



(11) **EP 1 711 311 B2**

(12) **NEUE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**  
Nach dem Einspruchsverfahren

- (45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Entscheidung über den Einspruch:  
**20.07.2011 Patentblatt 2011/29**
- (45) Hinweis auf die Patenterteilung:  
**02.05.2007 Patentblatt 2007/18**
- (21) Anmeldenummer: **05700889.8**
- (22) Anmeldetag: **13.01.2005**
- (51) Int Cl.: **B24B 13/02 (2006.01) B24D 13/14 (2006.01)**
- (86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2005/000278**
- (87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2005/068133 (28.07.2005 Gazette 2005/30)**

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM POLIEREN EINER OPTISCHEN FLÄCHE SOWIE VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES POLIERWERKZEUGS**

DEVICE AND METHOD FOR POLISHING AN OPTICAL SURFACE AND METHOD FOR THE PRODUCTION OF A POLISHING TOOL

DISPOSITIF ET PROCEDE POUR POLIR UNE SURFACE OPTIQUE ET PROCEDE POUR REALISER UN OUTIL DE POLISSAGE

- |  |  |
|--|--|
| <p>(84) Benannte Vertragsstaaten:<br/><b>AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR</b></p> <p>(30) Priorität: <b>15.01.2004 DE 102004003131</b></p> <p>(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:<br/><b>18.10.2006 Patentblatt 2006/42</b></p> <p>(73) Patentinhaber: <b>Carl Zeiss Vision GmbH 73430 Aalen (DE)</b></p> <p>(72) Erfinder:<br/>• <b>KUEBLER, Christoph 73447 Oberkochen (DE)</b><br/>• <b>WANG, Hexin 89551 Koenigsbronn (DE)</b></p> | <p>(74) Vertreter: <b>Witte, Weller &amp; Partner Postfach 10 54 62 70047 Stuttgart (DE)</b></p> <p>(56) Entgegenhaltungen:<br/><b>EP-A1- 0 366 051 EP-A2- 1 327 496</b><br/><b>DE-A1- 10 100 860 DE-A1- 10 248 105</b><br/><b>JP-A- 61 100 358 JP-A- 2000 133 449</b><br/><b>US-A- 5 357 716 US-A1- 2003 017 783</b></p> <p>• <b>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 010, Nr. 286 (M-521), 27. September 1986 (1986-09-27) -&amp; JP 61 103768 A (OLYMPUS OPTICAL CO LTD), 22. Mai 1986 (1986-05-22) in der Anmeldung erwähnt</b></p> <p><u>Bemerkungen:</u><br/>Die Akte enthält technische Angaben, die nach dem Eingang der Anmeldung eingereicht wurden und die nicht in dieser Patentschrift enthalten sind.</p> |
|--|--|

**EP 1 711 311 B2**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum Polieren einer optischen Fläche, mit einem Polierkopf, dessen Polierwerkzeug entlang einer gemeinsamen Achse hintereinander einen ersten, vorzugsweise starren Körper, einen zweiten, elastischen Körper sowie einen Polierbelag aufweist, die sich jeweils im Wesentlichen radial zur Achse erstrecken, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 oder des Anspruchs 2.

**[0002]** Eine Vorrichtung dieser Art ist aus JP 2001334449 A bekannt.

**[0003]** Die Erfindung bezieht sich ferner auf ein Verfahren zum Polieren einer optischen Fläche.

**[0004]** Die Erfindung bezieht sich schließlich auf ein Verfahren zum Herstellen eines Polierwerkzeugs, das entlang einer gemeinsamen Achse hintereinander einen ersten, vorzugsweise starren Körper, einen zweiten, elastischen Körper sowie einen Polierbelag aufweist, die sich jeweils im Wesentlichen radial zur Achse erstrecken.

**[0005]** Wenn im Rahmen der vorliegenden Erfindung von "optischen Flächen" die Rede ist, so sind dabei alle derartigen Flächen optischer Bauelemente gemeint wie z.B. Flächen, insbesondere asphärische Flächen oder Freiformflächen, von Brillengläsern, Spiegeln, Kunststoffoptiken usw..

**[0006]** Aus der DE 102 48 105 A1 sind eine Vorrichtung und ein Verfahren der eingangs genannten Art bekannt.

**[0007]** Brillengläser werden üblicherweise aus einem Rohling durch spanabhebendes Bearbeiten der sogenannten Rezeptfläche oder -flächen hergestellt. Damit liegt die optisch relevante Formgebung des Brillenglases fest. Abschließend wird das Brillenglas noch poliert, wodurch allerdings keine merkliche Veränderung der optischen Eigenschaften mehr bewirkt werden darf.

**[0008]** Zum Polieren einer Oberfläche eines Brillenglases wird üblicherweise ein Polierkopf verwendet, der ein Polierwerkzeug aufweist, dessen Polierfläche an die Form der zu polierenden Oberfläche des Brillenglases mindestens näherungsweise angepasst ist. Das Polierwerkzeug und/oder das Brillenglas sind gelenkig, insbesondere mit einem Kugelgelenk, gelagert und werden relativ zueinander mit einem vorgegebenen Bewegungsablauf geführt, meist mit Hilfe von mehrachsigen Robotern.

**[0009]** Beim Polieren von sphärischen oder torischen Brillengläsern ist es aufgrund der relativ einfachen Formgebung der zu polierenden Oberfläche weniger problematisch, ein geeignetes, komplementär ausgebildetes Polierwerkzeug zu finden, das mit einfachen Bewegungsabläufen über die Oberfläche geführt werden kann und dort keine unzulässigen Verformungen bewirkt. Aufgrund der Vielzahl möglicher sphärischer oder torischer Brillengläser ist es lediglich erforderlich, eine entsprechende Vielzahl von Polierwerkzeugen zur Verfügung zu haben.

**[0010]** In diesem Zusammenhang sind unterschiedliche Gruppen von Polierwerkzeugen bekannt geworden.

**[0011]** Bei einer ersten Gruppe derartiger Polierwerkzeuge (DE 101 00 860 A1; EP 0 567 894 B1) wird ein stets starrer Polierkörper verwendet, der unveränderbar an die Form der zu polierenden Oberfläche angepasst ist und daher nur für diese Oberfläche einsetzbar ist.

**[0012]** Bei einer zweiten Gruppe derartiger Polierwerkzeuge (DE 44 42 181; DE 102 42 422) wird ein Polierkörper verwendet, der zwar im Einsatz starr ist, zuvor aber, z.B. durch Erwärmen, in einen plastischen Zustand versetzbar ist, damit er sich zunächst in diesem plastischen Zustand an eine beliebige Oberfläche anpassen kann, ehe er erstarrt.

**[0013]** Diesen beiden Gruppen von Polierwerkzeugen ist also gemeinsam, dass sie im Einsatz starr sind und daher nur zum Polieren regelmäßig geformter Oberflächen verwendet werden können.

**[0014]** Bei einer dritten Gruppe von Polierwerkzeugen (EP 0 804 999 B1; EP 0 884 135 B1; DE 101 06 007 A1) ist ein Polierkörper vorgesehen, der auch während des Einsatzes verformbar sein kann. Diese Verformbarkeit wird dabei durch ein Bündel von parallelen metallischen Stäben erreicht, die an einem Ende auf einer elastischen Membran gelagert und individuell verschiebbar sind. Die von ihren Stirnfläche am anderen Ende gebildete Gesamtfläche passt sich dabei der Formgebung der zu polierenden Oberfläche an.

**[0015]** Bei diesen Polierwerkzeugen ist zum einen von Nachteil, dass die Membran, wie jede Membran einen Elastizitätsverlauf hat, bei dem das Zentrum der weichste Punkt ist und die Elastizität radial nach außen abnimmt, die Membran also zum Rand hin steifer oder die Federkennlinie steiler wird. Das ist, wie im Rahmen der vorliegenden Erfindung festgestellt wurde, für Polierwerkzeuge der hier interessierenden Art nachteilig, weil dieser Elastizitätsverlauf größere Formfehler hervorruft. Weiterhin ist bei diesen Polierwerkzeugen nachteilig, dass die Bewegung der Stäbe mit mechanischer Reibung verbunden ist, so dass kaum dynamische Polierprozesse realisiert werden können.

**[0016]** Bei einer vierten Gruppe von Polierwerkzeugen (EP 0 779 128 B1, Patent Abstracts of Japan zu JP 08-206 952 A) werden Polierkörper verwendet, die einen unmittelbar pneumatisch verformbaren Polierkörper aufweisen. Auch hier stellt sich der zuvor geschilderte Nachteil eines ungünstigen Elastizitätsverlaufs ein.

**[0017]** Bei einer fünften Gruppe von Polierwerkzeugen (DE 101 06 659 A1; DE 102 48 105 A1; DE 102 48 104 A1; US 2003/0017783 A1; WO 03/059572 A1), ist in dem Polierwerkzeug ein Körper aus elastischem Material zwischen einem starren Trägerkörper und dem Polierbelag angeordnet.

**[0018]** In diesem Fall ist die axiale Dicke des elastischen Körpers bei den bekannten Polierwerkzeugen jedoch konstant und der Werkstoff des elastischen Körpers homogen. Damit ist die Elastizität in radialer Richtung konstant.

**[0019]** Insgesamt bleibt daher in Bezug auf bekannte Polierwerkzeuge für die Bearbeitung von optischen Oberflächen,

insbesondere Brillengläsern, festzuhalten, dass bei diesen der radiale Verlauf der Pressungssteifigkeit von innen nach außen entweder zunimmt oder konstant ist.

**[0020]** Dies ist für relativ einfach geformte Oberflächen (sphärische und torische Oberflächen) ausreichend. Beim Polieren von asphärischen bzw. punkunsymmetrischen Freiformflächen sind derartige Polierwerkzeuge hingegen nicht ohne Probleme einsetzbar.

**[0021]** Derartige Freiformflächen werden bislang ebenfalls mittels numerisch gesteuerter Poliermaschinen oder Polierrobotern poliert. Bei diesen Maschinen wird üblicherweise das Polierwerkzeug über die zu polierende Oberfläche des Brillenglases CNCgeführt. Der Polierkopf treibt das Polierwerkzeug meist rotatorisch an und drückt es gleichzeitig gegen die zu polierende Oberfläche.

**[0022]** Asphärische bzw. punkunsymmetrische Freiformflächen weisen Krümmungen auf, die sich über der Oberfläche ändern. Das Polierwerkzeug bewegt sich während der Polierbearbeitung mindestens über einen Teil dieser unregelmäßig gekrümmten Oberfläche. Es muss sich daher mit seiner Elastizität der jeweiligen lokalen Krümmung anpassen können, und zwar derart, dass der Polierdruck über die Kontaktfläche hinweg möglichst konstant ist. Nur dann ergibt sich ein vorbestimmbarer, konstanter Abtrag, und die polierte Fläche wird optimal glatt. Wenn dies nicht gewährleistet werden kann und der Polierdruck über die Kontaktfläche hinweg schwankt, wird die gewünschte asphärische Oberflächentopographie deformiert und folglich in ihrer optischen Qualität verschlechtert. Derartige Deformationen treten mit bekannten Polierwerkzeugen in herkömmlichen Produktionsprozessen auf und müssen daher schrittweise, mit iterativen Nachbearbeitungsverfahren wieder kompensiert werden. Das ist jedoch zeit- und kostenaufwendig.

**[0023]** Zum allgemeinen Stand der Technik im Bereich von Polierwerkzeugen ist die DE 296 08 954 U1 zu erwähnen. Diese Druckschrift beschreibt einen anpassungsfähigen Schleifkopf zum Einspannen in rotierende Werkzeuge. Der Schleifkopf weist einen mit Schleifmaterial beschichteten Grundkörper auf, der aus einem weichen, extrem nachgebenden Werkstoff besteht, beispielsweise aus Schaumgummi. Der Schleifkopf ist im Axialschnitt pilz-, kegel- oder kugelförmig, so dass er im Randbereich dünner als in der Mitte ist. Damit ist er im Randbereich härter.

**[0024]** Ein ähnlicher Schleifkopf ist auch in der US 3,043,065 offenbart. Dieser bekannte Schleifkopf ist pilzförmig und daher gleichfalls im Randbereich härter als in der Mitte.

**[0025]** Schließlich beschreibt das Patent Abstract of Japan zu der JP 61-103 768 A noch einen Schleifkopf von ebenfalls pilzförmiger Gestalt. Dieser Schleifkopf ist in drei konzentrische Bereiche unterteilt, die aus dem selben Werkstoff bestehen, in den jedoch Luftblasen in unterschiedlicher Konzentration eingelagert sind. Der zentrale Bereich enthält die größte Dichte von Luftblasen, so dass dort die effektiv abtragende Oberfläche am kleinsten ist. Im Randbereich ist sie am größten.

**[0026]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren der eingangs genannten Art dahingehend weiterzubilden, dass diese Nachteile vermieden werden. Insbesondere soll es möglich werden, Brillengläser mit unregelmäßig gekrümmten Freiformflächen mittels einfach aufgebauter Werkzeuge in einer Oberflächenqualität zu polieren, die eine Nachbearbeitung entbehrlich macht.

**[0027]** Bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art wird diese Aufgabe erfindungsgemäß durch das Kennzeichen des Anspruchs 1 bzw. das Kennzeichen des Anspruchs 2 gelöst.

**[0028]** Bei einem Verfahren zum Polieren einer optischen Fläche der eingangs zunächst genannten Art wird diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine Vorrichtung der vorstehend genannten Art verwendet wird. Bei einem Verfahren zum Herstellen eines Polierwerkzeugs der eingangs als zweites genannten Art wird diese Aufgabe gemäß Anspruch 17 oder 18 gelöst.

**[0029]** Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird auf diese Weise vollkommen gelöst.

**[0030]** Die Erfindung stellt nämlich ein verblüffend einfaches Polierwerkzeug zur Verfügung, das von seiner Struktur her bekannten Polierwerkzeugen ähnlich ist, infolge seiner Ausbildung aber im Gegensatz zu herkömmlichen Polierwerkzeugen auch unregelmäßig gekrümmte Freiformflächen an Brillengläsern zu schleifen vermag, ohne dass ein unregelmäßiger Abtrag beim Polieren auftritt. Dies wird durch eine gezielte Beeinflussung der Elastizität des den Polierbelag tragenden elastischen Körpers in radialer Richtung erreicht, indem der elastische Körper in radialer Richtung von innen nach außen hin weicher ausgebildet ist, also eine zunehmend flachere Federkennlinie aufweist.

**[0031]** Der zweite Körper ist in radialer Richtung nach außen vorzugsweise kontinuierlich weicher ausgebildet.

**[0032]** Diese Maßnahme hat den Vorteil, dass die Anpresskraft besonders gleichmäßig auf die zu polierende Oberfläche übertragen wird.

**[0033]** Der zweite Körper weist in radialer Richtung eine zunehmende axiale Dicke aufweist.

**[0034]** Diese Maßnahme hat den Vorteil, dass das gewünschte radiale Steifheitsprofil nahezu beliebig eingestellt werden kann, wenn das radiale Profil der axialen Dicke entsprechend vorgegeben wird. Auf diese Weise lässt sich das Werkzeug sehr feinfühlig optimieren.

**[0035]** Der zweite Körper grenzt mit einer inneren Kontur an den ersten Körper und mit einer äußeren Kontur an den Polierbelag an, wobei der Verlauf der axialen Dicke über der radialen Richtung in Abhängigkeit vom radialen Verlauf der Konturen bestimmt ist.

**[0036]** Diese Maßnahme hat den Vorteil, dass eine Optimierung mit zwei Konturen möglich ist, so dass die äußere

Kontur besonders gut an die zu polierende Oberfläche angepasst werden und im Wesentlichen die innere Kontur zum Einstellen des gewünschten radialen Profils herangezogen werden kann.

**[0037]** Die innere Kontur ist konkav und die äußere Kontur konkav, oder die innere Kontur ist konvex und die äußere Kontur konkav.

**[0038]** Weiterhin ist bevorzugt, wenn die äußere Kontur sphärisch oder asphärisch oder als Freiformfläche ausgebildet ist.

**[0039]** Bei einem praktischen Ausführungsbeispiel besteht der zweite Körper aus einem Werkstoff, dessen Elastizitätsmodul größer als  $0,02 \text{ N/mm}^2$  ist.

**[0040]** Dieser Elastizitätsbereich hat sich in praktischen Versuchen als optimal erwiesen.

**[0041]** Hinsichtlich der Werkstoffauswahl für den zweiten Körper ist bevorzugt, wenn diese aus der Gruppe Gummi, Kautschuk, Polyurethan, Polyätherurethan, Elastomer ausgewählt ist.

**[0042]** Eine besonders wirtschaftliche Herstellung ist möglich, wenn der zweite Körper ein Gussteil ist.

**[0043]** Eine weitere Ausführungsform der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass der zweite Körper aus einem Werkstoff ausgebildet ist, dessen Elastizität in radialer Richtung von innen nach außen zunimmt, d.h. die Pressungsferkennlinie von innen nach außen zunehmend flacher wird.

**[0044]** Diese Maßnahme hat den Vorteil, dass man in der Formgebung des zweiten Körpers in weiten Grenzen frei ist. Man kann daher den zweiten Körper auch mit konstanter Dicke, also kreisscheibenförmig ausbilden, hat aber durch die besondere, inhomogene Beschaffenheit des Werkstoffs trotzdem das gewünschte radiale Profil der Elastizität, bei der der zweite Körper radial außen weicher als innen ist.

**[0045]** Wenn im Rahmen der vorliegenden Anmeldung von einem "Polierbelag" die Rede ist, so ist darunter jedwedes Gebilde zu verstehen, das eine Polierfläche darstellen kann.

**[0046]** Somit kann in vorteilhafter Weise der Polierbelag lediglich eine Polierpaste sein, oder er ist körperlich als Poliermembran, Polierpad oder Polierschichtmaterial ausgebildet.

**[0047]** Wie bereits erwähnt wurde, bezieht sich die vorliegende Erfindung vorzugsweise auf das Polieren von Oberflächen von Brillengläsern oder Spiegeln oder asphärischen Spiegeln oder asphärischen optischen Flächen.

**[0048]** Das Polierwerkzeug kann nach Ausführungsbeispielen der Erfindung entweder zur Achse rund oder unrund sein. Es kann ferner entweder in der Achse oder außerhalb der Achse gelenkig gelagert sein.

**[0049]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Herstellen eines Polierwerkzeugs wird der zweite Körper in radialer Richtung mit zunehmender axialer Dicke hergestellt, wobei der zweite Körper mit einer inneren Kontur an den ersten Körper und mit einer äußeren Kontur an den Polierbelag angrenzend hergestellt und der Verlauf der axialen Dicke über der radialen Richtung in Abhängigkeit vom radialen Verlauf der Konturen bestimmt wird.

**[0050]** Diese Maßnahmen haben den bereits weiter oben dargestellten Vorteil, dass das gewünschte radiale Profil der Elastizität in sehr genauer Weise eingestellt werden kann.

**[0051]** Hierzu sind erfindungsgemäß für eine praktische Realisierung zwei Varianten vorgesehen:

**[0052]** Die erste Variante ist gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

a) Festlegen eines gewünschten mittleren Polierdrucks  $p_m$  des Polierwerkzeugs;

b) Bestimmen der notwendigen Anpresskraft  $F_k$  aus der Polierfläche des Polierwerkzeugs;

c) Auswählen eines Elastizitätsmoduls  $E$  für den Werkstoff des zweiten Körpers;

d) Auswählen einer Mittendicke  $D_i$  des zweiten Körpers;

e) Auswählen einer anfänglichen äußeren Kontur;

f) Berechnen einer mittleren Einfederungstiefe  $d_i$  für einen zweiten Körper unter der Annahme, dass der zweite Körper eine konstante axiale Dicke  $D$  aufweist, die gleich der ausgewählten Mittendicke  $D_i$  ist;

g) Bestimmen einer Polierbewegung des Polierwerkzeugs auf der zu polierenden Oberfläche;

h) Diskretisieren der Polierbewegung in eine vorbestimmte Anzahl  $n$  Bewegungsinkremente, wobei die Anzahl  $n$  hinreichend groß gewählt wird;

i) Berechnen einer Einfederungsfläche aus den Abweichungen der axialen Dicke  $z_{Di}$  in Richtung  $z$  der Achse zwischen der Oberfläche und der äußeren Kontur in einem vorgegebenen Punkt  $i$  bei relativer Polierbewegung zwischen dem Polierwerkzeug und der optischen Fläche;

## EP 1 711 311 B2

j) Addieren der Abweichungen  $z_{Di}$  bei allen Punkten i;

k) Bestimmen einer maximalen Abweichung  $z_{Dmax}$ ;

5 l) Bestimmen einer minimalen Abweichung  $z_{Dmin}$ ;

m) Bestimmen eines Mittelwerts  $z_{Dm}$  aus allen Abweichungen  $z_{Di}$ ;

10 n) Bilden einer Differenz  $z_{Dmt}$  zwischen dem Mittelwert  $z_{Dm}$  und der Summe einer Kippung und eines zentralen Offsets des Mittelwerts  $z_{Dm}$ ;

o) Berechnen der axialen Dicke D in Abhängigkeit von der radialen Richtung h für runde bzw. x, y für unrunde Polierwerkzeuge mit den Unterschritten:

15

$$(IV) \quad K2(h) = K2(h) + z_{Dmt}(h);$$

bzw.

20

$$(V) \quad K2(x, y) = K2(x, y) + z_{Dmt}(x, y);$$

25

$$(VI) \quad D(h) = Di + Di * (z_{Dmax}(h) - z_{Dmin}(h)) / di / f_a;$$

30

bzw

$$(VII) \quad D(x, y) = Di + Di * (z_{Dmax}(x, y) - z_{Dmin}(x, y)) / di / f_a;$$

35

$$(VIII) \quad K1(h) = K2(h) + D(h);$$

40

bzw.

$$(IX) \quad K1(x, y) = K2(x, y) + D(x, y).$$

45

[0053] Die zweite Variante ist gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

50

a) Festlegen eines gewünschten mittleren Polierdrucks  $p_m$  des Polierwerkzeugs;

b) Bestimmen der notwendigen Anpresskraft  $F_k$  aus der Polierfläche des Polierwerkzeugs;

c) Auswählen eines Elastizitätsmoduls E für den Werkstoff des zweiten Körpers;

55

d) Auswählen einer Mittendicke  $Di$  des zweiten Körpers;

e) Auswählen einer anfänglichen äußeren Kontur;

f) Berechnen einer mittleren Einfederungstiefe  $d_i$  für einen zweiten Körper unter der Annahme, dass der zweite Körper eine konstante axiale Dicke  $D$  aufweist, die gleich der ausgewählten Mittendicke  $D_i$  ist;

g) Bestimmen einer Polierbewegung des Polierwerkzeugs auf der zu polierenden Oberfläche;

h) Diskretisieren der Polierbewegung in eine vorbestimmte Anzahl  $n$  Bewegungsinckremente, wobei die Anzahl  $n$  hinreichend groß gewählt wird;

i) Berechnen einer Einfederungsfläche aus den Abweichungen der axialen Dicke  $z_{Di}$  in Richtung  $z$  der Achse zwischen der Oberfläche und der äußeren Kontur in einem vorgegebenen Punkt  $i$  bei relativer Polierbewegung zwischen dem Polierwerkzeug und der optischen Oberfläche;

j) Addieren der Abweichungen  $z_{Di}$  bei allen Punkten  $i$ ;

k) Bestimmen einer maximalen Abweichung  $z_{Dmax}$ ;

l) Bestimmen einer minimalen Abweichung  $z_{Dmin}$ ;

m) Bestimmen eines Mittelwerts  $z_{Dm}$  aus allen Abweichungen  $z_{Di}$ ;

n) Bilden einer Differenz  $z_{Dmt}$  zwischen dem Mittelwert  $z_{Dm}$  und der Summe einer Kippung und eines zentralen Offsets des Mittelwerts  $z_{Dm}$ ;

o) Berechnen der axialen Dicke  $D$  in Abhängigkeit von der radialen Richtung  $h$  für runde bzw.  $x, y$  für unrunde Polierwerkzeuge mit den Unterschritten:

$$(X) \quad D(h) = D_i + D_i \cdot z_{Dmt}(h) / d_i / f_a;$$

bzw.

$$(XI) \quad D(x, y) = D_i + D_i \cdot z_{Dmt}(x, y) / d_i / f_a;$$

$$(XII) \quad K1(h) = K2(h) + D(h);$$

bzw.

$$(XIII) \quad K1(x, y) = K2(x, y) + D(x, y).$$

[0054] Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Zeichnung und der beigefügten Zeichnung.

[0055] Beispiele sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht, teilweise aufgebrochen, eines Beispiels eines Polierkopfs zum Polieren einer Oberfläche eines Brillenglases;

Fig. 2 eine noch weiter schematisierte Darstellung eines Polierwerkzeugs, wie es in dem Polierkopf gemäß Fig. 1 verwendet wird;

Fig. 3 eine Darstellung, ähnlich Fig. 2, eines weiteren Polierwerkzeugs;

Fig. 4 eine Darstellung, ähnlich Fig. 2, eines erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels des Polierwerkzeugs;

Fig. 5 eine Darstellung, ähnlich Fig. 2, eines weiteren Polierwerkzeugs;

5 Fig. 6 eine Darstellung, ähnlich Fig. 2, eine weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels des Polierwerkzeugs;

Fig. 7 ein Blockschaltbild zur Erläuterung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen eines Polierwerkzeugs.

10 **[0056]** In Fig. 1 bezeichnet 10 als Ganzes eine Vorrichtung zum Polieren eines Brillenglases 12. Es versteht sich dabei, dass der Anwendungsfall "Brillenglas" nur beispielhaft zu verstehen ist, weil die Erfindung ganz allgemein bei optischen Flächen einsetzbar ist. Hiermit sind Flächen optischer Bauelemente gemeint wie z.B. Flächen, insbesondere asphärische Flächen oder Freiformflächen von Brillengläsern, Spiegeln, Kunststoffoptiken usw..

15 **[0057]** In Figur 1 wird das Brillenglas 12 von einem herkömmlichen Halter 14 gehalten, und zwar im dargestellten Beispiel raumfest. Eine erste Achse ist mit 15 bezeichnet. Dies ist zugleich die geometrische Achse des Körpers des Brillenglases 12 und die Hochachse des Halters 14.

**[0058]** Das Brillenglas weist eine innere, hintere Oberfläche 16 und eine äußere, vordere Oberfläche 18 auf. Die innere Oberfläche 16 ist im dargestellten Beispiel die sogenannte Rezeptfläche, die in vorbestimmter Weise optisch bearbeitet und insbesondere als Freiformfläche ausgebildet ist.

20 **[0059]** Ein Polierkopf 20 trägt an seinem freien Ende ein Polierwerkzeug 22. Das Polierwerkzeug 22 weist einen ersten, vorzugsweise starren Körper 24 in Form einer Schale auf. An diesen schließt sich bündig ein zweiter, elastischer Körper 26 an, der auch als Buffer bezeichnet wird. An dessen gegenüberliegender Seite wiederum befindet sich ein Polierbelag 28. Der Polierbelag 28 kann nur aus einer aufgetragenen Polierpaste bestehen oder ein eigenes körperliches Gebilde sein, z.B. eine Poliermembran, ein Polierpad oder ein Polierschichtmaterial.

25 **[0060]** Der erste Körper 24 ist auf seiner Rückseite mit einer Kugelpfanne 30 oder einem anderen geeigneten Gelenkteil versehen, in die ein Kugelpfanne 32 eines mit 34 symbolisierten Aktuators eines Polierroboters (nicht dargestellt) greift, der sich entlang einer zweiten Achse 36 erstreckt. Das so angedeutete Gelenk lässt Schwenkbewegungen des Polierwerkzeugs 22 relativ zum Brillenglas zu, ermöglicht es aber gleichzeitig, das Polierwerkzeug 22 um die zweite Achse 36 rotieren zu lassen. Damit ist es möglich, das Polierwerkzeug 22 anzutreiben und mit dem Polierbelag 28 über die zu polierende Oberfläche 16 des Brillenglases 12 zu führen, wie dies dem Fachmann bekannt ist.

30 **[0061]** Der zweite, elastische Körper 26 besteht vorzugsweise aus Gummi oder Kautschuk. Er kann auch aus einem polyurethanischen Werkstoff bestehen, also z.B. Polyurethan, Polyätherurethan oder einem Elastomer. Derartige Werkstoffe sind bekannt und z.B. unter den Handelsnamen Sylomer, Sylodyn und Sylodamp von der Fa. Getzner erhältlich. Der Elastizitätsmodul  $E$  dieses Werkstoffs sollte größer sein als  $0,02 \text{ N/mm}^2$ .

35 **[0062]** Die Elemente 24, 26 und 28 sitzen in Richtung der zweiten Achse 36 dicht nebeneinander und erstrecken sich im Wesentlichen in radialer Richtung. Wie noch ausgeführt werden wird, unterscheidet man im Rahmen der vorliegenden Erfindung zwischen runden und unrunder Polierwerkzeugen 22.

**[0063]** Es sei ferner noch angemerkt, dass die zweite Achse 36 nicht notwendigerweise im Zentrum des Polierwerkzeugs 22 angeordnet sein muss. Die vorliegende Erfindung schließt auch andere Ausführungsformen in exzentrischer oder taumelnder Bauweise ein.

40 **[0064]** In Fig. 2 ist das Polierwerkzeug 22 noch einmal schematisch mit den drei Elementen 24, 26 und 28 dargestellt. Wichtig ist bei diesem Ausführungsbeispiel, dass der zweite Körper 26 eine axiale Dicke  $D$  hat, die sich mit dem Abstand von der Achse 36 ändert. Dies ist deswegen so vorgesehen, weil die Elastizität des zweiten Körpers 26 in radialer Richtung von innen nach außen in vorbestimmter Weise, d.h. mit einem vorgegebenen Profil, zunehmen soll. Dies bedeutet, dass der zweite, elastische Körper nach außen hin weicher wird, also eine zunehmend flachere Federkennlinie hat. Man macht sich dabei die Tatsache zunutze, dass ein elastisches Plattenmaterial eine Federkennlinie, also eine Abhängigkeit der Pressung ( $\text{N/mm}^2$ ) von der Einfederung ( $\text{mm}$ ) hat, die umso flacher verläuft, je dicker das Plattenmaterial ist. Beim Polieren einer optischen Fläche entspricht der ausgeübte Polierdruck der Pressung.

**[0065]** Die bereits erwähnte axiale Dicke  $D$  wird zwischen den Konturen 40 und 42 gemessen.

50 **[0066]** Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle erwähnt, dass die angestrebte zunehmende Elastizität zum Rand des Polierwerkzeugs hin alternativ auch durch die Verwendung eines Werkstoffs für den zweiten Körper erreicht werden kann, dessen Elastizität nicht homogen ist sondern nach außen hin zunimmt. Man ist dann im Verlauf der axialen Dicke in Abhängigkeit vom radialen Abstand zur Achse weitgehend frei.

**[0067]** Es sei ferner erwähnt, dass die radiale Zunahme der Elastizität zum Rand des Polierwerkzeugs hin kontinuierlich oder in Stufen eingestellt werden kann.

55 **[0068]** Für die nähere Erläuterung des in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels wird die Richtung der zweiten Achse 36 mit  $z$  bezeichnet. Der radiale Abstand von der zweiten Achse ist bei runden Polierwerkzeugen 22 eindimensional, also  $h$ . Bei unrunder Polierwerkzeugen 22 ist er zweidimensional, wird also in Koordinaten  $x$ ,  $y$  ausge-

drückt.

**[0069]** Fig. 2 zeigt ferner, dass der zweite Körper 26 an seiner Oberseite von einer inneren Kontur 40 und an seiner Unterseite von einer äußeren Kontur 42 begrenzt wird. Die äußere Kontur 42 ist im Wesentlichen gleich der Einhüllenden der Kontur der zu polierenden Oberfläche 16. In Fig. 2 ist die innere Kontur 40 konkav und die äußere Kontur 42 konvex.

**[0070]** Die Figuren 3 bis 6 zeigen Varianten von Fig. 2, wobei gleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen und nur durch Hinzufügen eines Buchstabens differenziert sind.

**[0071]** In Fig. 3 ist die innere Kontur 40a konvex und die äußere Kontur 42a plan.

**[0072]** In Fig. 4 sind die innere Kontur 40b und die äußere Kontur 42b konkav.

**[0073]** In Fig. 5 ist die innere Kontur 40c plan und die äußere Kontur 42c konkav.

**[0074]** In Fig. 6 ist die innere Kontur 40d konvex und die äußere Kontur 42d konkav.

**[0075]** Das Polierwerkzeug 22 wird mit einer Andrückkraft  $F_k$  an die zu polierende Oberfläche 16 des Brillenglases 12 gedrückt. Um den gewünschten gleichförmigen Anpressdruck über die Kontaktfläche zwischen Polierbelag 28 und Oberfläche 16 zu erreichen, wird ein Optimierungsprozess abgewickelt, der im Blockdiagramm der Fig. 7 veranschaulicht ist.

**[0076]** Dazu wird für die Polierdruckberechnung von einem vereinfachten Modell des Hooke'schen Gesetzes ausgegangen. Dieses Modell stellt einen eindimensionalen Zusammenhang zwischen dem Polierdruck  $p(h)$  bzw. der Flächenpressung für runde bzw.  $p(x,y)$  für unrunde Polierwerkzeuge 22 und der Dicke  $D(h)$  bzw.  $D(x,y)$  des zweiten Körpers 26 dar:

$$(I) \quad p(h) = E \cdot d(h) / D(h),$$

bzw.

$$(II) \quad p(x,y) = E \cdot d(x,y) / D(x,y)$$

**[0077]** In einem ersten Schritt (Block 50) wird nun der gewünschte mittlere Polierdruck  $p_m$  bzw. die Flächenpressung in  $N/mm^2$  festgelegt.

**[0078]** In einem zweiten Schritt (Block 52) wird die notwendige Anpresskraft  $F_k$  in N aus den Abmessungen des Polierwerkzeugs 22 bestimmt, also aus der Größe der Kontaktfläche.

**[0079]** In einem dritten Schritt (Block 54) wird der Elastizitätsmodul  $E$  des Werkstoffs für den zweiten Körper 26 in  $N/mm^2$  gewählt und dessen Mittendicke  $D_i$  festgelegt.

**[0080]** In einem vierten Schritt (Block 56) wird die äußere Kontur 42 des zweiten Körpers 26 ausgehend von einer Grundstellung des Polierwerkzeugs 22 auf der Oberfläche 16 festgelegt.

**[0081]** In einem fünften Schritt (Block 58) wird die mittlere Einfederungstiefe  $d_i$  bei einem zweiten Körper 26 mit angenommener konstanter Dicke  $D_i$  nach der Vorgabe des dritten Schritts (Block 54) nach folgender Formel berechnet:

$$(III) \quad d_i = p_m \cdot D_i / E$$

**[0082]** In einem sechsten Schritt (Block 60) wird die Polierbewegung des Polierwerkzeugs 22 auf der zu polierenden Oberfläche 16 bestimmt.

**[0083]** In einem siebten Schritt (Block 62) wird diese Polierbewegung in hinreichend große Anzahl  $n$  von kleinen Bewegungsincrementen diskretisiert.

**[0084]** In einem achten Schritt (Block 64) werden die Abweichungen in  $z$ -Richtung  $z_D(h)$  bzw.  $z_D(x,y)$  zwischen der gegenüber der zu polierenden Oberfläche 16 verschobenen und/oder verdrehten äußeren Kontur 42 des zweiten Körpers 26 an einer Position  $i$  berechnet. Dies ist die lokale Einfederungsfläche.

**[0085]** In einem neunten Schritt (Block 66) werden diese Abweichungen  $z_D(h)$  bzw.  $z_D(x,y)$  bei allen bewegungsincrementellen Zwischenpositionen addiert. Dies geschieht im jeweiligen Polar- bzw. kartesischen System komponentenweise.

**[0086]** In einem zehnten Schritt (Block 68) wird die minimale Einfederungstiefe  $z_{Dmin}$  festgehalten und entsprechend in einem elften Schritt (Block 69) die maximale Einfederungstiefe  $z_{Dmax}$ .

**[0087]** In einem zwölften Schritt (Block 76) wird schließlich die Kippung und der zentrale Offset der gemittelten asphärischen Deformationsfläche abgezogen, und man erhält einen Wert  $z_{Dmt}$ .



## EP 1 711 311 B2

[0088] Die erforderlichen Iterationen erfolgen dabei über die Schleifen 74, 78 und 80.

[0089] Mit dem Wert  $z\_Dmt$  kann dann nach zwei verschiedenen Varianten A und B weitergearbeitet werden, die in den Blöcken 84 und 86 mit den zugehörigen Gleichungen IV bis IX bzw. X bis XIII gekennzeichnet sind.

[0090] In der Variante A wird zunächst die Äußere Kontur 42 um den Wert  $z\_Dmt$  korrigiert, um die gemittelten Einfederungsabweichungen auszugleichen, und zwar für runde Polierwerkzeuge 22:

$$(IV) \quad K2(h) = K2(h) + z\_Dmt(h)$$

bzw. für unrunde Polierwerkzeuge 22:

$$(V) \quad K2(x, y) = K2(x, y) + z\_Dmt(x, y)$$

[0091] Die noch nicht kompensierten dynamischen Abweichungen werden über die Funktion der Dicke  $D$  des zweiten Körpers 26 vermindert, und zwar für runde Polierwerkzeuge 22:

$$(VI) \quad D(h) = Di + Di * (z\_Dmax(h) - z\_Dmin(h)) / di / f\_a;$$

bzw. für unrunde Polierwerkzeuge 22:

$$(VII) \quad D(x, y) = Di + Di * (z\_Dmax(x, y) - z\_Dmin(x, y)) / di / f\_a$$

[0092] Die Variante A kompensiert also die mittlere dynamische Federabweichung vollständig und vermindert die dynamische Federdruckabweichung durch die Funktion der Dicke  $D$  des zweiten Körpers 26. Die innere Kontur 41 (hier  $K1$  genannt) ergibt sich dann für runde Polierwerkzeuge 22 zu:

$$(VIII) \quad K1(h) = K2(h) + D(h)$$

bzw. für unrunde Polierwerkzeuge 22:

$$(IX) \quad K1(x, y) = K2(x, y) + D(x, y).$$

[0093] Bei der Variante B wird auf die Korrektur der äußeren Kontur 42 verzichtet. Dann lassen sich über die Funktionen der Dicke  $D$  des zweiten Körpers 26 die gemittelten Federabweichungen  $z\_Dmt$  vermindern, für runde Polierwerkzeuge 22:

$$(X) \quad D(h) = Di + Di * z\_Dmt(h) / di / f\_a$$

bzw. für unrunde Polierwerkzeuge 22:

$$(XI) \quad D(x, y) = Di + Di * z\_Dmt(x, y) / di / f\_a$$

**[0094]** Die innere Kontur 40 bzw. K1 ergibt sich dann für runde Polierwerkzeuge 22:

$$(XII) \quad K1(h) = K2(h) + D(h)$$

bzw. für unrunde Polierwerkzeuge 22:

$$(XIII) \quad K1(x, y) = K2(x, y) + D(x, y).$$

**[0095]** Dabei wird der Faktor  $f_a$  als dem Asphärentyp zugeordneter spezieller Faktor verwendet. Der Faktor kann idealerweise zwischen 1/2 und 2 liegen. Die dynamische Federdruckvariationen werden bei dieser Variante nicht kompensiert.

Beispiele:

**[0096]** Die Auslegung des zweiten Körpers 26 erfolgt für die Bearbeitung einer torischen asphärischen Fläche eines Brillenglases nach Variante B. Ausgangspunkt ist eine torische Fläche mit den Radien  $R1 = 100$  mm und  $R2 = 150$  mm. Bei einer torischen Brillenglasoberfläche bedeutet ein Basisradius  $RB$  von 150 mm bei einer Brechzahl von 1,6 einen Brechwert von 4 Dioptrien. Ein Zylinderradius  $RZ$  von 100 mm bedeutet bei gleichem Brechungsindex einen Brechwert von 6 Dioptrien. Eine solche asphärische torische Fläche stellt also einen zylindrischen Brechwert von 2 Dioptrien dar. Über 90 % aller Brillengläser haben eine Zylinderwirkung von weniger als 2 Dioptrien. Die Aspherizität des beschriebenen Torus liegt im Durchmesserbereich von 45 mm bei ca. 900  $\mu$ m.

**[0097]** Die Anpresskraft wird mit  $F_k = 90,478$  N angenommen. Bei einem Durchmesser der Kontaktfläche von  $D_m = 45$  mm wird dann ein gemittelter Polierdruck  $p_m = 0,057$  N/mm<sup>2</sup> ausgeübt.

**[0098]** Der Elastizitätsmodul wird mit  $E = 0,25$  N/mm<sup>2</sup> gewählt. Die Mittendicke  $D_i$  des zweiten Körpers 26 beträgt 4 mm.

**[0099]** Es wird zunächst angenommen, dass die Konturen 40 und 42 identisch sind und dem Radius der sphärischen Fläche von  $RB = RZ = 150$  mm entsprechen. Hierbei erhält man den Idealfall mit konstantem Polierdruck.

Beispiel 1 (Stand der Technik):

**[0100]** Das Polierwerkzeug 22 wird in herkömmlicher Weise unter der Annahme konstanter Dicke  $D$  des zweiten Körpers 26 von 4 mm gegen die vorgenannte Fläche mit den Radien 100/150 mm gepresst. Die Radien der Konturen 40 und 42 sind identisch und so gewählt, dass sie sich zwischen den beiden Radien des Torus befinden. Es zeigt sich dann, dass die Polierdruckschwankungen im äußeren Bereich mindestens 96 % des gemittelten Polierdrucks betragen. Dies bewirkt eine starke diskontinuierliche Polierabtragsbildung und ist für eine gleichmäßige Polier- und Glättwirkung kontraproduktiv. Es ist ein stark schwankender Polierprozess zu erwarten.

Beispiel 2 (Erfindung):

**[0101]** Es wird daher jetzt erfindungsgemäß ein im radialen Verlauf der Dicke  $D_i$  optimierter zweiter Körper 26 verwendet, bei dem sich die Dicke  $D_i$  von 4 mm im Zentrum bis auf  $DR = 10$  mm am Außenrand aufweitet. Der Faktor  $f_a$  wird hierbei mit  $f_a = 2/3$  gewählt. Die Radien der Konturen 40 und 42 sind so berechnet, dass die äußere Kontur 42 etwas flacher als der Basisradius  $RB$  anpresst und der Radius der inneren Kontur 40 dementsprechend den Dickenunterschied von innen nach außen kompensiert. Der jetzt berechnete Polierdruck geht dann in seiner Dynamik auf weniger als 40 % des gemittelten Polierdrucks  $p_m$  zurück.

Beispiel 3 (Erfindung):

**[0102]** Wenn ein sich nach außen von  $D_i = 4$  mm auf  $DR = 8$  mm verdickender zweiter Körper 26 gewählt wird und die Radien der Konturen 40 und 42 werden analog der vorigen Berechnung ausgelegt, dann liegt die Polierdruckschwankung bei weniger als 47 %, wenn der Faktor  $f_a = 1$  angenommen wird.

## Patentansprüche

- 5 1. Vorrichtung zum Polieren einer optischen Fläche, mit einem Polierkopf (20), dessen Polierwerkzeug (22) entlang einer gemeinsamen Achse (36) hintereinander einen ersten, vorzugsweise starren Körper (24), einen zweiten, elastischen Körper (26) sowie einen Polierbelag (28) aufweist, die sich jeweils im Wesentlichen radial zur Achse (36) erstrecken, wobei der zweite Körper (26) in radialer Richtung (h; x, y) von innen nach außen zunehmend weicher ausgebildet ist, der zweite Körper (26) in radialer Richtung (h; x, y) eine zunehmende axiale Dicke (D) aufweist, der zweite Körper (26) mit einer inneren Kontur (40) an den ersten Körper (24) und mit einer äußeren Kontur (42) an den Polierbelag (28) angrenzt, und der Verlauf der axialen Dicke (D) über der radialen Richtung (h; x, y) in Abhängigkeit vom radialen Verlauf der Konturen (40, 42) bestimmt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die innere Kontur (40b) konkav und die äußere Kontur (42b) konkav ausgebildet sind.
- 15 2. Vorrichtung zum Polieren einer optischen Fläche, mit einem Polierkopf (20), dessen Polierwerkzeug (22) entlang einer gemeinsamen Achse (36) hintereinander einen ersten, vorzugsweise starren Körper (24), einen zweiten, elastischen Körper (26) sowie einen Polierbelag (28) aufweist, die sich jeweils im Wesentlichen radial zur Achse (36) erstrecken, wobei der zweite Körper (26) in radialer Richtung (h; x, y) von innen nach außen zunehmend weicher ausgebildet ist, der zweite Körper (26) in radialer Richtung (h; x, y) eine zunehmende axiale Dicke (D) aufweist, der zweite Körper (26) mit einer inneren Kontur (40) an den ersten Körper (24) und mit einer äußeren Kontur (42) an den Polierbelag (28) angrenzt, und der Verlauf der axialen Dicke (D) über der radialen Richtung (h; x, y) in Abhängigkeit vom radialen Verlauf der Konturen (40, 42) bestimmt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die innere Kontur (40d) konvex und die äußere Kontur (42d) konkav ausgebildet sind.
- 25 3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die äußere Kontur (42) sphärisch ausgebildet ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die äußere Kontur (42) asphärisch ausgebildet ist.
- 30 5. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die äußere Kontur (42) als Freiformfläche ausgebildet ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Körper (26) aus einem Werkstoff besteht, dessen Elastizitätsmodul (E) größer als 0,02 N/mm<sup>2</sup> ist.
- 35 7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Körper (26) aus einem Werkstoff besteht, der aus der Gruppe Gummi, Kautschuk, Polyurethan, Polyätherurethan, Elastomer ausgewählt ist.
- 40 8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Körper (26) ein Gussteil ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Körper (26) aus einem Werkstoff ausgebildet ist, dessen Elastizität in radialer Richtung von innen nach außen zunimmt.
- 45 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Polierbelag (28) eine Polierpaste ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Polierbelag (28) als Poliermembran ausgebildet ist.
- 50 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polierwerkzeug (22) relativ zur Achse (36) rund ausgebildet ist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polierwerkzeug (22) relativ zur Achse (36) unrund ausgebildet ist.
- 55 14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polierwerkzeug (22) in der Achse (36) gelenkig gelagert ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polierwerkzeug (22) außerhalb der Achse (36) gelenkig gelagert ist.

16. Verfahren zum Polieren einer Oberfläche (16) eines optischen Bauelementes, insbesondere eines Brillenglases (12), **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15 verwendet wird.

17. Verfahren zum Herstellen eines Polierwerkzeugs (20), das entlang einer gemeinsamen Achse (36) hintereinander einen ersten, vorzugsweise starren Körper (24), einen zweiten, elastischen Körper (26) sowie einen Polierbelag (28) aufweist, die sich jeweils im Wesentlichen radial zur Achse (36) erstrecken, wobei der zweite Körper (26) in radialer Richtung (h; x, y) von innen nach außen zunehmend weicher ausgebildet wird, wobei der zweite Körper (26) in radialer Richtung (h; x, y) mit zunehmender axialer Dicke (D) hergestellt wird, wobei der zweite Körper (26) mit einer inneren Kontur (40) an den ersten Körper (24) und mit einer äußeren Kontur (42) an den Polierbelag (28) angrenzend hergestellt und der Verlauf der axialen Dicke (D) über der radialen Richtung (h; x, y) in Abhängigkeit vom radialen Verlauf der Konturen (40, 42) bestimmt wird, des Weiteren mit den Schritten:

- a) Festlegen eines gewünschten mittleren Polierdrucks (pm) des Polierwerkzeugs (20);
- b) Bestimmen der notwendigen Anpresskraft (Fk) aus der Polierfläche des Polierwerkzeugs (20),
- c) Auswählen eines Elastizitätsmoduls (E) für den Werkstoff des zweiten Körpers (26);
- d) Auswählen einer Mittendicke (Di) des zweiten Körpers (26);
- e) Auswählen einer anfänglichen äußeren Kontur (42);
- f) Berechnen einer mittleren Einfederungstiefe (di) für einen zweiten Körper (26) unter der Annahme, dass der zweite Körper eine konstante axiale Dicke (D) aufweist, die gleich der ausgewählten Mittendicke (Di) ist;
- g) Bestimmen einer Polierbewegung des Polierwerkzeugs (20) auf der zu polierenden Oberfläche (16);
- h) Diskretisieren der Polierbewegung in eine vorbestimmte Anzahl (n) Bewegungssinkremente, wobei die Anzahl (n) hinreichend groß gewählt wird;
- i) Berechnen einer Einfederungsfläche aus den Abweichungen der axialen Dicke (z\_Di) in Richtung (z) der Achse (36) zwischen der Oberfläche (16) und der äußeren Kontur (42) in einem vorgegebenen Punkt (i) bei relativer Polierbewegung zwischen dem Polierwerkzeug (20) und der optischen Fläche und;
- j) Addieren der Abweichungen (z\_Di) bei allen Punkten (i);
- k) Bestimmen einer maximalen Abweichung (z\_Dmax);
- l) Bestimmen einer minimalen Abweichung (z\_Dmin);
- m) Bestimmen eines Mittelwerts (z\_Dm) aus allen Abweichungen (z\_Di);
- n) Bilden einer Differenz (z\_Dmt) zwischen dem Mittelwert (z\_Dm) und der Summe einer Kippung und eines zentralen Offsets des Mittelwerts (z\_Dm);
- o) Berechnen der axialen Dicke (D) in Abhängigkeit von der radialen Richtung (h) für runde bzw. (x, y) für unrunde Polierwerkzeuge (22) mit den Unterschriften:

$$K2(h)=K2(h)+z\_Dmt(h);$$

bzw.

$$K2(x,y)=K2(x,y)+z\_Dmt(x,y);$$

$$D(h)=Di+Di*(z\_Dmax(h)-z\_Dmin(h))/di/f\_a;$$

bzw

$$D(x,y)=Di+Di*(z\_Dmax(x,y)-z\_Dmin(x,y))/di/f\_a;$$

$$K1(h)=K2(h)+D(h);$$

5 bzw.

$$K1(x,y)=K2(x,y)+D(x,y).$$

10

18. Verfahren zum Herstellen eines Polierwerkzeugs (20), das entlang einer gemeinsamen Achse (36) hintereinander einen ersten, vorzugsweise starren Körper (24), einen zweiten, elastischen Körper (26) sowie einen Polierbelag (28) aufweist, die sich jeweils im Wesentlichen radial zur Achse (36) erstrecken, wobei der zweite Körper (26) in radialer Richtung (h; x, y) von innen nach außen zunehmend weicher ausgebildet wird, wobei der zweite Körper (26) in radialer Richtung (h; x, y) mit zunehmender axialer Dicke (D) hergestellt wird, wobei der zweite Körper (26) mit einer inneren Kontur (40) an den ersten Körper (24) und mit einer äußeren Kontur (42) an den Polierbelag (28) angrenzend hergestellt und der Verlauf der axialen Dicke (D) über der radialen Richtung (h; x, y) in Abhängigkeit vom radialen Verlauf der Konturen (40, 42) bestimmt wird, des Weiteren mit den Schritten:

15

20

- a) Festlegen eines gewünschten mittleren Polierdrucks (pm) des Polierwerkzeugs (20);
- b) Bestimmen der notwendigen Anpresskraft (Fk) aus der Polierfläche des Polierwerkzeugs (20),
- c) Auswählen eines Elastizitätsmoduls (E) für den Werkstoff des zweiten Körpers (26);
- d) Auswählen einer Mittendicke (Di) des zweiten Körpers (26);

25

- e) Auswählen einer anfänglichen äußeren Kontur (42);
- f) Berechnen einer mittleren Einfederungstiefe (di) für einen zweiten Körper (26) unter der Annahme, dass der zweite Körper eine konstante axiale Dicke (D) aufweist, die gleich der ausgewählten Mittendicke (Di) ist;
- g) Bestimmen einer Polierbewegung des Polierwerkzeugs (20) auf der zu polierenden Oberfläche (16);
- h) Diskretisieren der Polierbewegung in eine vorbestimmte Anzahl (n) Bewegungssinkremente, wobei die Anzahl (n) hinreichend groß gewählt wird;

30

- i) Berechnen einer Einfederungsfläche aus den Abweichungen der axialen Dicke (z\_Di) in Richtung (z) der Achse (36) zwischen der Oberfläche (16) und der äußeren Kontur (42) in einem vorgegebenen Punkt (i) bei relativer Polierbewegung zwischen dem Polierwerkzeug (20) und der optischen Fläche;

35

- j) Addieren der Abweichungen (z\_Di) bei allen Punkten (i);
- k) Bestimmen einer maximalen Abweichung (z\_Dmax);
- l) Bestimmen einer minimalen Abweichung (z\_Dmin);
- m) Bestimmen eines Mittelwerts (z\_Dm) aus allen Abweichungen (z\_Di);
- n) Bilden einer Differenz (z\_Dmt) zwischen dem Mittelwert (z\_Dm) und der Summe einer Kippung und eines zentralen Offsets des Mittelwerts (z\_Dm);
- o) Berechnen der axialen Dicke (D) in Abhängigkeit von der radialen Richtung (h) für runde bzw. (x, y) für unrunde Polierwerkzeuge (22) mit den Unterschritten:

40

$$(X) \quad D(h)=D_i+D_i \cdot z_{Dmt}(h)/d_i/f_a;$$

45

bzw.

50

$$(XI) \quad D(x,y)=D_i+D_i \cdot z_{Dmt}(x,y)/d_i/f_a;$$

55

$$(XII) \quad K1(h)=K2(h)+D(h);$$

bzw.

$$(XIII) \quad K1(x,y)=K2(x,y)+D(x,y).$$

## Claims

1. An apparatus for polishing an optical surface, comprising a polishing head (20) having a polishing tool (22), the polishing tool (22) being provided along a common axis (36) and one behind another with a first, preferably rigid member (24), a second, elastic member (26), and a polishing lining (28), each extending essentially radially relative to the axis (36), wherein the second member (26) is configured to be increasingly soft in a radial outward direction (h; x, y), the second member (26) is configured to have an increasing axial thickness (D) in a radial direction (h; x, y), wherein the second member (26) adjoins the first member (24) with an inner contour (40) and adjoins the polishing lining (28) with an outer contour (42), and wherein function of the axial thickness (D) vs. the radial direction (h; x, y) is determined depending on the radial function of the contours (40, 42), **characterized in that** the inner contour (40b) is configured concave and the outer contour (42b) is configured concave.
2. An apparatus for polishing an optical surface, comprising a polishing head (20) having a polishing tool (22), the polishing tool (22) being provided along a common axis (36) and one behind another with a first, preferably rigid member (24), a second, elastic member (26), and a polishing lining (28), each extending essentially radially relative to the axis (36), wherein the second member (26) is configured to be increasingly soft in a radial outward direction (h; x, y), the second member (26) is configured to have an increasing axial thickness (D) in a radial direction (h; x, y), wherein the second member (26) adjoins the first member (24) with an inner contour (40) and adjoins the polishing lining (28) with an outer contour (42), and wherein function of the axial thickness (D) vs. the radial direction (h; x, y) is determined depending on the radial function of the contours (40, 42), **characterized in that** the inner contour (40d) is configured convex and the outer contour (42d) is configured concave.
3. The apparatus of claim 1 or 2, **characterized in that** the outer contour (42) is configured spherical.
4. The apparatus of claim 1 or 2, **characterized in that** the outer contour (42) is configured aspherical.
5. The apparatus of claim 1 or 2, **characterized in that** the outer contour (42) is configured as a free-form surface.
6. The apparatus of one of claims 1 to 5, **characterized in that** the second member (26) consists of a material having a modulus of elasticity of more than 0.02 N/mm<sup>2</sup>.
7. The apparatus of one of claims 1 to 6, **characterized in that** the second member (26) consists of a material selected from the group: rubber, caoutchouc, polyurethane, polyetherurethane, elastomer.
8. The apparatus of one of claims 1 to 7, **characterized in that** the second member (26) is a moulded piece.
9. The apparatus of one of claims 1 to 8, **characterized in that** the second member (26) is configured from a material having an elasticity increasing outwardly in a radial direction.
10. The apparatus of one of claims 1 to 9, **characterized in that** the polishing lining (28) is a polishing paste.
11. The apparatus of one of claims 1 to 8, **characterized in that** the polishing lining (28) is configured as a polishing membrane.
12. The apparatus of one of claims 1 to 11, **characterized in that** the polishing tool (22) is configured round relative to the axis (36).
13. The apparatus of one of claims 1 to 11, **characterized in that** the polishing tool (22) is configured out of round relative to the axis (36).
14. The apparatus of one of claims 1 to 13, **characterized in that** the polishing tool (22) is gimballed within the axis (36).
15. The apparatus of one of claims 1 to 13, **characterized in that** the polishing tool (22) is gimballed outside the axis (36).

16. A method of polishing a surface (16) of an optical component, in particular of a spectacle lens (12), **characterized in that** an apparatus according to one of claims 1 to 15 is used.

17. A method of manufacturing a polishing tool (20), the polishing tool (20) being provided along a common axis (36) and one behind another with a first, preferably rigid member (24), a second, elastic member (26), and a polishing lining (28), each extending essentially radially relative to the axis (36), wherein the second member (26) is configured to be increasingly soft in a radial outward direction (h; x, y), wherein the second member (26) is manufactured to have an increasing axial thickness (D) in a radial direction (h; x, y), wherein the second member (26) is manufactured to adjoin the first member (24) with an inner contour (40) and to adjoin the polishing lining (28) with an outer contour (42), and that the function of the axial thickness (D) vs. the radial direction (h; x, y) is determined depending on the radial function of the contours (40, 42), comprising the steps of:

- a) Determining a desired medium polishing pressure (pm) of the polishing tool (20);
- b) Determining the necessary application force (Fk) from the polishing area of the polishing tool (20);
- c) Selecting a modulus of elasticity (E) for the material of the second member (26);
- d) Selecting a central thickness (Di) of the second member (26);
- e) Selecting an initial outer contour (42);
- f) Calculating a central elastic deflection (di) for a second member (26) under the assumption that the second member has a constant axial thickness (D) being equal to the central thickness (Di);
- g) Determining a polishing movement of the polishing tool (20) on the surface (16) to be polished;
- h) Subdividing the polishing movement into a predetermined number (n) of motion increments, the number (n) being elected sufficiently high;
- i) Calculating an elastic deflection area from the deviations of the axial thickness (z\_Di) in the direction (z) of the axis (36) between the surface (16) and the outer contour (42) in a predetermined point (i) during a relative polishing movement between the polishing tool (20) and the optical surface;
- j) Adding the deviations (z\_Di) at all points (i);
- k) Determining a maximum deviation (z\_Dmax);
- l) Determining a minimum deviation (z\_Dmin);
- m) Determining a mean value (z\_Dm) from all deviations (z\_Di);
- n) Establishing a difference (z\_Dmt) between the mean value (z\_Dm) and the sum of a tilting and a central offset of the mean value (z\_Dm);
- o) Calculating the axial thickness (D) as a function of the radial direction (h) for round and (x, y) out of round polishing tools (22), resp., with the sub-steps of:

$$K2(h)=K2(h)+z\_Dmt(h);$$

and

$$K2(x,y)=K2(x,y)+z\_Dmt(x,y), \text{ resp.};$$

$$D(h)=Di+Di*(z\_Dmax(h)-z\_Dmin(h))/di/f\_a;$$

and

$$D(x,y)=Di+Di*(z\_Dmax(x,y)-z\_Dmin(x,y))/di/f\_a, \text{ resp.};$$

$$K1(h)=K2(h)+D(h);$$

and

$$K1(x,y)=K2(x,y)+D(x,y), \text{ resp.}$$

18. A method of manufacturing a polishing tool (20), the polishing tool (20) being provided along a common axis (36) and one behind another with a first, preferably rigid member (24), a second, elastic member (26), and a polishing lining (28), each extending essentially radially relative to the axis (36), wherein the second member (26) is configured to be increasingly soft in a radial outward direction (h; x, y), wherein the second member (26) is manufactured to have an increasing axial thickness (D) in a radial direction (h; x, y), wherein the second member (26) is manufactured to adjoin the first member (24) with an inner contour (40) and to adjoin the polishing lining (28) with an outer contour (42), and that the function of the axial thickness (D) vs. the radial direction (h; x, y) is determined depending on the radial function of the contours (40, 42), comprising the steps of:

- a) Determining a desired mean polishing pressure (pm) of the polishing tool (20);
- b) Determining the necessary application force (Fk) from the polishing area of the polishing tool (20),
- c) Selecting a modulus of elasticity (E) for the material of the second member (26);
- d) Selecting a central thickness (Di) of the second member (26);
- e) Selecting an initial outer contour (42);
- f) Calculating a mean elastic deflection (di) for a second member (26) under the assumption that the second member (26) has a constant axial thickness (D) being equal to the central thickness (Di);
- g) Determining a polishing movement of the polishing tool (20) on the surface (16) to be polished;
- h) Subdividing the polishing movement into a predetermined number (n) of motion increments, the number (n) being elected sufficiently high;
- i) Calculating an elastic deflection area from the deviations of the axial thickness (z\_Di) in the direction (z) of the axis (36) between the surface (16) and the outer contour (42) in a predetermined point (i) during a relative polishing movement between the polishing tool (20) and the optical surface;
- j) Adding the deviations (z\_Di) at all points (i);
- k) Determining a maximum deviation (z\_Dmax);
- l) Determining a minimum deviation (z\_Dmin);
- m) Determining a mean value (z\_Dm) from all deviations (z\_Di);
- n) Establishing a difference (z\_Dmt) between the mean value (z\_Dm) and the sum of a tilting and a central offset of the mean value (z\_Dm);
- o) Calculating the axial thickness (D) as a function of the radial direction (h) for round and (x, y) out of round polishing tools (22), resp., with the sub-steps of:

$$(X) \quad D(h)=D_i+D_i \cdot z_{Dmt}(h)/d_i/f_a;$$

and

$$(XI) \quad D(x,y)=D_i+D_i \cdot z_{Dmt}(x,y)/d_i/f_a, \text{ resp.};$$



$$(XII) \quad K1(h)=K2(h)+D(h);$$

and

$$(XIII) \quad K1(x,y)=K2(x,y)+D(x,y), \text{ resp.}$$

## Revendications

1. Dispositif pour le polissage d'une surface optique, avec une tête de polissage (20), dont l'outil de polissage (22) présente le long d'un axe (36) commun de façon successive un premier corps (24), de préférence rigide, un second corps (26) élastique et un revêtement de polissage (28), qui s'étendent à chaque fois essentiellement radialement à l'axe (36), le second corps (26) étant formé de plus en plus souple de l'intérieur vers l'extérieur dans le sens radial (h ; x, y), le second corps (26) étant formé avec une épaisseur (D) axiale croissante dans le sens radial (h ; x, y), le second corps (26) étant formé de façon contiguë par un contour (40) intérieur au premier corps (24) et par un contour (42) extérieur au revêtement de polissage (28) et le tracé de l'épaisseur (D) axiale étant déterminé sur la direction (h ; x, y) radiale en fonction du tracé radial des contours (40, 42), **caractérisé en ce que** le contour (40b) intérieur et le contour (42b) extérieur sont de forme concave.
2. Dispositif pour le polissage d'une surface optique, avec une tête de polissage (20), dont l'outil de polissage (22) présente le long d'un axe (36) commun de façon successive un premier corps (24), de préférence rigide, un second corps (26) élastique et un revêtement de polissage (28), qui s'étendent à chaque fois essentiellement radialement à l'axe (36), le second corps (26) étant formé de plus en plus souple de l'intérieur vers l'extérieur dans le sens radial (h ; x, y), le second corps (26) étant formé avec une épaisseur (D) axiale croissante dans le sens radial (h ; x, y), le second corps (26) étant formé de façon contiguë par un contour (40) intérieur au premier corps (24) et par un contour (42) extérieur au revêtement de polissage (28) et le tracé de l'épaisseur (D) axiale étant déterminé sur la direction (h ; x, y) radiale en fonction du tracé radial des contours (40, 42), **caractérisé en ce que** le contour (40d) intérieur est de forme convexe et le contour (42b) extérieur est de forme concave.
3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le contour (42) extérieur est de forme sphérique.
4. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le contour (42) extérieur est de forme asphérique.
5. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le contour (42) extérieur en forme de surface à forme libre.
6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le second corps (26) est à base d'un matériau dont le module d'élasticité (E) est supérieur à 0,02 N/mm<sup>2</sup>.
7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le second corps (26) est à base d'un matériau qui est choi parmi le groupe caoutchouc, polyuréthane, polyétheruréthane, élastomère.
8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le second corps (26) est une pièce moulée.
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le second corps (26) est conçu à base d'un matériau dont l'élasticité augmente dans le sens radial de l'intérieur vers l'extérieur.
10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** le revêtement de polissage (28) est une pâte de polissage.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le revêtement de polissage (28) est conçu comme une membrane de polissage.
12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** l'outil de polissage (22) est conçu rond par rapport à l'axe (36).
13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** l'outil de polissage (22) est conçu ovale par rapport à l'axe (36).
14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** l'outil de polissage (22) est logé de façon articulée dans l'axe (36).
15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** l'outil de polissage (22) est logé de façon articulée à l'extérieur de l'axe (36).
16. Procédé pour le polissage d'une surface (16) d'un composant optique, en particulier d'un verre de lunettes (12), **caractérisé en ce qu'un** dispositif est utilisé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15.
17. Procédé pour fabriquer un outil de polissage (20), qui présente le long d'un axe (36) commun de façon successive un premier corps (24), de préférence rigide, un second corps (26) élastique ainsi qu'un revêtement de polissage (28), qui s'étendent à chaque fois sensiblement radialement à l'axe (36), le second corps (26) étant conçu de plus en plus souple de l'intérieur vers l'extérieur dans le sens radial (h ; x, y), le second corps (26) présentant une épaisseur (D) axiale croissante dans le sens radial (h ; x, y), le second corps (26) étant contigu par un contour (40) intérieur au premier corps (24) et par un contour (42) extérieur au revêtement de polissage (28), et le tracé de l'épaisseur (D) axiale étant déterminé sur la direction (h ; x, y) radiale en fonction du tracé radial des contours (40, 42), **caractérisé par** les étapes suivantes :
- a) Fixation d'une pression de polissage (pm) moyenne souhaitée de l'outil de polissage (20) ;
  - b) Détermination de la force de pression (Fk) nécessaire à partir de la surface de polissage de l'outil de polissage (20),
  - c) Sélection d'un module d'élasticité (E) pour le matériau du second corps (26) ;
  - d) Sélection d'une épaisseur moyenne (Di) du second corps (26) ;
  - e) Sélection d'un contour (42) extérieur initial ;
  - f) Calcul d'une profondeur moyenne de compression de ressort (di) pour un second corps (26) avec l'hypothèse que le second corps présente une épaisseur (D) axiale constante qui est égale à l'épaisseur moyenne (Di) sélectionnée ;
  - g) Détermination d'un mouvement de polissage de l'outil de polissage (20) sur la surface (16) à polir ;
  - h) Discrétisation du mouvement de polissage en un nombre (n) prédéfini d'incrément de mouvement, le nombre (n) étant choisi suffisamment grand ;
  - i) Calcul d'une surface de compression de ressort à partir des écarts de l'épaisseur (z\_Di) axiale dans le sens (z) de l'axe (36) entre la surface (16) et le contour (42) extérieur en un point (i) prédéfini avec un mouvement de polissage relatif entre l'outil de polissage (20) et la surface optique et ;
  - j) Addition des écarts (z\_Di) sur tous les points (i) ;
  - k) Détermination d'un écart maximum (z\_Dmax) ;
  - l) Détermination d'un écart minimal (z\_Dmin) ;
  - m) Détermination d'une valeur moyenne (z\_Dm) à partir de tous les écarts (z\_Di) ;
  - n) Formation d'une différence (z\_Dmt) entre la valeur moyenne (z\_Dm) et la somme d'un basculement et d'une déviation centrale de la valeur moyenne (z\_Dm) ;
  - o) Calcul de l'épaisseur (D) axiale en fonction de la direction (h) radiale pour des outils de polissage ronds respectivement (x, y) pour des outils de polissage ovales (22) avec les sous-étapes suivantes :

$$K2(h) = K2(h) + z\_Dmt(h) ;$$

ou

$$K2(x, y) = K2(x, y) + z\_Dmt(x, y) ;$$

5

$$D(h) = Di + Di * (z\_Dmax(h) - z\_Dmin(h)) / di / f\_a ;$$

10

ou

$$D(x, y) = Di + Di * (z\_Dmax(x, y) - z\_Dmin(x, y)) / di / f\_a ;$$

15

$$K1(h) = K2(h) + D(h) ;$$

20

ou

$$K1(x, y) = K2(x, y) + D(x, y).$$

25

18. Procédé pour fabriquer un outil de polissage (20), qui présente le long d'un axe (36) commun de façon successive un premier corps (24), de préférence rigide, un second corps (26) élastique ainsi qu'un revêtement de polissage (28), qui s'étendent à chaque fois sensiblement radialement à l'axe (36), le second corps (26) étant conçu de plus en plus souple de l'intérieur vers l'extérieur dans le sens radial (h ; x, y), le second corps (26) présentant une épaisseur (D) axiale croissante dans le sens radial (h ; x, y), le second corps (26) étant contigu par un contour (40) intérieur au premier corps (24) et par un contour (42) extérieur au revêtement de polissage (28), et le tracé de l'épaisseur (D) axiale étant déterminé sur la direction (h ; x, y) radiale en fonction du tracé radial des contours (40, 42), **caractérisé par** les étapes suivantes :

30

35

- a) Fixation d'une pression de polissage (pm) moyenne souhaitée de l'outil de polissage (20) ;
- b) Détermination de la force de pression (Fk) nécessaire à partir de la surface de polissage de l'outil de polissage (20),
- c) Sélection d'un module d'élasticité (E) pour le matériau du second corps (26) ;
- d) Sélection d'une épaisseur moyenne (Di) du second corps (26) ;
- e) Sélection d'un contour (42) extérieur initial ;
- f) Calcul d'une profondeur moyenne de compression du ressort (di) pour un second corps (26) avec l'hypothèse que le second corps présente une épaisseur (D) axiale constante qui est égale à l'épaisseur moyenne (Di) sélectionnée ;
- g) Détermination d'un mouvement de polissage de l'outil de polissage (20) sur la surface (16) à polir ;
- h) Discrétisation du mouvement de polissage en un nombre (n) prédéfini d'incrément de mouvement, le nombre (n) étant choisi suffisamment grand ;
- i) Calcul d'une surface de compression du ressort à partir des écarts de l'épaisseur (z\_Di) en direction (z) de l'axe (36) entre la surface (16) et le contour (42) extérieur en un point (i) prédéfini dans le cas d'un mouvement de polissage relatif entre l'outil de polissage (20) et la surface optique ;
- j) Addition des écarts (z\_Di) sur tous les points (i) ;
- k) Détermination d'un écart maximum (z\_Dmax) ;
- l) Détermination d'un écart minimum (z\_Dmin) ;
- m) Détermination d'une valeur moyenne (z\_Dm) à partir de tous les écarts (z\_Di) ;
- n) Formation d'une différence (z\_Dmt) entre la valeur moyenne (z\_Dm) et la somme d'un basculement et d'un décalage central de la valeur moyenne (z\_Dm) ;
- o) Calcul de l'épaisseur (D) axiale en fonction de la direction (h) radiale pour des outils de polissage ronds

40

45

50

55

respectivement (x, y) pour des outils de polissage (22) ovales avec les étapes suivantes :

5

$$(X) \quad D(h) = D_i + D_i * z\_Dmt(h) / di f\_a ;$$

ou

10

$$(XI) \quad D(x, y) = D_i + D_i * z\_Dmt(x, y) / di / f\_a ;$$

15

$$(XII) \quad K1(h) = K2(h) + D(h) ;$$

20

ou

$$(XIII) \quad K1(x, y) = K2(x, y) + D(x, y).$$

25

30

35

40

45

50

55

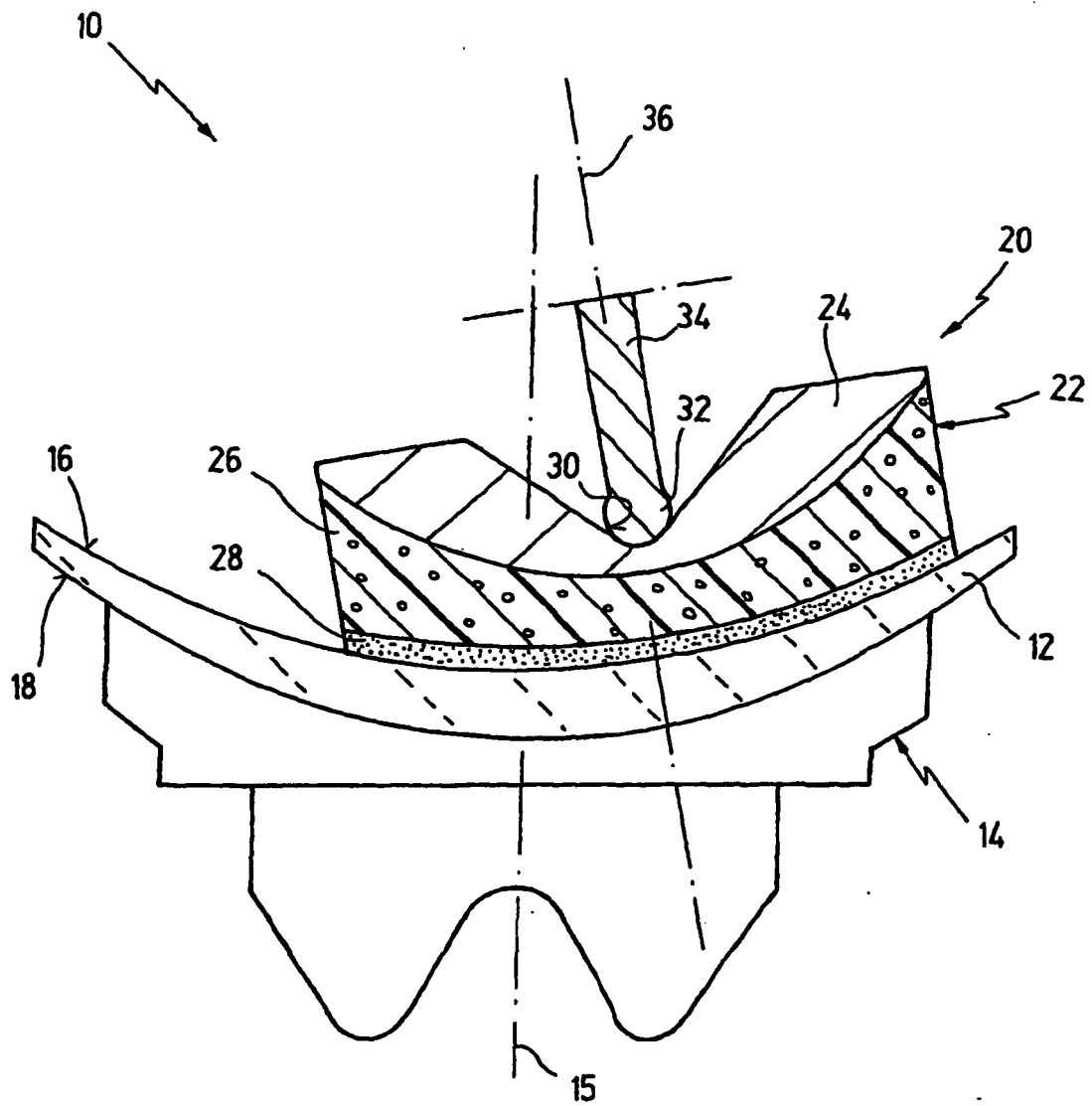


Fig. 1

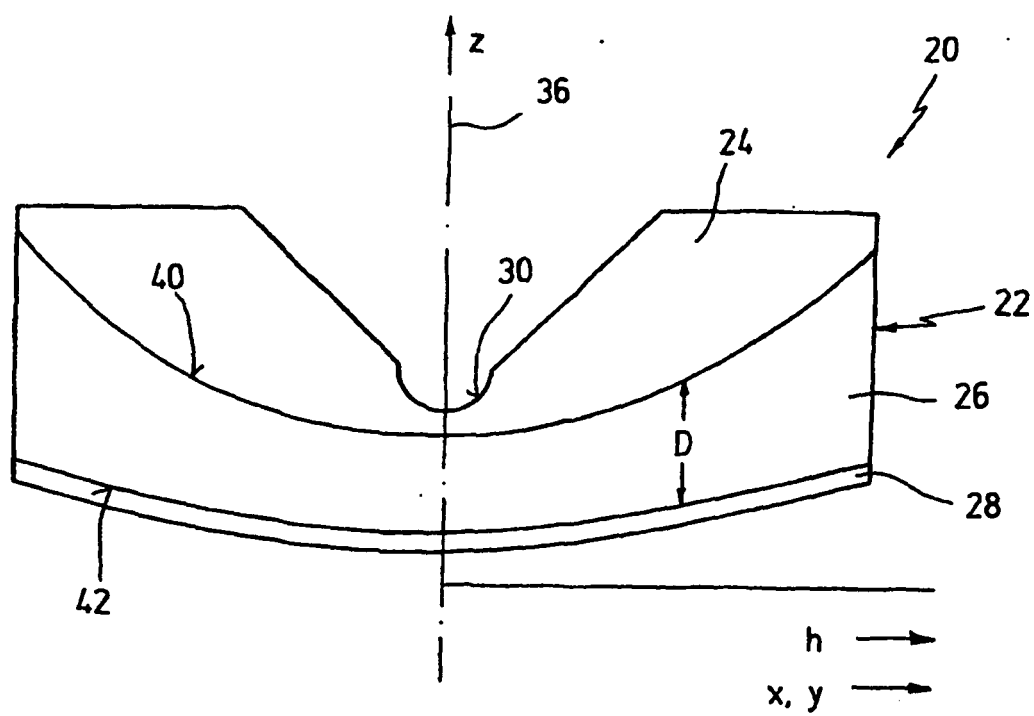


Fig. 2

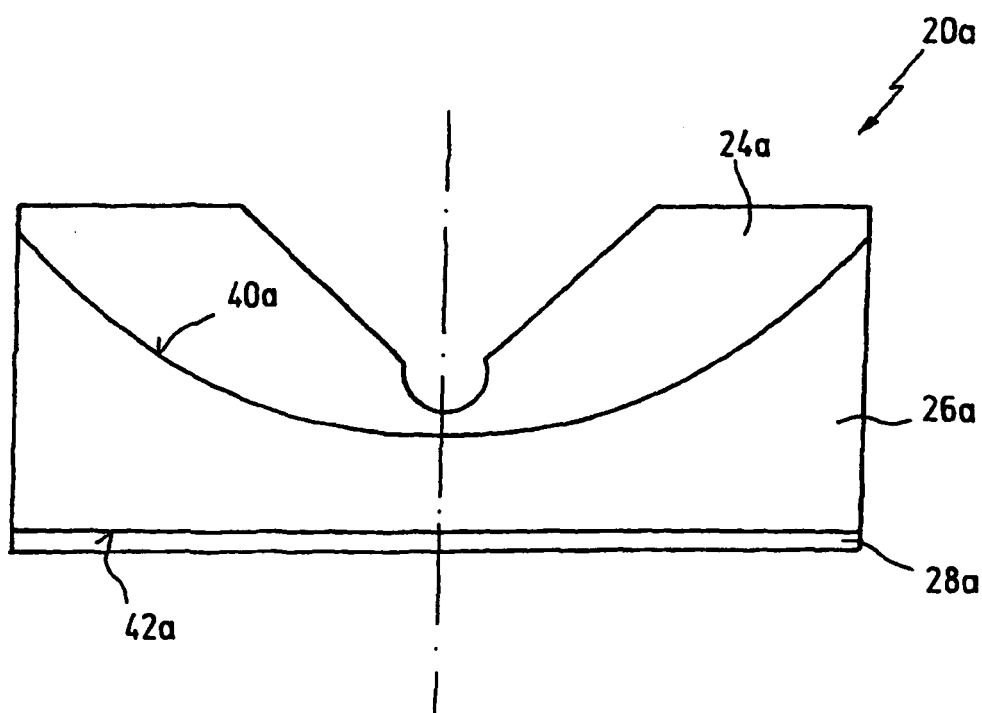


Fig. 3

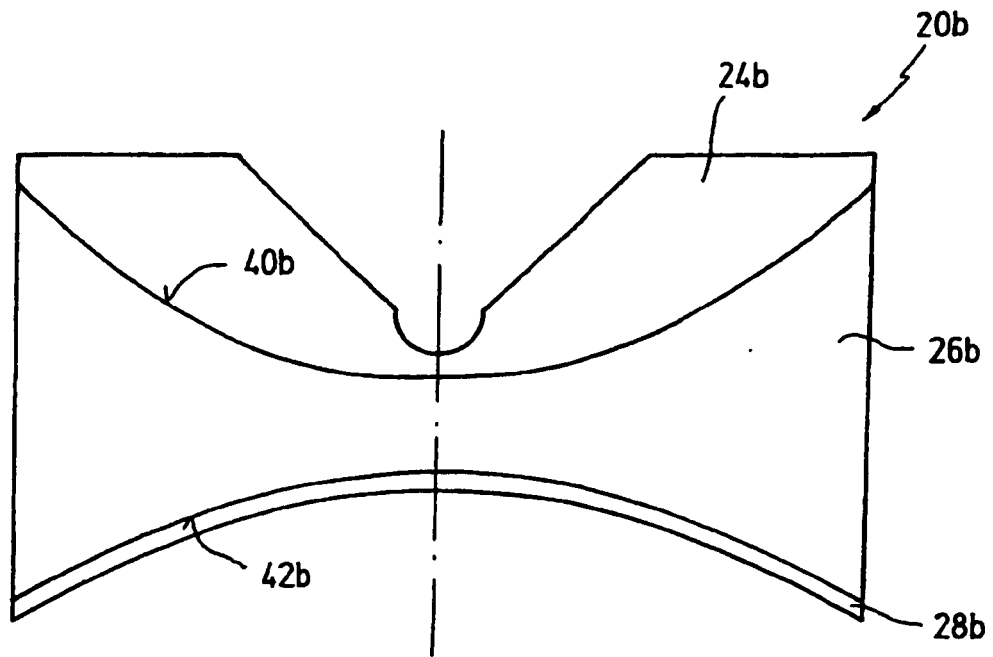


Fig. 4

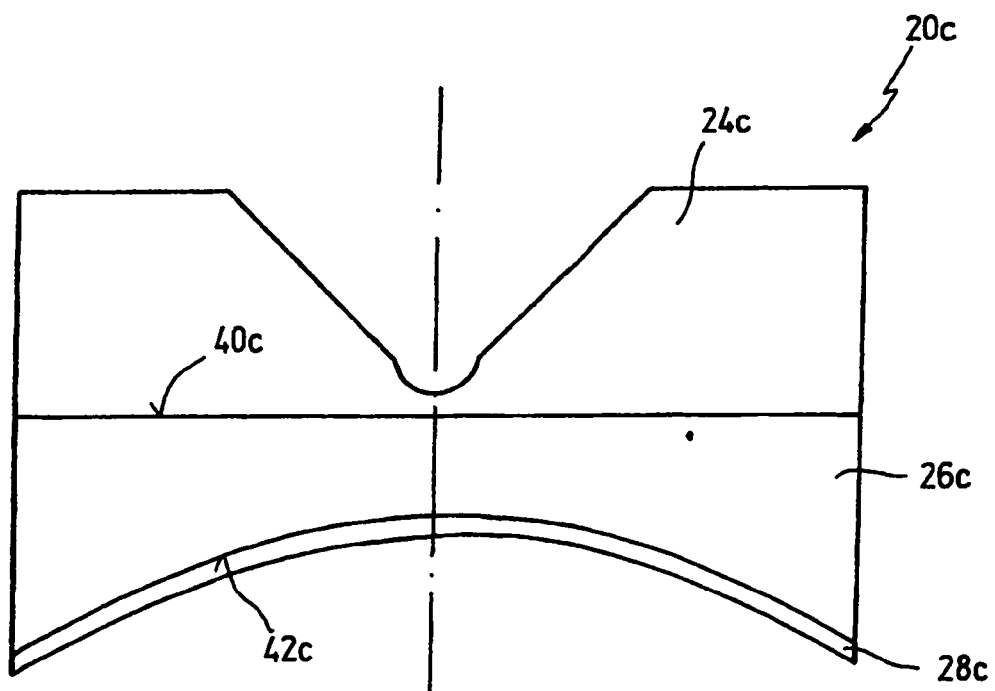


Fig. 5

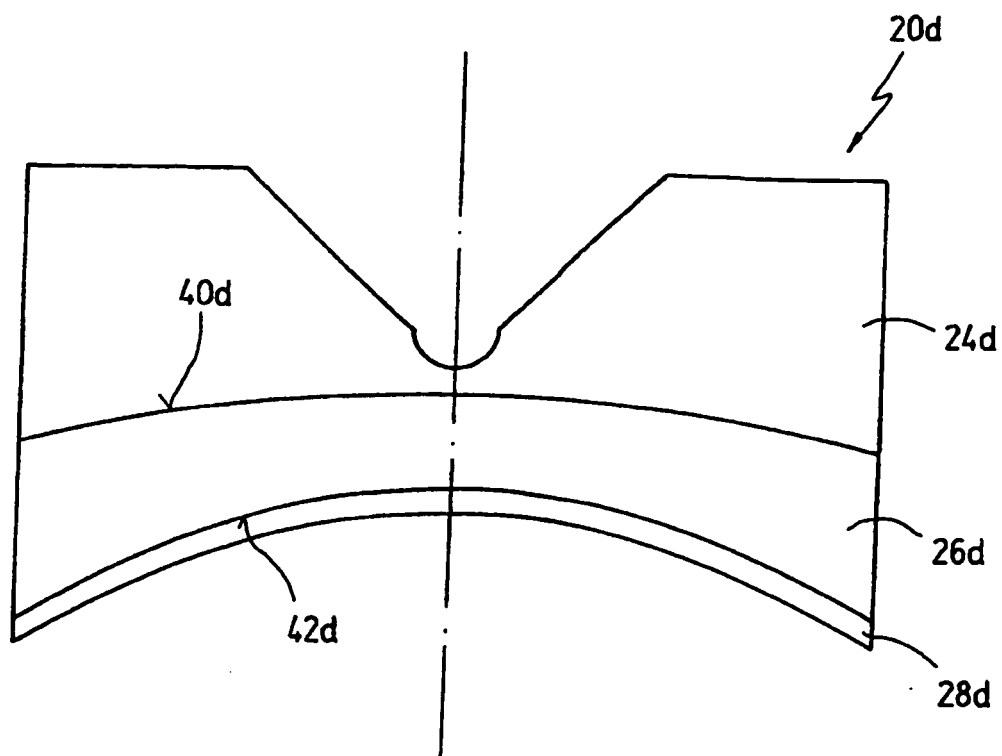


Fig. 6



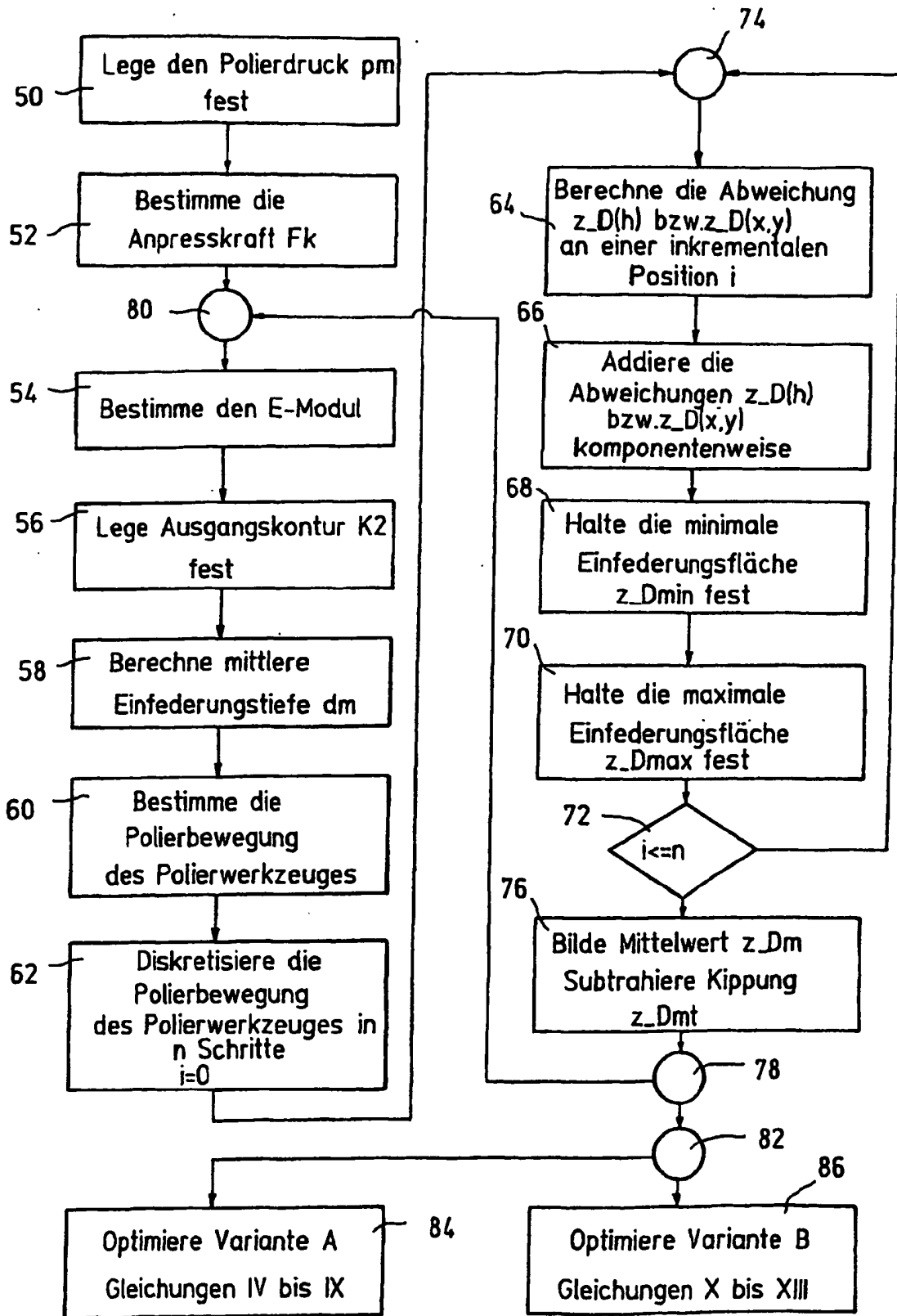


Fig. 7

**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**

- JP 2001334449 A [0002]
- DE 10248105 A1 [0006] [0017]
- DE 10100860 A1 [0011]
- EP 0567894 B1 [0011]
- DE 4442181 [0012]
- DE 10242422 [0012]
- EP 0804999 B1 [0014]
- EP 0884135 B1 [0014]
- DE 10106007 A1 [0014]
- EP 0779128 B1 [0016]
- JP 8206952 A [0016]
- DE 10106659 A1 [0017]
- DE 10248104 A1 [0017]
- US 0017783 A1 [0017]
- WO 03059572 A1 [0017]
- DE 29608954 U1 [0023]
- US 3043065 A [0024]
- JP 61103768 A [0025]