesondere zum Korrigieren von Fehlern bei der Herstellung eingesetzt. Dementsprechend kommt es darauf an, eine möglichst genaue bzw. definierte Bearbeitung zu ermöglichen. Beim Polieren erfolgt nämlich immer ein gewisser Materialabtrag am Werkstück.

**[0006]** Die DE 10 2004 047 563 A1 offenbart ein Verfahren zum Polieren eines rotierenden Werkstücks mit einem Werkzeug, das eine Gummimembran oder einen Stößel mit einer aufgeklebten Polyurethanmembran aufweist. Auf den genauen Aufbau des Werkzeugs wird nicht näher eingegangen.

**[0007]** Die US 2013/0244553 A1 betrifft eine Feinbearbeitungsmembran zum Polieren von Werkstückoberflächen. Die Membran wird zunächst durch Laminieren hergestellt und anschließend mittels eines konvexen Prägestempels in eine konkave Prägefläche eingepresst, wodurch die Membran gewölbt wird. Die Membran wird mit einem Werkzeug verwendet, wobei zwischen einer Endfläche des Werkzeugs und der gewölb-

ten Membran ein Druckraum vorgesehen ist, der mit einem druckregulierten Fluid befüllbar ist.

**[0008]** Die US 6,796,877 B1 betrifft eine Poliermaschine zum Polieren eines optischen Werkstücks. Die Poliermaschine weist zwei zueinander orthogonale Schwenkmechanismen auf, durch die ein Polierkopf der Poliermaschine schwenkbar ist. Der Polierkopf kann relativ zur Oberfläche des Werkstücks verkippt werden. Die Rotationsgeschwindigkeiten des Polierkopfs und des Werkstücks können gesteuert werden.

**[0009]** Die EP 1 796 872 A1 betrifft ein Verfahren zum Polieren von optischen Linsen. Ein Werkzeug kann dabei um einen Winkel zwischen der jeweiligen Oberflächennormalen eines Werkstücks und der Werkzeugsachse des Werkzeugs verkippt werden. Dabei sind sowohl Verfahren möglich, bei denen der Winkel während der gesamten Bewegung entlang der Werkstückoberfläche konstant bleibt, als auch Verfahren, bei denen der relative Winkel stetig zunimmt.

**[0010]** Die US 4,989,316 betrifft die Oberflächenbearbeitung eines Brillenglasrohlings. Dabei wird ein Schneidwerkzeug mit einer konstanten Rate an der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks entlanggeführt, wobei die Rotationsgeschwindigkeit des Rohlings variiert wird, um die Tangentialgeschwindigkeit des Rohlings relativ zu dem Werkzeug konstant zu halten.

**[0011]** Die US 5,320,006 betrifft ein Verfahren zur Herstellung optischer Linsen. Die Rotationsgeschwindigkeit des Linsenrohlings wird erhöht, während ein Schneidwerkzeug in Richtung der Rotationsachse des Werkzeugs bewegt wird.

**[0012]** Die US 2003/0017783 A1 betrifft ein torisches Werkzeug zum Polieren einer optischen Oberfläche einer Linse und ein Verfahren zum Polieren einer atorischen Oberfläche unter Verwendung des Werkzeugs. Das Werkzeug umfasst eine elastische Schicht und eine daran angeklebte Polierschicht, die eine torische Oberfläche zum Polieren bildet. Zum Polieren einer atorischen Oberfläche kann die elastische Schicht zusammengedrückt und die Polierschicht verformt werden.

**[0013]** Die JP 2000-071154 A betrifft ein Herstellungsverfahren für ein Polierwerkzeug. Eine Polierfolie wird hierbei auf einen Werkzeuggrundkörper aufgepresst.

**[0014]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Verwendung zum zonalen Polieren von optischen Werkstücken anzugeben, wobei ein besonders genaues bzw. definiertes Polieren des jeweiligen Werkstücks, insbesondere auch einer asphärischen Oberfläche, bei vorzugsweise einfachem Aufbau ermöglicht wird.

**[0015]** Die obige Aufgabe wird durch eine Verwendung gemäß Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0016]** Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung weist das für das zonale Polieren verwendete Werkzeug eine elastische Kappe zur Bildung einer Polierfläche bzw. eines Polierbelags auf, die spannungsfrei auf einem gewölbten Kopf des Werkzeugs sitzt bzw. ist,

vorzugsweise wobei die Kappe zur Formanpassung an die Wölbung des Kopfs vorgeformt bzw. formbearbeitet ist. So lässt sich ein besonders definiertes Federverhalten der Kappe bzw. davon gebildeten Polierfläche auf einfache Weise erreichen. Insbesondere kann nämlich durch die Vorformung oder Formbearbeitung vor dem Anbringen bzw. Ankleben der Kappe am Werkzeugkopf erreicht werden, dass ansonsten bei der Anpassung an die Wölbung auftretende, meistens undefinierte Verformungen, Spannungen und dergleichen im Kappenmaterial vermieden oder zumindest minimiert werden.

**[0017]** Vorzugsweise ist die Kappe mehrschichtig aufgebaut und weist insbesondere ein Zwischenelement und ein Polierelement auf. Dies ist der Erreichung der gewünschten Eigenschaften, insbesondere hinsichtlich des Federverhaltens, des Abriebverhaltens und des Polierverhaltens, zuträglich.

**[0018]** Insbesondere bildet das Polierelement einen Polierbelag bzw. eine Polierfolie oder Polierschicht.

**[0019]** Vorzugsweise bildet bei der vorliegenden Erfindung generell die Polierfläche bzw. der von der Kappe oder dem Polierelement gebildete Polierbelag einen Poliermittelträger für ein Poliermittel. Das vorschlagsgemäße Polieren bezieht sich auf das Polieren mit einem Poliermittel, das insbesondere in Form einer Suspension mit Polierteilchen, wie feinsten Körnchen, Partikeln o. dgl., vorliegt bzw. eingesetzt wird. Die Polierfläche dient insbesondere auch dazu, das Poliermittel in einen Wirkspalt zwischen der Anlagefläche des Werkzeugs und der zu polierenden Oberfläche zu transportieren und/oder darin zu verteilen bzw. zu bewegen und/oder mit dem Poliermittel auf der Oberfläche zu reiben.

**[0020]** Insbesondere wird durch das Polieren die Rauheit der Oberfläche reduziert und/oder können die bei einer vorhergehenden Formgebung, beispielsweise durch Schleifen, entstandenen Risse im Material entfernt werden. Dabei wird jeweils Material abgetragen. Das abgetragene Material wird von dem Werkzeug bzw. der Polierfläche auch mittels des Poliermittels aus dem Wirkspalt zwischen Polierfläche und zu polierender Oberfläche weg gefördert.

**[0021]** Generell bezieht sich die vorliegende Erfindung insbesondere also auf das Polieren eines Werkstücks mit Hilfe eines Werkzeugs und eines Poliermittels. Jedoch kann das Polieren alternativ auch ohne separates bzw. zusätzliches Poliermittel, sondern nur mit dem Werkzeug erfolgen.

**[0022]** Die Polierfläche ist je nach Poliermittel wahlweise porös oder nicht porös ausgebildet und/oder mit einer günstigen Oberflächenstruktur bzw. Textur versehen, um den gewünschten Poliereffekt insbesondere mit einem bestimmten Poliermittel bei dem jeweiligen Werkstückmaterial zu erreichen.

**[0023]** Vorzugsweise sind das Zwischenelement und auch das Polierelement zur Formanpassung an die Wölbung vorgeformt bzw. formbearbeitet. Das Polierelement ist dann an die Form des Zwischenelements durch vorherige Formgebung angepasst. So können auch Span-

nungen zwischen den beiden Elementen vermieden oder zumindest minimiert werden.

**[0024]** Die Vorformung kann beispielsweise durch entsprechendes Schäumen oder sonstiges Urformen mit der gewünschten Form erfolgen.

**[0025]** Die Formbearbeitung erfolgt vorzugsweise durch Materialabtrag bzw. mechanische Bearbeitung der Kappe bzw. der die Kappe bildenden Elemente, insbesondere durch Fräsen und/oder Drehen, beispielsweise aus Platten- bzw. Vollmaterial.

**[0026]** Das Polierelement ist vorzugsweise wesentlich dünner als das Zwischenelement ausgebildet.

**[0027]** Vorzugsweise ist die Kappe bzw. sind das Zwischenelement und das Polierelement aufgeklebt. Dies gestattet einen einfachen Aufbau.

**[0028]** Besonders bevorzugt weist das Werkzeug im Bereich des Kopfs einen Bund oder sonstigen Anschlag zur umfangsseitigen Abstützung und/oder Positionierung der Kappe auf. Dies ist einer einfachen und definierten Herstellung zuträglich.

**[0029]** Bei der vorschlagsgemäßen Verwendung wird das Werkzeug vorzugsweise in einer Vorrichtung und/oder bei einem Verfahren eingesetzt.

**[0030]** Vorzugsweise zeichnen sich die Vorrichtung und das Verfahren insbesondere dadurch aus, dass der Durchmesser der Anlagefläche des Werkzeugs am Werkstück und/oder der Kippwinkel der Rotationsachse des Werkzeugs zu der Normalen (Flächennormalen) der Anlagefläche während des Polierens des Werkstücks, also während des jeweiligen Poliervorgangs, zumindest im Wesentlichen konstant gehalten wird bzw. werden. Dies ist einem definierten Polieren mit insbesondere definiertem Materialabtrag zuträglich.

**[0031]** Vorzugsweise wird das Werkzeug von einem Rand einer zu polierende Oberfläche des Werkstücks über die Mitte bis zur gegenüberliegenden Seite des Rands bewegt. Hierdurch wird ein besonders gleichmäßiges Polieren ermöglicht, insbesondere auch im Bereich der optisch wichtigen und sensiblen Mitte des Werkstücks. Das übliche Anhalten oder Beenden des Poliervorgangs im Bereich der Mitte führt nämlich meistens zu einem ungleichmäßigen und/oder undefinierten Materialabtrag.

**[0032]** Vorzugsweise wird die Eindrücktiefe der insbesondere elastisch verformbaren Polierfläche am Werkzeug durch entsprechende Zustellung des Werkzeugs relativ zum Werkstück während des Poliervorgangs vorzugsweise variiert, gesteuert bzw. geregelt, besonders bevorzugt in Abhängigkeit von der radialen Lage der Anlagefläche auf dem Werkstück, dem gewünschten Durchmesser der Anlagefläche, dem (gewünschten) Anlagedruck des Werkzeugs am Werkstück und/oder dem Profil des Werkstücks, insbesondere der Krümmung des Werkstücks im Bereich der jeweiligen Anlagefläche. Dies ist einem definierten Polieren und einem definierten Materialabtrag zuträglich, wobei auch eine Optimierung der für das Polieren benötigten Zeit ermöglicht wird.

**[0033]** Optional wird der Abstand benachbarter Spu-

ren des vorzugsweise spiralförmigen Polierwegs der Anlagefläche auf dem Werkstück bzw. der zu polierenden Oberfläche zumindest im Wesentlichen konstant gehalten. Dies ist einem definierten Polieren bzw. einem definierten Materialabtrag zuträglich.

**[0034]** Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die Rotationsgeschwindigkeit des Werkstücks während einer Umdrehung in Abhängigkeit von der Drehlage, einer lokal gewünschten Verweildauer (Polierzeit), dem Durchmesser der Anlagefläche, des Anlagedrucks des Werkzeugs am Werkstück und/oder dem Profil des Werkstücks, insbesondere im Bereich der jeweiligen Anlagefläche, variiert bzw. gesteuert oder geregelt. Hierdurch kann auch unter Berücksichtigung des tatsächlichen dreidimensionalen Verlaufs der zu polierenden Oberfläche ein optimales Polieren mit definiertem Materialabtrag und/oder eine Beeinflussung oder Steuerung erreicht werden.

**[0035]** Das Werkzeug ist vorzugsweise mit einer Polierfläche versehen, die aus zumindest im Wesentlichen geschlossenen Poren gebildet ist, insbesondere wobei die Polierfläche zu mehr als 1 oder 5 % (bezogen auf die Flächenerstreckung oder Porenanzahl) durch Poren mit einer Größe von mehr als 0,5 mm und/oder zu mehr als 25 oder 50 % (bezogen auf die Flächenerstreckung oder der Porenanzahl) aus Poren mit einer Größe von weniger als 0,4 oder 0,3 mm, besonders bevorzugt weniger als 0,1 mm, gebildet ist und/oder insbesondere wobei die Größe der Poren an der Polierfläche weniger als 1 mm, insbesondere weniger 0,9 mm, beträgt und/oder insbesondere wobei die Polierfläche nicht mechanisch bearbeitet bzw. nicht abgerichtet ist. Als Größe der Poren wird insbesondere der mittlere oder maximale Durchmesser angesehen. Aus Versuchen hat sich nämlich ergeben, dass eine solche Polierfläche besonders gute Poliereigenschaften, insbesondere beim Polieren von Präzisionsoptiken bzw. Glas, zeigt.

**[0036]** Besonders bevorzugt wird die Polierfläche bzw. der diese bildende Polierbelag bzw. Kappe aus Polyurethan oder einem sonstigen geeigneten Schaum oder Kunststoff hergestellt.

**[0037]** Das Werkzeug wird für das zonale Polieren verwendet. Vorzugsweise wird das Werkzeug für die Vorrichtung zum Polieren hergestellt und vorbereitet, ist also ein (weiteres) Konditionieren oder Abrichten des Polierwerkzeugs im Neuzustand in der Poliermaschine, wie insbesondere bei der Präzisionsbearbeitung üblich, nicht (mehr) erforderlich.

**[0038]** Besonders bevorzugt wird das zu polierende Werkstück zunächst vermessen und Fehler können dann durch Korrekturpolieren mit dem vorschlagsgemäßen Werkzeug, der vorschlagsgemäßen Vorrichtung bzw. den vorschlagsgemäßen Verfahren korrigiert werden.

**[0039]** Das vorschlagsgemäße Werkzeug, die vorschlagsgemäße Vorrichtung und/oder die vorschlagsgemäßen Verfahren können insbesondere zum Vorpolieren und/oder Korrekturpolieren eingesetzt werden.

**[0040]** Weitere Aspekte, Merkmale, Vorteile und Ei-

genschaften der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung. Es zeigt:

5

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer vorschlagsgemäßen Vorrichtung zum Polieren eines optischen Werkstücks, wobei verschiedene Positionen eines vorschlagsgemäßen Werkzeugs mit zugeordneter Werkzeugspindel dargestellt sind;

10

Fig. 2 einen schematischen Schnitt des vorschlagsgemäßen Werkzeugs;

15

Fig. 3 eine schematische Draufsicht einer zu polierenden Oberfläche des Werkstücks, wobei eine Anlagefläche des Werkzeugs und der auf dem Werkstück zurückgelegte Polierweg schematisch angedeutet sind; und

20

Fig. 4 eine ausschnittsweise Vergrößerung von Fig. 1 zur Veranschaulichung des am Werkstück anliegenden Werkzeugkopfs.

25

**[0041]** Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung eine vorschlagsgemäße Vorrichtung 1 zum insbesondere zonalen Polieren eines optischen Werkstücks 2, insbesondere einer Linse, eines Spiegels oder dergleichen, besonders bevorzugt aus Glas.

30

**[0042]** Die Vorrichtung 1 ist zum Polieren des Werkstücks 2 mittels eines insbesondere vorschlagsgemäßen Werkzeugs 3 oder eines sonstigen Werkzeugs ausgebildet. Der bevorzugte Aufbau des vorschlagsgemäßen Polierwerkzeugs 3 wird insbesondere noch anhand von Fig. 2 näher erläutert.

35

**[0043]** Bei der Darstellung gemäß Fig. 1 ist das Werkzeug 3 zusammen mit einer zugeordneten Werkzeugspindel 13 der Vorrichtung 1 in drei verschiedenen Positionen insbesondere zur Veranschaulichung der Bewegbarkeit des Werkzeugs 3 bzw. eines bevorzugten Verfahrensablaufs dargestellt.

40

**[0044]** Das vorschlagsgemäße Werkzeug 3 ist in einem schematischen Schnitt in Fig. 2 dargestellt. Es weist vorzugsweise einen Träger 4 mit einem gewölbten Kopf 5 sowie eine insbesondere halbkugelförmige oder kegelförmige Kappe 6 auf.

45

**[0045]** Die Kappe 6 ist vorzugsweise mehrschichtig aufgebaut und weist beim Darstellungsbeispiel vorzugsweise ein Zwischenelement 7 und ein Polierelement 8 auf.

50

**[0046]** Das Werkzeug 3, die Kappe 6 bzw. deren Zwischenelement 7 ist am Kopf 5 des Werkzeugs 3 angebracht, insbesondere auf diesen aufgeklebt.

55

**[0047]** Die Kappe 6 bzw. deren Polierelement 8 bildet eine Polierfläche 9.

**[0048]** Die Polierfläche 9 des Werkzeugs 3 bzw. der Kappe 6 bzw. des Elements 8 ist vorzugsweise konvex

gewölbt, insbesondere geometrisch ähnlich zu dem Kopf 5 bzw. passend dazu gewölbt und/oder vorzugsweise sphärisch bzw. halbkugelförmig und/oder kegelförmig ausgebildet.

**[0049]** Das Polierelement 8 ist auf dem Zwischenelement 7 angebracht, insbesondere auf dieses aufgeklebt.

**[0050]** Alternativ kann die Kappe 6 jedoch auch einstückig ausgebildet und/oder mehrschichtig durch Bi-Injektion oder dergleichen hergestellt sein.

**[0051]** Die Kappe 6 bzw. das Zwischenelement 7 und/oder das Polierelement 8 ist bzw. sind vorzugsweise aus Kunststoff bzw. Schaumstoff und/oder aus einem elastischen und/oder flexiblen Material hergestellt.

**[0052]** Besonders bevorzugt ist das Zwischenelement 7 aus einem vorzugsweise geschlossenzelligen Schaumstoff, insbesondere aus Polyurethan, hergestellt.

**[0053]** Die Kappe 6 bzw. das Zwischenelement 7 weist vorzugsweise einen statischen Elastizitätsmodul bei statischer Dauerlast von mehr als 0,5 N/mm<sup>2</sup>, vorzugsweise mehr als 1 N/mm<sup>2</sup>, insbesondere mehr als 1,5 N/mm<sup>2</sup>, und/oder weniger als 30 N/mm<sup>2</sup>, vorzugsweise weniger als 15 N/mm<sup>2</sup>, insbesondere weniger als 7,0 N/mm<sup>2</sup>, und/oder einen dynamischen Elastizitätsmodul bei einer dynamischen Dauerlast von 10 Hz von mehr als 0,5 N/mm<sup>2</sup>, vorzugsweise mehr als 1 N/mm<sup>2</sup>, insbesondere mehr als 1,3 N/mm<sup>2</sup>, und/oder weniger als 20 N/mm<sup>2</sup>, vorzugsweise weniger als 10 N/mm<sup>2</sup>, insbesondere weniger als 8,0 N/mm<sup>2</sup>, und/oder eine Stauchhärte bei 10% iger Verformung von mehr als 0,05 N/mm<sup>2</sup>, vorzugsweise mehr als 0,1 N/mm<sup>2</sup>, insbesondere mehr als 0,2 N/mm<sup>2</sup>, und/oder weniger als 3 N/mm<sup>2</sup>, vorzugsweise weniger als 2 N/mm<sup>2</sup>, insbesondere weniger als 1 N/mm<sup>2</sup>, auf, jeweils insbesondere gemessen gemäß DIN 53513:1990-03.

**[0054]** Das Polierelement 8 ist vorzugsweise aus einem härteren und/oder steiferen Material als das Zwischenelement 7 hergestellt.

**[0055]** Das Polierelement 8 ist vorzugsweise dünnwandig und/oder folienartig ausgebildet.

**[0056]** Das Raumgewicht - vorzugsweise nach DIN EN ISO 845:2009-10 - des Polierelements 8 beträgt vorzugsweise mehr als 300 kg/m<sup>3</sup>, insbesondere mehr als 500 kg/m<sup>3</sup>, besonders bevorzugt mehr als 700 kg/m<sup>3</sup>, und/oder vorzugsweise weniger als 4000 kg/m<sup>3</sup>, insbesondere weniger als 3000 kg/m<sup>3</sup>, besonders bevorzugt weniger als 2000 kg/m<sup>3</sup>.

**[0057]** Das Polierelement 8 bzw. die Kappe 6 oder Polierfläche 9 weist vorzugsweise eine Shore-Härte A von mehr als 5, insbesondere mehr als 10, besonders bevorzugt mehr als 20, und/oder vorzugsweise weniger als 90, insbesondere weniger als 80, besonders bevorzugt weniger als 70, insbesondere gemäß DIN ISO EN 868:2003-10 bzw. DIN ISO 7619-1:2012-02, auf.

**[0058]** Das Polierelement 8 weist vorzugsweise eine Dicke von mehr als 0,1 mm, insbesondere mehr als 0,3 mm, besonders bevorzugt mehr als 0,4 mm, und/oder von vorzugsweise weniger als 3 mm, insbesondere we-

niger als 2 mm, besonders bevorzugt weniger als 1 mm, auf.

**[0059]** Die Dicke des Zwischenelements 7 beträgt vorzugsweise mehr als 2 mm und/oder weniger als 10 mm, insbesondere etwa 3 bis 7 mm.

**[0060]** Die Dicke des Zwischenelements 7 beträgt vorzugsweise mindestens das 5-fache, insbesondere etwa das 10-fache, der Dicke des Polierelements 8 oder mehr.

**[0061]** Die Kappe 6, das Zwischenelement 7 und/oder das Polierelement 8 weist bzw. weisen vorzugsweise jeweils eine zumindest im wesentlichen konstante Dicke auf.

**[0062]** Das Polierelement 8 bzw. die Polierfläche 9 ist vorzugsweise aus einem offenzelligen oder geschlossenzelligen Kunststoff oder Verbundwerkstoff oder dergleichen gebildet oder hergestellt.

**[0063]** Beim Darstellungsbeispiel ist das Polierelement 8 vorzugsweise aus einer Kunststoffolie bzw. aus Polyurethan hergestellt.

**[0064]** Die Kappe 6 bzw. das Zwischenelement 7 und/oder Polierelement 8 ist bzw. sind zur Formanpassung an die Wölbung des Kopfs 5 und/oder Erreichung einer gewünschten Wölbung oder sonstigen Form, wie einer Kugel, vorzugsweise innen und/oder außen vorgeformt oder formbearbeitet, also vor dem Anbringen am Werkzeug 3 bzw. Kopf 5 in ihrer Form des Kopfs 5 angepasst, insbesondere mit einer komplementären Wölbung zum Kopf 5 bzw. Zwischenelement 7 versehen.

**[0065]** Das Werkzeug 3 bzw. der Kopf 5 bildet vorzugsweise eine feste bzw. nicht nachgiebige Fläche aus Metall oder einem sonstigen geeigneten Material zur Abstützung und insbesondere auch Befestigung der darauf angeordneten Kappe 6 bzw. Elemente 7, 8.

**[0066]** Die Formgebung bzw. Formbearbeitung der Kappe 6 bzw. des Zwischenelements 7 und/oder Polierelements 8 erfolgt besonders bevorzugt mechanisch, insbesondere durch Drehen und/oder Fräsen.

**[0067]** Besonders bevorzugt wird Vollmaterial zur gewünschten Formgebung mechanisch bearbeitet.

**[0068]** Die mechanische Bearbeitung hat den Vorteil, dass eine sehr gleichmäßige Materialschicht, ohne Materialstauchungen, Verformungen oder sonstigen Materialunregelmäßigkeiten mit der gewünschten Form, hier insbesondere einer kappenartigen bzw. sphärischen, ggf. auch sonstigen Form hergestellt werden kann.

**[0069]** Alternativ kann die genannte Formgebung beispielsweise auch durch entsprechendes Schäumen oder sonstiges Urformen erfolgen.

**[0070]** Die vorgeformte bzw. formbearbeitete Kappe 6 bzw. entsprechend vorgeformten oder formbearbeiteten Elemente 7 und 8 wird bzw. werden am Werkzeug 3 bzw. Kopf 5 angebracht, insbesondere durch Kleben.

**[0071]** Besonders bevorzugt wird auch das Polierelement 8 am Zwischenelement 7 durch Kleben angebracht. Jedoch kann auch ein sonstiges Verbinden damit erfolgen.

**[0072]** Besonders bevorzugt ist oder sitzt die Kappe 6 bzw. das Zwischenelement 7 auf dem Kopf 5 spannungs-

frei.

**[0073]** Erfindungsgemäß ist unter "spannungsfrei" insbesondere zu verstehen, dass im aufgebracht Zustand keine lokalen Materialverformungen oder Spannungen im Material der Kappe 6 bzw. Elemente 7, 8 durch Anpassen an die Wölbung auftreten, die durch die bei der Verformung zur Anpassung an die gewölbte Form entstehen würden und die ein gleichmäßiges und insbesondere definiertes Feder- und Dämpfungsverhalten der Kappe 6 bzw. Elemente 7, 8 negativ beeinflussen (können).

**[0074]** Vorzugsweise soll entsprechend auch das Polierelement 8 spannungsfrei in diesem Sinne angebracht sein, insbesondere auch um eine evtl. Faltenbildung zu vermeiden.

**[0075]** Besonders bevorzugt ist das Polierelement 8 an die Wölbung der Außenseite des Zwischenelements 7 durch entsprechende Vorformung, insbesondere Formbearbeitung, vor der Anbringung an oder Verbindung mit dem Zwischenelement 7 angepasst.

**[0076]** Das Werkzeug 3 bzw. die Kappe 6 bzw. das Polierelement 8 bzw. die Polierfläche 9 ist insbesondere derart ausgebildet, dass ein nicht dargestelltes Poliermittel über die Polierfläche 9 transportiert und dadurch das Werkstück 2 in einem mechanisch-chemischen Abtragsprozess bearbeitet und dadurch poliert werden kann, wie schon eingangs beschrieben.

**[0077]** Zur Erleichterung der Anbringung und/oder Positionierung der Kappe 6 bzw. Elemente 7, 8 weist das Werkzeug 3 bzw. dessen Träger 4 vorzugsweise einen Bund 10 oder sonstigen Anschlag auf, der insbesondere seitlich vom Kopf 5 abragt und/oder eine vorzugsweise umlaufende Schulter oder dergleichen bildet.

**[0078]** Das Werkzeug 3 bzw. der Träger 4 weist vorzugsweise einen Anschlussabschnitt 11 und/oder einen Anschlag 12 zur definierten Befestigung bzw. Halterung des Werkzeugs 3 an der zugeordneten Werkzeugspindel 13 bzw. deren Werkzeugfutter 14 o. dgl. auf.

**[0079]** Besonders bevorzugt wird das Werkzeug 3 mittels des Werkzeugfutters 14 an der Werkzeugspindel 13 eingespannt bzw. befestigt. Der Anschlag 12 dient hierbei insbesondere einer definierten Axiallage des Werkzeugs 3 an der Werkzeugspindel 13 bzw. am Werkzeugfutter 14. Jedoch sind auch andere konstruktive Lösungen möglich.

**[0080]** Vorzugsweise werden Werkzeuge 3 mit unterschiedlichen Wölbungsradien des Kopfs 5 bzw. der Kappe 6 bzw. der Polierfläche 9 je nach Form der zu polierenden Oberfläche 2A eingesetzt.

**[0081]** Der Krümmungsradius der Polierfläche 9 beträgt vorzugsweise mehr als 2 mm, insbesondere mehr als 3 mm oder 5 mm, und/oder vorzugsweise weniger als 1000 mm, insbesondere weniger als 500 mm, besonders bevorzugt weniger als 100 mm, vorzugsweise in Abhängigkeit von der (maximalen) Krümmung der zu polierenden Oberfläche 2A und/oder des gewünschten Einsatzes. Beim Korrekturpolieren werden nämlich Werkzeuge 3 mit kleineren Krümmungsradien von vorzugs-

weise unter 100 mm eingesetzt.

**[0082]** Der Abstand der Polierfläche 9, insbesondere im Schnittpunkt mit der Rotationsachse R, zu dem Anschlag 12 ist vorzugsweise bei allen Werkzeugen 3 auch bei unterschiedlicher Wölbung bzw. Krümmung gleich.

**[0083]** Die vorschlagsgemäße Vorrichtung 1 weist die Werkzeugspindel 13 zum Rotieren des zugeordneten bzw. eingespannten Werkzeugs 3 um eine Rotationsachse R auf, wie in Fig. 1 angedeutet.

**[0084]** Die Rotationsgeschwindigkeit beträgt vorzugsweise etwa 1000 bis 5000 Umdrehungen pro Minute.

**[0085]** Die Rotationsgeschwindigkeit wird vorzugsweise gesteuert oder geregelt.

**[0086]** Vorzugsweise wird die Rotationsgeschwindigkeit während des Poliervorgangs konstant gehalten. Jedoch ist grundsätzlich auch eine Änderung der Rotationsgeschwindigkeit während eines Poliervorgangs oder eine Anpassung der Rotationsgeschwindigkeit auf ein jeweiliges Werkzeug 3 und/oder Werkstück 2 bzw. für jeden Poliervorgang möglich.

**[0087]** Die Rotation des Werkzeugs 3 erfolgt vorzugsweise ohne Erfassung des Drehwinkels. Es handelt sich also insbesondere nicht um eine gesteuerte Rotationsachse im Sinne einer CNC-Steuerung.

**[0088]** Die Werkzeugspindel 13 und damit das Werkzeug 3 sind um eine Schwenkachse B schwenkbar. Insbesondere handelt es sich um eine gesteuerte oder geregelte Schwenkachse bzw. CNC-Achse, auch Rundachse genannt. Insbesondere wird die Schwenklage erfasst. So wird ein definiertes Schwenken ermöglicht, wie beispielhaft durch die drei unterschiedlichen Positionen in Fig. 1 dargestellt.

**[0089]** Die Schwenkachse B verläuft beim Darstellungsbeispiel quer und insbesondere senkrecht zu der Rotationsachse R bzw. Zeichenebene.

**[0090]** Die Schwenkachse B ist vorzugsweise möglichst nah am Werkzeug 3 bzw. an der Polierfläche 9 und/oder an dem Werkzeugfutter 14 angeordnet.

**[0091]** Die Vorrichtung 1 weist einen Werkstückantrieb 15, insbesondere eine Werkstückspindel, für das Werkstück 2 auf, so dass das zu polierende Werkstück 2 um die Rotationsachse C mit definierter Winkellage rotierbar ist.

**[0092]** Vorzugsweise wird das Werkstück 2 mittels eines Halters 16, wie eines Blockstücks, und/oder mittels eines Futters am Werkstückantrieb 15 mit definierter Winkellage gehalten bzw. mit diesem gekoppelt.

**[0093]** Bei der Rotationsachse C handelt es sich insbesondere um eine gesteuerte bzw. geregelte Achse bzw. eine CNC-Achse, auch Rundachse genannt. Vorzugsweise wird hier also auch die Drehwinkellage erfasst. Besonders bevorzugt wird eine winkelabhängige Variation der Rotationsgeschwindigkeit auch innerhalb einer Umdrehung ermöglicht.

**[0094]** Die Rotationsgeschwindigkeit des Werkstückantriebs 15 bzw. des Werkstücks 2 ist generell variierbar, insbesondere beispielsweise von etwa 10 oder 20 Umdrehungen pro Minute (zum Polieren am Rand 2C der

zu polierenden Seite 2A des Werkstücks 2) bis hin zu etwa 2000 bis 3000 Umdrehungen pro Minute (zum Polieren im Bereich der Mitte 2B des Werkstücks 2).

**[0095]** Die C-Achse verläuft vorzugsweise in einer Ebene mit der Rotationsachse R (unabhängig von der Schwenklage der Werkzeugspindel 13) und/oder quer bzw. senkrecht zu der Schwenkachse B.

**[0096]** Der Werkstückantrieb 15 und damit das Werkstück 2 sind vorzugsweise linear in Z-Richtung bewegbar bzw. verstellbar, wie in Fig. 1 angedeutet. Die Verstellung erfolgt insbesondere mittels eines nicht dargestellten Schlittens und Verstellantriebs oder dergleichen.

**[0097]** Die Z-Achse verläuft vorzugsweise parallel zur C-Achse und/oder quer bzw. senkrecht zur Schwenkachse B.

**[0098]** Die Werkzeugspindel 13 und damit das Werkzeug 3 ist vorzugsweise quer in X-Richtung verstellbar, insbesondere mittels eines nicht dargestellten Schlittens und eins zugeordneten Antriebs. Dieser Schlitten trägt dann vorzugsweise auch die B-Achse und den entsprechenden Schwenkantrieb zum Schwenken der Werkzeugspindel 13.

**[0099]** Die X-Achse und Z-Achse sind vorzugsweise jeweils als gesteuerte bzw. geregelte Achse bzw. als CNC-Achse oder Linearachse ausgebildet, so dass eine genaue Positionierung in X- und Z-Richtung ermöglicht wird.

**[0100]** Die X-Achse verläuft vorzugsweise quer bzw. senkrecht zu der C-Achse, B-Achse und/oder Z-Achse.

**[0101]** Die X-Achse verläuft vorzugsweise in der oder parallel zu der gemeinsamen Ebene der C-Achse und R-Achse.

**[0102]** Die Achsen können auch anders gestapelt bzw. verteilt werden. Beispielsweise kann die Z-Achse der Werkzeugspindel 13 statt dem Werkstückantrieb 15 zugeordnet sein. Alternativ oder zusätzlich ist es auch möglich, dass die B-Achse und/oder X-Achse nicht werkzeugseitig, sondern werkstückseitig realisiert werden.

**[0103]** Jedoch ist es wünschenswert, die Achsen auf die Werkzeugseite und Werkstückseite zu verteilen, um eine größere Bearbeitungsgenauigkeit zu ermöglichen.

**[0104]** Bei der Vorrichtung 1 handelt es sich insbesondere um eine Poliermaschine bzw. CNC-Maschine mit X-, Z-, B- und C-Achse.

**[0105]** Vorzugsweise verläuft die X-Achse und/oder die B-Achse horizontal.

**[0106]** Besonders bevorzugt verläuft die C-Achse und/oder die Z-Achse vertikal.

**[0107]** Besonders bevorzugt befinden sich die Polierwerkzeuge 3 jeweils mit ihren Polierflächen 9 in Höhe bzw. in der Nähe der B-Achse, so dass die Anlagefläche A möglichst mit minimalem Radius geschwenkt werden kann.

**[0108]** Die B-Achse ist vorzugsweise weniger als 100 oder 50 mm, insbesondere weniger als 30 oder 15 mm, besonders bevorzugt weniger als 10 mm von der Polierfläche 9 bzw. Anlagefläche A, insbesondere von dem Schnittpunkt der Rotationsachse R mit der Polierfläche 9,

beabstandet. Insbesondere ist dieser Abstand auch bei Werkzeugen 3 mit anderen Krümmungsradien der Polierfläche 9 vorzugsweise zumindest im Wesentlichen gleich groß.

**[0109]** Die B-Achse schneidet die Rotationsachse R vorzugsweise innerhalb der Kappe 6 bzw. Polierfläche 9.

**[0110]** Durch entsprechende relative Verstellung, insbesondere also durch Bewegungen in X- und Z-Richtung sowie durch Schwenken um die B-Achse kann das Werkzeug 3 insbesondere wie durch Pfeil W in Fig. 1 und in Fig. 3 schematisch angedeutet über das Werkstück 2 bzw. die zu polierende Oberfläche 2A bewegt werden.

**[0111]** Besonders bevorzugt wird das Werkzeug 3 ausgehend von einem Rand 2C des Werkstücks 2 bzw. der Oberfläche 2A zur Mitte 2B hin und über diese hinaus bis zur gegenüberliegenden Seite des Rands 2C bewegt, wie in Fig. 1 und 3 veranschaulicht. Hindurch wird ein Unterbrechen oder Beenden des Poliervorgangs im Bereich der Mitte 2B, wie beim Stand der Technik üblich, vermieden und dadurch eine optimalere Bearbeitung bzw. ein definierterer Materialabtrag ermöglicht oder sichergestellt.

**[0112]** Die Polierfläche 9 des Werkzeugs 3 liegt beim Polieren nur bereichsweise mit einer Anlagefläche A am zu polierenden Werkstück 2 bzw. dessen Oberfläche 2A an, wie insbesondere auch in Fig. 4 schematisch dargestellt, die eine ausschnittsweise Vergrößerung des strichpunktierten Kreisbereichs von Fig. 1 darstellt.

**[0113]** Die Anlagefläche A ist vorzugsweise zumindest im Wesentlichen kreisförmig, wobei dies (auch) von der dreidimensionalen Form der Oberfläche 2A abhängt. In der schematischen Draufsicht gemäß Fig. 3, ist die Anlagefläche A, mit der die Polierfläche 9 am Werkstück 2 bzw. deren Oberfläche 2A anliegt, ebenfalls angedeutet.

**[0114]** Vorzugsweise schneidet die Flächennormale N die Rotationsachse R des Werkzeugs 3 unter einem (relativen) Kippwinkel K, wie in Fig. 1 und 4 angedeutet. Insbesondere erfolgt ein Polieren mit dem Werkzeug 3 derart, dass die Anlagefläche A außermittig bezüglich der Rotationsachse R auf der Polierfläche 9 liegt. Mit anderen Worten wird also (vorzugsweise immer) mit einem Kippwinkel K von mehr als 0°, insbesondere mehr als 2°, besonders bevorzugt mehr als 5° oder 10°, und/oder vorzugsweise weniger als 50°, insbesondere weniger als 30°, besonders bevorzugt weniger als 25°, gearbeitet bzw. poliert.

**[0115]** Besonders bevorzugt wird der Kippwinkel K beim jeweiligen Poliervorgang konstant gehalten. Dies wird durch entsprechendes Verschwenken der Werkzeugspindel 13 bzw. des Werkzeugs 3 erreicht. Der Schwenkwinkel S (Winkel der Rotationsachse R zu der C-Achse) variiert dann dementsprechend entlang der Werkzeugbahn W, wie schematisch in Fig. 1 angedeutet, beispielsweise von einem kleinen Schwenkwinkel S in der linken Position über einen mittleren Schwenkwinkel S in der mittleren Position zu einem großen Schwenkwinkel S in der rechten Position.

**[0116]** Ein Poliervorgang im Sinne der vorliegenden

Erfindung bezeichnet insbesondere das vollständige Polieren der zu polierenden Oberfläche 2A des Werkstücks 2 mit einem Werkzeug 3. Bei einem solchen Vorgang wird vorzugsweise, wie bereits erläutert, die Werkzeugbahn W von dem Werkzeug 3 durchlaufen bzw. abgefahren, während einerseits das Werkzeug 3 und andererseits das Werkstück 2 rotiert.

**[0117]** Bei dem Poliervorgang überstreicht dann die Anlagefläche A bzw. deren Mittelpunkt AM die zu polierende Oberfläche 2A in einen insbesondere spiralförmigen Polierweg P, wie in Fig. 3 jedoch nur schematisch angedeutet. Der spiralförmige Polierweg P wird nämlich einmal durchlaufen, wenn sich das Werkzeug 3 bzw. die Anlagefläche A vom Randbereich) 2C ausgehend in die Mitte 2B bzw. zur Drehachse C bewegt. Der gleiche oder ein entsprechender spiralförmiger Polierweg P wird dann aber nochmals durchlaufen, wenn sich das Werkzeug 3 bzw. die Anlagefläche A weiter der Werkzeugbahn W folgend von der Mitte 2B wieder nach außen zum Randbereich 2B hinbewegt.

**[0118]** Besonders bevorzugt ist die Vorrichtung 1 derart ausgebildet oder erfolgt eine Steuerung oder Regelung derart, dass eine gleichmäßige Spirale bzw. ein zumindest im Wesentlichen konstanter Abstand PA zwischen benachbarten Polierspuren PS des Polierwegs P erreicht bzw. durchlaufen wird, wie in Fig. 3 angedeutet. Der Abstand PA wird also besonders bevorzugt zumindest im Wesentlichen konstant gehalten. Jedoch kann der Abstand PA alternativ variieren, insbesondere in Abhängigkeit vom Werkstückradius, an dem sich der Mittelpunkt der Anlagefläche (gerade) befindet.

**[0119]** Besonders bevorzugt ist der Durchmesser AD der Anlagefläche A mindestens um den Faktor 10 oder 20 größer als der Spiralabstand bzw. Abstand PA benachbarter Polierspuren PS.

**[0120]** Vorzugsweise rotiert das Werkzeug 3 entgegengesetzt zu dem Werkstück 2. Jedoch ist auch eine gleichgerichtete Rotation möglich.

**[0121]** Vorzugsweise rotiert das Werkzeug 3 (viel) schneller als das Werkstück 2.

**[0122]** Zur Erreichung einer ähnlichen oder ggf. möglichst identischen Verweilzeit des Werkzeugs 3 bzw. der Anlagefläche A über einen Flächenbereich der Oberfläche 2A werden bei gleichbleibender Drehgeschwindigkeit des Werkzeugs 3 die Rotationsgeschwindigkeit des Werkstücks 2 damit einhergehend auch die Bewegungsgeschwindigkeit des Werkstücks 2 entlang der Werkzeugbahn W ausgehend von dem Rand 2C zu der Mitte 2B hin gesteigert und danach wieder zum Rand hin verringert.

**[0123]** Alternativ oder zusätzlich kann auch die Rotationsgeschwindigkeit des Werkstücks 2 während einer Umdrehung insbesondere in Abhängigkeit von der Drehlage, dem Durchmesser AD der Anlagefläche A, dem Anlagedruck des Werkzeugs 3 am Werkstück 2, der Eindringtiefe E der Polierfläche 9 und/oder dem Profil des Werkstücks 2 variiert werden, um ein besonders gleichmäßigen Materialabtrag bzw. ein gewünschtes Po-

lierergebnis zu erreichen. Dies gestattet insbesondere eine hoch genaue Polierbearbeitung.

**[0124]** Besonders bevorzugt ist die Vorrichtung 1 derart ausgebildet bzw. wird das vorschlagsgemäße Verfahren derart realisiert, dass die Größe bzw. der Durchmesser AD der Anlagefläche A während des Poliervorgangs zumindest im Wesentlichen konstant gehalten wird. Dies ist einem gleichmäßigen bzw. definierten Materialabtrag zuträglich.

**[0125]** Die Größe bzw. der Durchmesser AD der Anlagefläche A wird insbesondere auch durch die in Fig. 4 schematisch angedeutete Eindringtiefe E der Polierfläche 9 durch entsprechende Zustellung des Werkzeugs 3 während des Poliervorgangs bestimmt, hängt aber auch von der Oberflächenform des Werkstücks 2, insbesondere den jeweiligen Krümmungsverhältnissen und von der Krümmung der Polierfläche 9 ab.

**[0126]** Durch Variation der Zustellung des Werkzeugs 3 während des Poliervorgangs wird entsprechend die Eindringtiefe E der Polierfläche 9 und damit auch die Größe bzw. Durchmesser AD der Anlagefläche A variiert.

**[0127]** Besonders bevorzugt wird die Eindringtiefe E der Polierfläche 9 durch entsprechende Zustellung des Werkzeugs 3 während eines Poliervorgangs so variiert, dass insbesondere auch bei unterschiedlichen Krümmungen der zu polierenden Oberfläche 2A, besonders bevorzugt bei einer asphärischen Oberfläche 2A, ein zumindest im Wesentlichen konstanter Durchmesser AD der Anlagefläche A erreicht wird. Dies ist einem gleichmäßigen bzw. definierten Materialabtrag über den gesamten Poliervorgang hinweg zuträglich.

**[0128]** Alternativ kann auch vorgesehen sein, dass der Durchmesser AD der Anlagefläche A ausgehend vom Rand 2C zur Mitte 2B hin abnimmt und in umgekehrter Richtung zunimmt.

**[0129]** Die Geschwindigkeit der C-Achse, also die Rotationsgeschwindigkeit des Werkstücks 2, wird vorzugsweise aus berechneten Verweilzeiten der Anlagefläche A über bestimmten Teilflächen der zu polierenden Oberfläche 2A abgeleitet.

**[0130]** Vorzugsweise wird zur Korrektur von lokalen rotationsasymmetrischen Fehlern der zu polierenden Oberfläche 2A die Bahngeschwindigkeit bzw. Drehgeschwindigkeit des Werkstücks 2 innerhalb einer Umdrehung verändert. Hierdurch können insbesondere innerhalb einer Umdrehung unterschiedliche Polier- bzw. Verweilzeiten, je nach erforderlicher Fehlerkorrektur, realisiert werden.

**[0131]** Die Geschwindigkeit der X-Achse wird insbesondere so angepasst, dass pro Umdrehung der gewünschte konstante Spiralabstand bzw. Abstand PA benachbarter Polierspuren PS konstant bleibt. Dementsprechend ist dann der Vorschub in X-Richtung direkt an die Geschwindigkeit bzw. Anzahl der Umdrehungen der C-Achse gekoppelt oder umgekehrt.

**[0132]** Vorzugsweise wird die optimale Verweildauer des Werkzeugs 3 bzw. der Anlagefläche A mittels in lokalen Bereichen auf der zu polierenden Oberfläche



2A einer Simulation vorab bestimmt. Anschließend werden die entsprechenden Bahnpositionen und Bahngeschwindigkeiten aus den berechneten lokalen Verweilzeiten bestimmt.

**[0133]** Die optimale Eindrücktiefe E der Polierfläche 9 bzw. Zustellung des Werkzeugs 3 auf dem Werkstück 2 wird je nach Werkzeug 3 und Geometrie der zu polierenden Oberfläche 2 insbesondere mittels entsprechender Berechnungen, Abschätzungen und/oder Messungen optimal bestimmt, wobei die Eindrücktiefe E während des Poliervorgangs insbesondere so angepasst wird, dass der Durchmesser AD der Anlagefläche A möglichst konstant bleibt.

**[0134]** Das vorschlagsgemäße Polierwerkzeug 3 zeichnet sich insbesondere durch eine Kappe 6 bzw. einen Kappenaufbau mit definierten Feder- und Dämpfungseigenschaften aus. So kann durch die Eindrücktiefe E sehr genau die Größe der Anlagefläche A beeinflusst werden.

**[0135]** Die Eindrücktiefe E beträgt vorzugsweise mehr als 0,1 mm und/oder weniger 0,8 mm.

**[0136]** Die Größe bzw. der Durchmesser AD der Anlagefläche A beträgt vorzugsweise mehr als 1 mm, insbesondere mehr als 3 mm, und/oder weniger als 25 mm, insbesondere weniger als 15 oder 10 mm.

**[0137]** Besonders bevorzugt erfolgt ein zonales Polieren des Werkstücks 2. Unter "zonal" ist zu verstehen, dass die Anlagefläche A im Vergleich zu der zu polierenden Oberfläche 2A des Werkstücks 2 wesentlich kleiner ist, insbesondere gegenüber der radialen Erstreckung des Werkstücks 2. Besonders bevorzugt ist der mittlere oder größte Durchmesser AD der Anlagefläche A wesentlich kleiner als der mittlere oder größte Radius des Werkstücks 2. Besonders bevorzugt ist der mittlere oder größte Radius des Werkstücks 2 mindestens um den Faktor 2, 3 oder 5 größer als der mittlere oder größte Durchmesser AD der Anlagefläche A.

**[0138]** Beim Polieren können ergänzend weitere Parameter berücksichtigt werden, wie insbesondere in der DE 10 2009 004 787 A1 erläutert, die hiermit diesbezüglich als ergänzende Offenbarung genannt wird.

**[0139]** Die Vorrichtung 1 weist insbesondere auch eine nicht dargestellte Zuführung für Poliermittel, wie bei Poliermaschinen üblich, auf, so dass das Poliermittel beim Polieren in gewünschter Weise zugeführt werden kann.

**[0140]** Das vorschlagsgemäße Werkzeug 3, die vorschlagsgemäße Vorrichtung 1 und/oder das vorschlagsgemäße Verfahren kann bzw. können insbesondere zum Polieren von Präzisionsoptiken bzw. asphärischen Oberflächen oder sonstigen optischen Werkstücken eingesetzt werden, wobei die Oberflächenform vor dem Polieren vorzugsweise vermessen und so durch das Polieren eine gewünschte Oberflächenform erreicht werden kann. Dies wird auch als Korrekturpolieren bezeichnet.

**[0141]** Das Polieren kann insbesondere mit einer Genauigkeit von 10 bis 100 nm erfolgen.

**[0142]** Werkzeuge 3 mit kleineren Krümmungsradien der Polierfläche 9, insbesondere mit Krümmungsradien

von weniger als 100 mm, besonders bevorzugt weniger als 50 mm, werden vorzugsweise für Korrekturzwecke eingesetzt.

**[0143]** Werkzeuge 3 mit größeren Krümmungsradien der Polierfläche 9, insbesondere von bis zu 1000 mm, werden vorzugsweise zum Vorpolieren eingesetzt.

**[0144]** Nach dem optimalen Vorpolieren erfolgt vorzugsweise ein Messen der zu bearbeitenden Oberfläche 2A und dann das Korrekturpolieren.

**[0145]** Die vorschlagsgemäße Vorrichtung 1 und die vorschlagsgemäßen Verfahren können grundsätzlich sowohl zum Vorpolieren als auch zum Korrekturpolieren eingesetzt werden.

## 15 Bezugszeichenliste:

### [0146]

1	Vorrichtung
2	Werkstück
2A	Oberfläche des Werkstücks
2B	Mittelpunkt des Werkstücks
2C	Rand des Werkstücks
3	Werkzeug
4	Träger
5	Kopf
6	Kappe
7	Zwischenelement
8	Polierelement
9	Polierfläche
10	Bund
11	Anschlussabschnitt
12	Anschlag
13	Werkzeugspindel
14	Werkzeugfutter
15	Werkstückantrieb
16	Halter
A	Anlagefläche
AD	Durchmesser der Anlagefläche
AM	Mittelpunkt der Anlagefläche
B	Schwenkachse
C	Rotationsachse des Werkstücks
E	Eindrücktiefe
K	Kippwinkel
N	Normale
P	Polierweg
PA	Abstand der Polierspuren
PS	Polierspur
R	Rotationsachse des Werkzeugs
S	Schwenkwinkel
W	Werkzeugbahn
X	Linearachse
Z	Linearachse

## 55 Patentansprüche

1. Verwendung eines Werkzeugs (3) zum zonalen Po-

lieren einer Oberfläche (2A) eines optischen Werkstücks (2), insbesondere einer Linse,

wobei das Werkzeug einen gewölbten Kopf (5) und eine darauf angeordnete, elastischen Kappe (6) zur Bildung einer Polierfläche (9) aufweist, wobei die Kappe (6) spannungsfrei auf dem Kopf (5) ist,

wobei das Werkzeug (3) mit seiner gewölbten Polieroberfläche (9) relativ zu dem Werkstück (2) geschwenkt und/oder zugestellt wird, so dass die Polierfläche (9) des rotierenden Werkzeugs (3) partiell durch Eindrücken im Bereich einer Anlagefläche (A) an das zu polierende, rotierende Werkstück (2) angelegt wird, wobei die Anlagefläche (A) einen Polierweg (P) auf dem Werkstück (2) zurücklegt, wobei die Rotationsgeschwindigkeit des Werkstücks (2) während einer Umdrehung in Abhängigkeit von der Drehlage, der lokal gewünschten Verweildauer und/oder dem Profil des Werkstücks (2) variiert wird.

2. Verwendung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Eindrücktiefe (E) der Polierfläche (9) durch Zustellung des Werkzeugs (3) während des Polierens des Werkstücks (2) in Abhängigkeit von der radialen Lage der Anlagefläche (A) auf dem Werkstück (2) variiert wird.
3. Verwendung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Durchmesser (AD) der Anlagefläche (a) durch Variation der Eindrücktiefe (E) zumindest im Wesentlichen konstant gehalten wird.
4. Verwendung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Durchmesser (AD) der Anlagefläche (A) ausgehend von einem Rand (2C) zur Mitte (2B) der Oberfläche (2A) hin abnimmt und in umgekehrter Richtung zunimmt.
5. Verwendung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand (PA) benachbarter Spuren (PS) des Polierwegs (P) zumindest im Wesentlichen konstant gehalten wird.
6. Verwendung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mittelpunkt (AM) der Anlagefläche (A) einen spiralförmigen Polierweg (P) auf dem Werkstück (2) zurücklegt.
7. Verwendung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotationsgeschwindigkeit des Werkstücks (2) ausgehend von einem Polieren am Rand (2C) zur Mitte (2B) der Oberfläche (2A) hin zunimmt und in umge-

kehrter Richtung abnimmt.

8. Verwendung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kippwinkel (K) der Rotationsachse (R) des Werkzeugs (3) zu der Normalen (N) der Anlagefläche (A) während des Polierens des Werkstücks (2) zumindest im Wesentlichen konstant gehalten wird.
9. Verwendung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anlagefläche (A) wesentlich kleiner als die Oberfläche (2A) des Werkstücks (2) ist.
10. Verwendung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotationsgeschwindigkeit des Werkzeugs (3) während des Poliervorgangs konstant gehalten wird.
11. Verwendung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkzeug (3) schneller als das Werkstück (2) rotiert.
12. Verwendung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kappe (6) am Kopf (5) aufgeklebt ist.
13. Verwendung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkzeug (3) einen Anschlussabschnitt (11) und einen Anschlag (12) zur definierten Befestigung bzw. Halterung des Werkzeugs (3) an einer zugeordneten Werkzeugspindel (13) aufweist.
14. Verwendung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kappe (6) mehrschichtig aufgebaut ist und/oder ein Zwischenelement (7) und ein Polierelement (8) aufweist.
15. Verwendung nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkzeug (3) von einem Rand (2C) der Oberfläche (2A) über die Mitte (2B) des Werkstücks (2) zur gegenüberliegenden Seite des Rands (2C) bewegt wird.

## Claims

1. Use of a tool (3) for zonal polishing of a surface (2A) of an optical workpiece (2), in particular a lens, wherein the tool (3) has a curved head (5) and an elastic cap (6) arranged thereon to form a polishing surface (9), wherein the cap (6) is stress-free on the head (5), wherein the tool (3) with its curved polishing

- surface (9) is swiveled and/or advanced relative to the workpiece (2), so that the polishing surface (9) of the rotating tool (3) is placed partially by indentation in the area of a contact surface (A) against the rotating workpiece (2) that is to be polished, wherein the contact surface (A) traverses a polishing path (P) on the workpiece (2), wherein the rotational speed of the workpiece (2) is varied during a rotation depending on the rotating position, the locally desired dwell time, and/or the profile of the workpiece (2).
2. Use according to claim 1, **characterized in that** the indentation depth (E) of the polishing surface (9) is varied by advancing the tool (3) during the polishing of the workpiece (2) depending on the radial position of the contact surface (A) on the workpiece (2).
  3. Use according to claim 1 or 2, **characterized in that** the diameter (AD) of the contact surface (A) is kept at least essentially constant by variation of the indentation depth (E).
  4. Use according to claim 1, **characterized in that** the diameter (AD) of the contact surface (A) decreases starting from an edge (2C) to the center (2B) of the surface (2A) and increases in the opposite direction.
  5. Use according to one of the preceding claims, **characterized in that** the distance (PA) between adjacent tracks (PS) of the polishing path (P) is kept at least essentially constant.
  6. Use according to one of the preceding claims, **characterized in that** the center (AM) of the contact surface (A) traverses a spiral polishing path (P) on the workpiece (2).
  7. Use according to one of the preceding claims, **characterized in that** the rotational speed of the workpiece (2) increases starting from a polishing on the edge (2C) to the center (2B) of the surface (2A) and decreases in the opposite direction.
  8. Use according to one of the preceding claims, **characterized in that** the tilt angle (K) of the axis of rotation (R) of the tool (3) to the normal (N) of the contact surface (A) is kept at least essentially constant during the polishing of the workpiece (2).
  9. Use according to one of the preceding claims, **characterized in that** the contact surface (A) is significantly smaller than the surface (2A) of the workpiece (2).
  10. Use according to one of the preceding claims, **characterized in that** the rotational speed of the tool (3) during the polishing process is kept constant.
  11. Use according to one of the preceding claims, **characterized in that** the tool (3) rotates faster than the workpiece (2).
  12. Use according to one of the preceding claims, **characterized in that** the cap (6) is bonded to the head (5).
  13. Use according to one of the preceding claims, **characterized in that** the tool (3) has a connecting portion (11) and a stop (12) for defined fastening and/or holding of the tool (3) on an assigned tool spindle (13).
  14. Use according to one of the preceding claims, **characterized in that** the cap (6) is built up of multiple layers, and/or has an intermediate element (7) and a polishing element (8).
  15. Use according to one of the preceding claims, **characterized in that** the tool (3) is moved from an edge (2C) of the surface (2A) over the center (2B) of the workpiece (2) to the opposite side of the edge (2C).
- ### Revendications
1. Utilisation d'un outil (3) pour le polissage zonal d'une surface (2A) d'une pièce à usiner optique (2), en particulier d'une lentille,
 

l'outil présentant une tête bombée (5) et un capuchon élastique (6) disposé sur celle-ci pour former une surface de polissage (9), le capuchon (6) étant exempt de tension sur la tête (5), l'outil (3) étant pivoté et/ou approché avec sa surface de polissage bombée (9) par rapport à la pièce à usiner (2) de sorte que la surface de polissage (9) de l'outil rotatif (3) soit appliquée partiellement par enfoncement dans la région d'une surface d'appui (A) sur la pièce à usiner rotative (2) à polir, la surface d'appui (A) parcourant un trajet de polissage (P) sur la pièce à usiner (2),

la vitesse de rotation de la pièce à usiner (2) pendant une rotation étant modifiée en fonction de la position de rotation, de la durée de séjour localement souhaitée et/ou du profil de la pièce à usiner (2).
  2. Utilisation selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la profondeur d'enfoncement (E) de la surface de polissage (9) est modifiée par approche de l'outil (3) pendant le polissage de la pièce à usiner (2) en fonction de la position radiale de la surface d'appui (A) sur la pièce à usiner (2).
  3. Utilisation selon la revendication 1 ou 2, **caractéri-**

**sée en ce que** le diamètre (AD) de la surface d'appui (A) est maintenu au moins sensiblement constant par variation de la profondeur d'enfoncement (E).

4. Utilisation selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le diamètre (AD) de la surface d'appui (A) diminue à partir d'un bord (2C) vers le centre (2B) de la surface (2A) et augmente dans la direction inverse. 5
5. Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la distance (PA) entre des traces adjacentes (PS) du trajet de polissage (P) est maintenue au moins sensiblement constante. 10
6. Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le centre (AM) de la surface d'appui (A) parcourt un trajet de polissage en forme de spirale (P) sur la pièce à usiner (2). 15
7. Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la vitesse de rotation de la pièce à usiner (2) augmente à partir d'un polissage sur le bord (2C) vers le centre (2B) de la surface (2A) et diminue dans la direction inverse. 20
8. Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'angle d'inclinaison (K) de l'axe de rotation (R) de l'outil (3) par rapport à la normale (N) de la surface d'appui (A) est maintenu au moins sensiblement constant pendant le polissage de la pièce à usiner (2). 25
9. Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la surface d'appui (A) est sensiblement plus petite que la surface (2A) de la pièce à usiner (2). 30
10. Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la vitesse de rotation de l'outil (3) est maintenue constante pendant le processus de polissage. 35
11. Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'outil (3) tourne plus rapidement que la pièce à usiner (2). 40
12. Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le capuchon (6) est collé sur la tête (5). 45
13. Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'outil (3) présente une section de raccordement (11) et une butée (12) pour la fixation et/ou le maintien défini de 50

l'outil (3) sur une broche d'outil associée (13).

14. Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le capuchon (6) est construit en plusieurs couches et/ou présente un élément intermédiaire (7) et un élément de polissage (8). 55
15. Utilisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'outil (3) est déplacé d'un bord (2C) de la surface (2A) sur le centre (2B) de la pièce à usiner (2) vers le côté opposé du bord (2C). 60

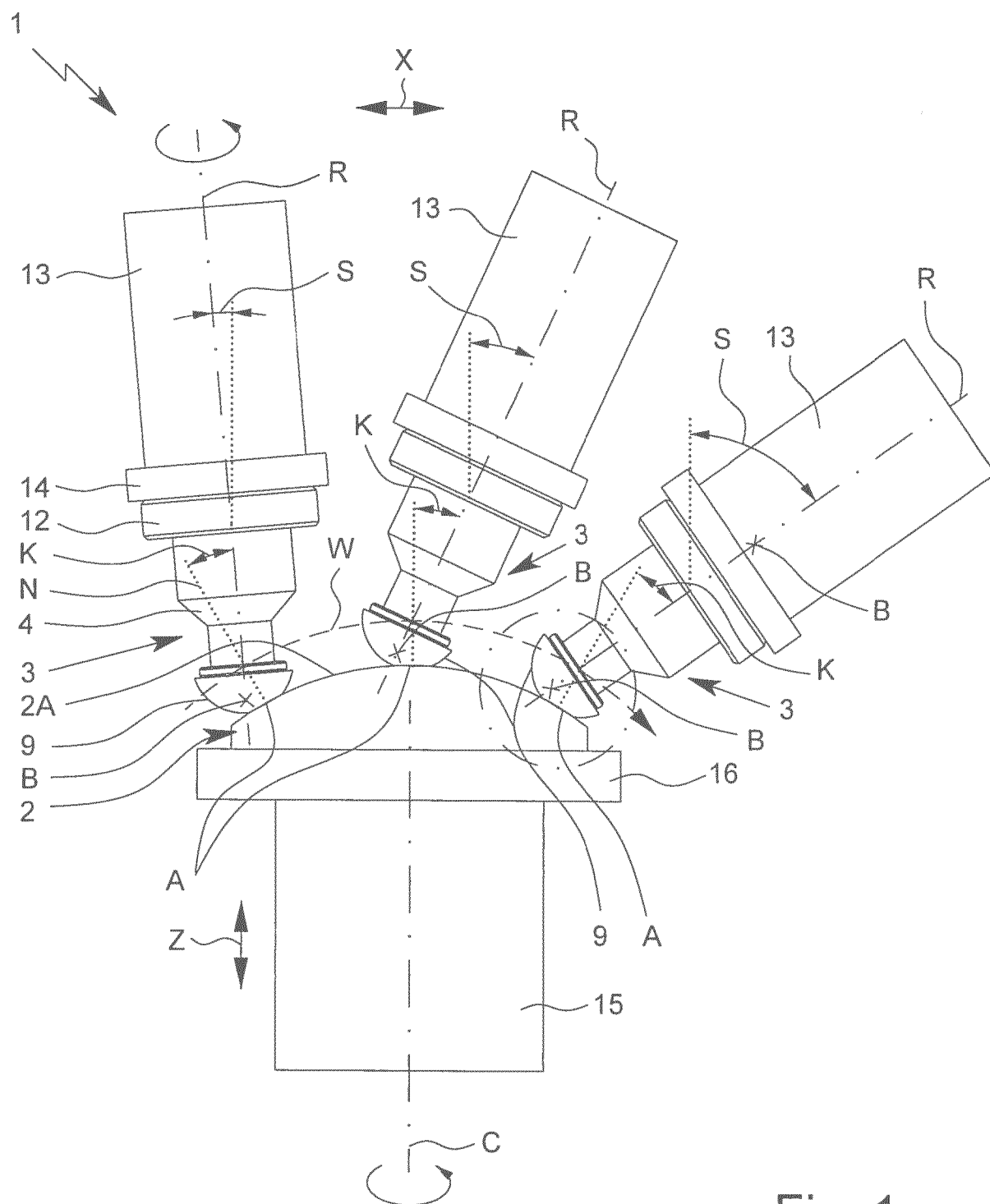
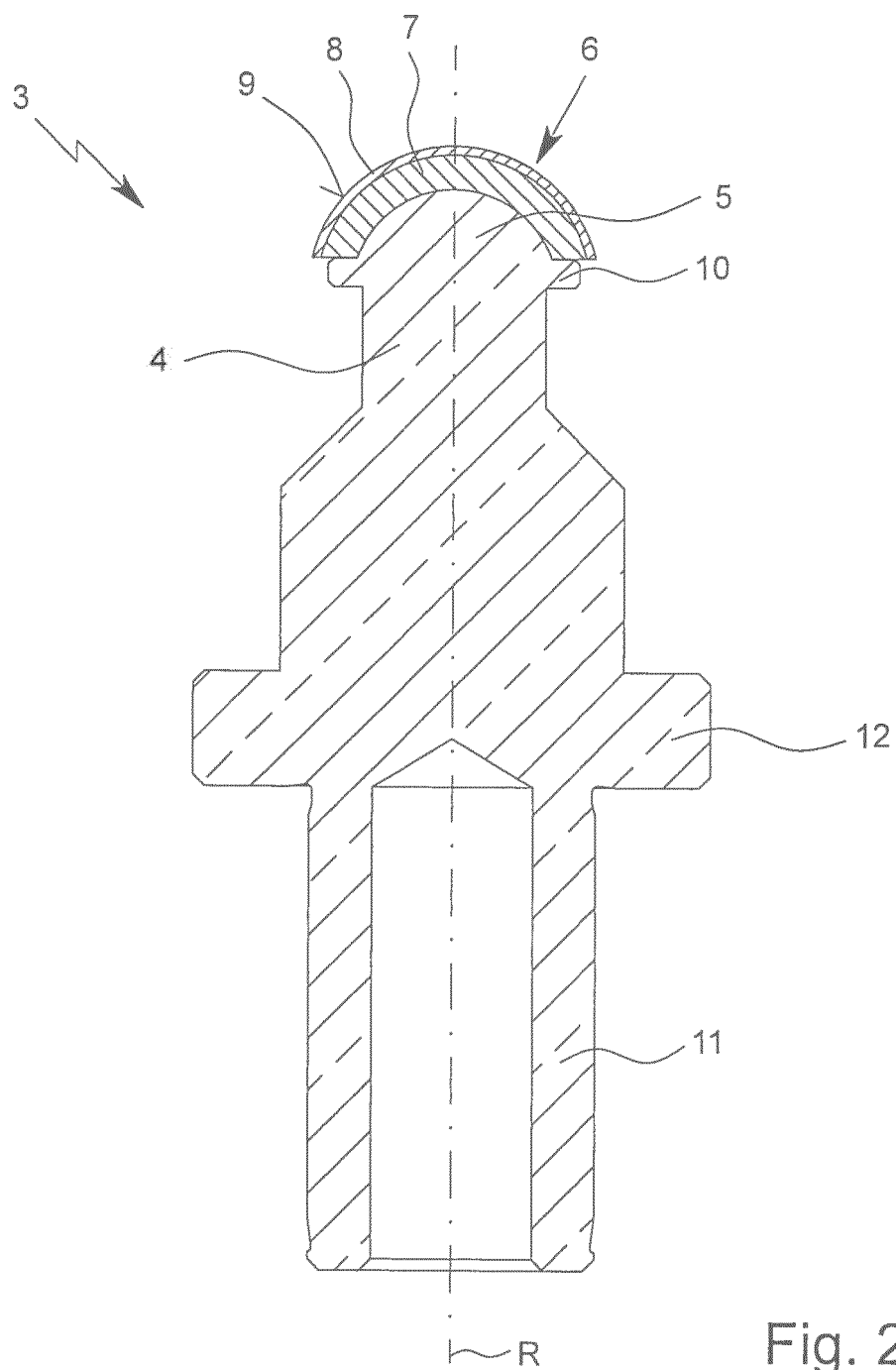


Fig. 1



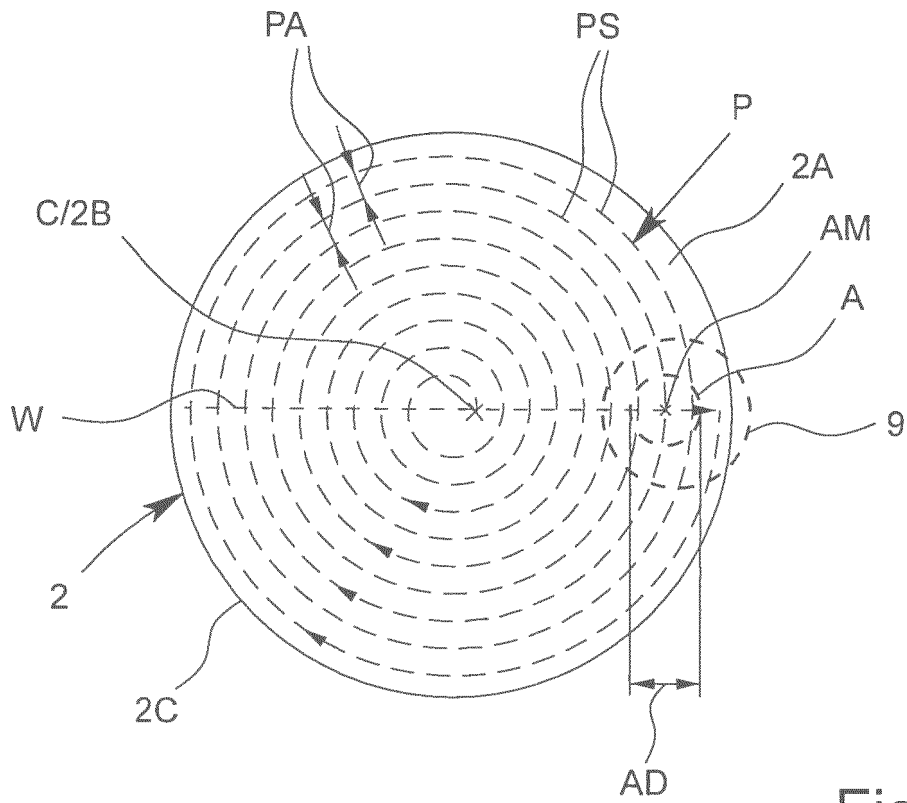


Fig. 3

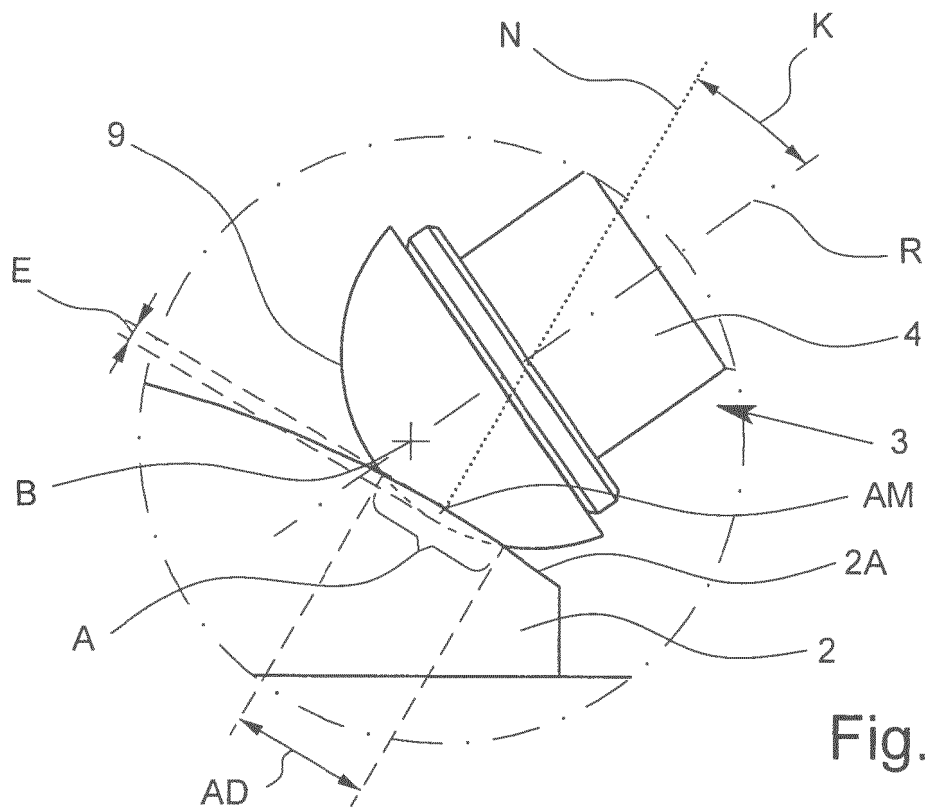


Fig. 4

**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**

- EP 1796872 B1 **[0004]**
- DE 102004047563 A1 **[0006]**
- US 20130244553 A1 **[0007]**
- US 6796877 B1 **[0008]**
- EP 1796872 A1 **[0009]**
- US 4989316 A **[0010]**
- US 5320006 A **[0011]**
- US 20030017783 A1 **[0012]**
- JP 2000071154 A **[0013]**
- DE 102009004787 A1 **[0138]**