

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



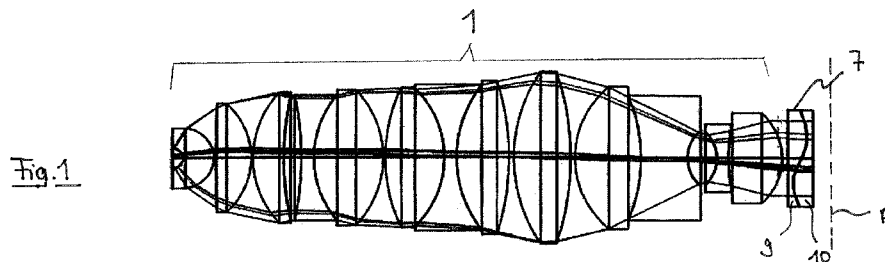
(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. März 2012 (01.03.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/025349 A1

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
G02B 27/00 (2006.01) *G02B 21/02* (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2011/063320
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
2. August 2011 (02.08.2011)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2010 039 746.6
25. August 2010 (25.08.2010) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** CARL ZEISS AG [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** GLASENAPP, Carsten [DE/DE]; Sperberstrasse 12, 73447 Oberkochen (DE).
- (74) **Anwalt:** BREIT, Ulrich; Patentanwälte Geyer, Fehners & Partner, Perhamerstrasse 31, 80687 München (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:**
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) **Title:** ABERRATION-CORRECTED MICROSCOPE

(54) **Bezeichnung :** ABERRATIONSKORRIGIERTES MIKROSKOP



(57) **Abstract:** The invention relates to an aberration-corrected microscope (M), comprising a microscope objective (1) for imaging an object (2) in a microscope optical path along an optical axis A and an aberration-correcting correction element (7), wherein the correction element (7) is arranged downstream of the microscope objective (1) in the imaging direction and lies close to an aperture diaphragm (P) of the microscope objective (1), wherein the correction element (7) has a first and a second plate (9, 10) each having two plate surfaces, wherein a first of the plate surfaces (11) of the first plate (9) has the surface topography of an at least fifth-order odd polynomial and a first of the plate surfaces (12) of the second plate (10) is designed to be complementary thereto.

(57) **Zusammenfassung:** Beschrieben wird ein aberrationskorrigiertes Mikroskop (M), das ein Mikroskopobjektiv (1) zum Abbilden eines Objektes (2) in einen Mikroskopstrahlengang längs einer optischen Achse A ausgebildet ist und das ein Aberrationen korrigierendes Korrekturerelement (7) aufweist, wobei das Korrekturerelement (7) dem Mikroskopobjektiv (1) in Abbildungsrichtung nachgeordnet ist und nahe einer Pupille (P) des Mikroskopobjektives (1) liegt, wobei das Korrekturerelement (7) eine erste und eine zweite Platte (9, 10) mit jeweils zwei Plattenflächen aufweist, wobei eine erste der Plattenflächen (11) der ersten Platte (9) die Oberflächentopographie eines ungeraden Polynoms mindestens 5. Ordnung aufweist und eine erste der Plattenflächen (12) der zweiten Platte (10) dazu komplementär ausgebildet ist.



WO 2012/025349 A1

Aberrationskorrigiertes Mikroskop

Die Erfindung bezieht sich auf aberrationskorrigiertes Mikroskop, das ein Mikroskopobjektiv
5 zum Abbilden eines Objektives in einem Mikroskopstrahlengang längs einer optischen Achse
und ein Aberrationen korrigierendes Korrekturelement aufweist.

In Mikroskopen treten bekannterweise sphärische Aberrationen auf, unter anderem durch
variierende Brechzahlen der Objekte oder variierende Dicken eines das Objekt abdeckenden
10 Deckglases. Es ist bekannt, sphärische Aberrationen durch Eingriffe im Objektiv manuell zu
korrigieren. Diese Eingriffe sind jedoch für einen automatischen Betrieb des Mikroskops in der
Regel nicht geeignet. Zwar könnte man daran denken, den mechanischen Eingriff am Objektiv
mit einem entsprechenden Antrieb auszurüsten, jedoch müssen dabei hochgenaue Mechaniken
auf engstem Raum innerhalb des Mikroskopobjektives untergebracht werden. Darüber hinaus
15 müßte dann jedes Objektiv korrigiert werden, was wiederum Aufwand mit sich bringt.

Es sind deshalb im Stand der Technik Ansätze bekannt, die Korrektur außerhalb des Objektives
vorzunehmen. So beschreibt beispielweise die EP 0859259 A2 eine Zoomgruppe aus mehreren
sphärischen Flächen, die zwischen dem Mikroskopobjektiv und der Tubuslinse des Mikroskops
20 angeordnet ist. Hierbei treten jedoch lange Lichtwege durch die Zoomgruppe auf, was zu
weiteren Bildfeldfehlern führt.

Die DE 19782060 B4 zeigt ein Interferometer mit katadioptrischem Abbildungssystem mit
erweitertem numerischem Aperturbereich. Die DE 10049296 A1 offenbart eine optische
25 Anordnung und ein Verfahren zur Ablenkung von Lichtstrahlen.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein Mikroskop anzugeben, das
insbesondere hinsichtlich Aberrationen höherer Ordnungen aufwandsgering korrigiert werden
kann. Darüber hinaus sollte die Korrektur applikationsabhängig einstellbar sein, um
30 Aberrationen, welche durch die Probe oder deren Deckglas verursacht werden, korrigieren zu
können.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein aberrationskorrigiertes Mikroskop, das ein Mikroskopobjektiv
zum Abbilden eines Objektes in einen Mikroskopstrahlengang längs einer optischen Achse und
35 ein Aberrationen korrigierendes Korrekturelement aufweist. Das Korrekturelement ist dem

Mikroskopobjektiv in Abbildungsrichtung nachgeordnet und liegt nahe einer Austrittspupille des Mikroskopobjektivs. Das Korrekturlement umfaßt eine erste und eine zweite Platte, die jeweils zwei Plattenflächen haben. Eine der Plattenflächen der ersten Platte hat die Oberflächentopographie eines ungeraden Polynoms mindestens 5. Ordnung. Eine Plattenfläche
5 der zweiten Platte ist dazu komplementär ausgebildet. Diese Flächen sind also Asphären bestimmter Form.

Die Anordnung in Nähe der Pupille erlaubt es, Bildfeldfehler klein zu halten. Besonders bevorzugt ist dazu eine Anordnung zwischen der Pupille und der Austrittslinse des
10 Mikroskopobjektivs. Generell wird der Begriff „pupillennah“ in dem Sinne verstanden, wie er in der DE 102007019812, und dort in Absatz [0010], definiert ist.

Unter „Aberrationen höherer Ordnung“ werden dabei Wellenfrontverzerrungen mit mindestens r^4 -Abhängigkeit oder entsprechenden Zernike-Polynomen verstanden.
15

Um eine einfachere Fertigung zu erreichen, ist es zweckmäßig, die den asphärisch geformten Plattenflächen gegenüberliegenden Plattenflächen plan auszubilden. Um Mehrfachreflexionen im Strahlengang gering zu halten, ist es zweckmäßig die Planflächen in einem Winkel, also nicht senkrecht, sondern schräg (jedoch nicht parallel) zur optischen Achse auszulegen.
20

Das erfindungsgemäße Mikroskop kann besonders einfach applikationsabhängig zur Aberrationskorrektur eingestellt werden, wenn beide Platten mit einem Verstellantrieb ausgerüstet sind, der die Platten relativ zueinander verschiebt und von einem Steuergerät zum Einstellen der Aberrationskorrektur angesteuert ist. Beim Verschieben ist besonders darauf zu
25 achten, daß der Schwerpunkt beider Platten auf der optischen Achse bleibt. Dies ist vorzugsweise dadurch zu erreichen, daß die Verschiebevektoren nur im Vorzeichen verschieden sind, d. h. gleicher Betrag und entgegengesetzte Richtung.

Der Güte der Korrektur, insbesondere der angestrebten Korrektur höherer
30 Aberrationsordnungen ist es zu bevorzugen, die Güte der Oberflächen der asphärischen Plattenflächen besser als $\lambda/10$, bevorzugt gleich oder besser als $\lambda/20$ auszubilden, wobei λ die kürzeste im Mikroskopeingang verwendete Wellenlänge ist.

Das erfindungsgemäße Mikroskop kommt mit einem einzigen Korrekturlement unabhängig
35 vom aktuell verwendeten Mikroskopobjektiv aus. Solche Mikroskope sind üblicherweise mit Objektivwechslern versehen, die ein von mehreren Mikroskopobjektiven in den Mikroskopstrahlengang dringen. Ordnet man das Korrekturlement den Objektivwechslern nach, so wird es für alle mit dem Objektivwechsler in den Mikroskopstrahlengang bringbaren

Mikroskopobjektive hinsichtlich der Aberrationskorrektur. Kombiniert man diese Ausgestaltung mit dem bereits erwähnten Verstellantrieb für die Platten, läßt sich in der Steuerung eines Steuergerätes automatisch die für das aktuell in den Mikroskopstrahlengang gebrachte Mikroskopobjektiv erforderliche Aberrationskorrektur einstellen, ohne daß der Benutzer hierzu

5 tätig werden muß. Das Mikroskop kann zusätzlich mit einer Aperatur zur Bestimmung der Bildgüte ausgestattet werden. Dieses kann ein zusätzlicher Sensor, wie z. B. ein Wellenfrontsensor, sein oder auch (besser) aus dem Mikroskopbild selbst gewonnen werden. Mit dem Bewertungskriterium der Bildgüte kann die Aberrationskorrektur vorzugsweise in einer Rückkopplungsschleife selbstständig den Zustand der besten Schärfe am Mikroskop einstellen.

10

Es versteht sich, daß die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in den angegebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung einsetzbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

15

Nachfolgend wird die Erfindung beispielsweise anhand der beigefügten Zeichnungen, die auch erfindungswesentliche Merkmale offenbaren, noch näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Schemadarstellung eines Mikroskopobjektives mit nachgeordnetem
- 20 Korrekturlement,
- Fig. 2 eine Schemadarstellung des Eingangs eines Mikroskops, in dem der Aufbau der Fig. 1 zur Anwendung kommt, und
- Fig. 3 eine Schemadarstellung eines Korrekturlementes, das im Mikroskop der Fig. 2 verwendet ist.

25

In Figur 1 ist ein Mikroskopobjektiv 1 eines Mikroskops M gezeigt, das schematisch in Figur 2 dargestellt ist. Das Mikroskopobjektiv 1 umfaßt eine Vielzahl von einzelnen Linsen, wie dies für solche Mikroskopobjektive bekannt ist.

30 Im Mikroskop M bildet das Mikroskopobjektiv 1 eine Probe 2 ab, die sich unter einem Deckglas 3 befindet. Dabei trifft mit dem Mikroskopobjektiv 1 ein Tubus 4 zusammen, der eine Tubuslinse 5 umfaßt und mit der das Mikroskopobjektiv 1 die Probe 2 auf einen Detektor 6 abbildet. Die Abbildung auf einen Detektor ist dabei natürlich nur optional, selbstverständlich kann auch ein herkömmlicher Tubuseinblick verwendet werden.

35

Nahe der Austrittslinse des Mikroskopobjektivs 1 ist ein Korrekturlement 7 angeordnet. Es befindet sich insbesondere nahe der Austrittspupille P des Mikroskopobjektivs 1, und bevorzugt zwischen der Ebene der Pupille P und der Austrittslinse des Mikroskopobjektivs.

Das Korrekturlement 7 besteht aus zwei Platten 9 und 10, die mit einem Antrieb 8 ausgerüstet sind. Der Antrieb 8 ist wie der Detektor 6 mit einem Steuergerät C des Mikroskops M über nicht näher bezeichnete und in Figur 2 gestrichelt eingezeichnete Leitungen verbunden.

5

Figur 3 zeigt vergrößert das Korrekturlement 7. Dort ist zu erkennen, daß die Platten 9 und 10 an ihren einander zugeordneten Flächen asphärisch gekrümmt sind. Die Krümmung der asphärischen Oberfläche 10 entspricht dabei der Krümmung eines ungeraden Polynoms, und die asphärische Oberfläche 12 ist komplementär dazu ausgebildet.

10

Zur Aberrationskorrektur werden die Platten 9 und 10 relativ zueinander verschoben, wie dies in Figur 3 durch Doppelpfeile, welche eine Relativverschiebung 13 veranschaulichen, eingezeichnet ist. Dabei bewirkt eine Verschiebung längs einer Achse senkrecht zur optischen Achse A eine optische Korrektur in einer senkrecht zur Verschiebungsrichtung stehenden Achse. In Figur 3 ist exemplarische eine Verschiebung in der x-Achse eingezeichnet und eine in Figur 3 mit 14 bezeichnete Korrektur erfolgt dann in der senkrecht dazu stehenden Achse y.

15

Sieht man vereinfacht die Polymerfunktion, der die Asphäre 11 und komplementär dazu auch die Asphäre 12 genügt, durch die Gleichung $W(x, y) = ax^3 + by^3$ als gegeben an, bestimmt das Maß der Relativverschiebung 13 nur die Höhe der Polynomfunktion a und b, nicht jedoch deren Form.

20

Das Korrekturlement 7 hat jedoch eine komplexere Oberflächentopographie und manipuliert die Wellenfront, welche bei der Abbildung vom Objektiv 1 zur Tubuslinse 5 abgegeben wird. Durch entsprechende Wahl des Oberflächenpolynoms mit mindestens 5. Ordnung und Einstellung der Relativverschiebung 13 können nun für höhere Aberrationen Wellenfrontfehler, welche z. B. durch eine Fehlanordnung der Brechzahl der Probe 2 oder eine abweichende Dicke des Deckglases 3 entstehen, kompensiert werden.

25

Zur Korrektur höherer Aberrationsordnungen ist es vorgesehen, daß die Oberflächentopographie nicht nur einer einfachen kubischen Form, d. h. einem Polynom ausschließlich dritter Ordnung, genügt, sondern daß das Polynom auch weitere ungerade Ordnungen bei der Oberflächentopographie berücksichtigt, insbesondere die fünfte Ordnung und vorzugsweise auch die erste Ordnung sowie gemischte Ordnungen, in denen einer der beiden Parameter (x oder y) in ungerader Potenz vorkommt. Besonders zweckmäßig kann dies dann erfolgen, wenn ein ungerades Oberflächenpolynom fünften Grades mit der Form $f(x,y) = cx_5 x^5 + cy_5 y^5 + cx_3 x^3 + cy_3 y^3 + cx_1 x + cy_1 y + cx_{41} x^4 y + cy_{41} y^4 x + cx_{32} x^3 y^2 + cy_{32} y^3 x^2 + cx_{21} x^2 y + cy_{21} y^2 x$ verwendet wird.

30

35

Die Parameter cx_n und cy_n bestimmen die Form der Wellenfront, welche durch das Korrekturlement 7 generiert wird. Die genauen Werte der Parameter werden durch eine numerische Anpassung bestimmt. Auch können noch höhergradige ungerade Polynome verwendet werden.

Die asphärischen Flächen 11 und 12 sind vorzugsweise mit der Oberflächengüte $\lambda/20$ ausgebildet, wobei mitunter auch $\lambda/10$ genügen kann.

Das Mikroskop M weist weiter einen Objektivwechsler 15 auf, der beispielsweise als bekannter Objektivrevolver ausgebildet sein kann. Wie der Figur 2 zu entnehmen ist, befindet sich das Korrekturlement 7 zwischen dem Objektivwechsler 15 und der Tubuslinse 5. Damit kann es eine Aberrationskorrektur für alle Objektive leisten, welche vom Objektivwechsler in den Mikroskopstrahlengang des Mikroskops M eingebracht werden können.

Bevorzugt ist der Objektivwechsler 15 mit einem Antrieb 8 versehen und wird ebenfalls vom Steuergerät C angesteuert.

Im Steuergerät C ist dann ein Datenspeicher vorgesehen, in dem der Ansteuerzustand des Korrekturlementes 7 für verschiedene Mikroskopobjektive abgelegt ist. Das Steuergerät C kann dann automatisch das Korrekturlement 7 so ansteuern, daß seine Stellung zum aktuell wirksamen Mikroskopobjektiv 1 paßt. Optional kann ein Bildgütewert ermittelt und durch angesteuerte Verstellung des Korrekturlementes optimiert werden. Dazu kann eine Regelung, also eine Iteration verwendet werden.

Die asphärischen Flächen 11 und 12 generieren eine rotationssymmetrische Wellenfront mit einer r^2 Abhängigkeit – d. h. der Form einer Parabel. Dies wird erreicht, wenn die oben genannte Funktion, welche die Oberflächenform der Flächen 11 und 12 beschreibt, nur die Potenzen 1 und 3 enthält. Da die Wirkung der Asphären gleich der Ableitung der Funktion entspricht, folgt eine Wirkung in den Potenzen 0 und 2. (1 und r^2) – dies ist die Wirkung einer Parabel oder des Zernike Koeffizienten Z4 welcher eine Fokussierung bzw. Defokussierung beschreibt.

Die beschriebene Gestaltung der Asphären mit höheren ungeraden Potenzen als 3, 5 und 7 erreicht zur Korrektur rotationsymmetrischer Wellenfrontfehler höherer Ordnung, d. h. es werden Zernike – Koeffizienten Z9, Z16, Z25 (entsprechend der Wirkung r^4 , r^6 , ...) generiert.

Die Auslegung der Oberflächenform geschieht in zwei Schritten:

1. Analytische Vorbestimmung und
2. Numerische Feinabstimmung

Der Zweck des Korrektur-elementes 7 ist die Korrektur eines Wellenfrontfehlers, welcher bei Hoch-NA-Objektiven z. B. durch eine Fehlanpassung des Objektes induziert wird (z. B. falsche Deckglasdicke oder falscher Brechungsindex der Probe). Der durch diese Fehlanpassung induzierte Wellenfrontfehler läßt sich analytisch durch die Sinus-Bedingung

$$\Phi(\Delta z, \rho, NA) = nk \Delta z \sqrt{1 - \left(\frac{NA}{n}\right)^2 \rho^2}$$

ρ : relativer Pupillenradius

Δz : Defokus

n : Brechzahl

k : Wellenzahl

beschreiben.

10

Die Wurzel läßt sich als Reihe entwickeln zu

$$s = \frac{NA}{n}$$

$$\Phi(\Delta z, \rho, s) \cong nk \Delta z \left(1 - \frac{1}{2} s^2 \rho^2 - \frac{1}{8} s^4 \rho^4 - \frac{1}{16} s^6 \rho^6 - \dots \right)$$

15 Hierbei beschreiben die einzelnen Terme der Reihenentwicklungen bekannte rotationssymmetrische Wellenfrontfehler:

- i. Exponent 0: Offset
- ii. Exponent 2: Defokus
- 20 iii. Exponent 4: Sphärische Aberrationen
- iv. Exponent >4: Sphärische Aberrationen höherer Ordnung

Diese Terme sind ähnlich den bekannten Zernike-Polynomen

$$25 \quad w(\rho, s) \cong Z_1 + Z_4 + Z_9 + Z_{16} + \dots = (z_1 \cdot 1 + z_4 (2\rho^2 - 1) + z_9 (6\rho^4 - 6\rho^2 + 1) + z_{16} (20\rho^6 - 30\rho^4 + 12\rho^2 - 1) + \dots)$$

– sie weichen nur im Vorfaktor ab. Folglich können diese in Beziehung gestellt werden. Dies ist hilfreich, weil optische Systeme üblicherweise mit Zernike-Polynomen beschrieben werden. Da

das Korrekturlement 7 nur sphärische Wellenfrontfehler beheben soll, nicht jedoch eine Defokussierung, muß der Defokusterm nicht korrigiert werden – dies kann über eine Nachfokussierung im Mikroskop erfolgen. Im einfachsten Fall heißt das, daß der durch die letzte Gleichung beschriebene Wellenfrontfehler

- 5 a. durch Nachfokussieren hinsichtlich des Terms mit dem Exponenten 2 und
 b. mit dem Korrekturlement 7 hinsichtlich aller höheren Terme
- korrigiert wird.

- 10 Folglich kann die Form der zu korrigierenden Wellenfront folgendermaßen beschrieben werden:

$$s = \frac{NA}{n}$$

$$\Phi(\Delta z, \rho, s) \cong nk \Delta z \left(-\frac{1}{8} s^4 \rho^4 - \frac{1}{16} s^6 \rho^6 - \dots \right)$$

- Am folgenden Beispiel wird der Effekt nochmals erläutert. Der Phasenfehler eines Objektivs vom Typ Zeiss Plan APO 63x NA = 1.2 beträgt bei einer Defokussierung um 50 µm in Wasser bis zu 40 µm. Das Nachfokussieren kann durch eine Subtraktion des Zernike-Koeffizienten Z_4 von der Wellenfront beschrieben werden. Aus einem Koeffizientenvergleich der letzten beiden Gleichungen läßt sich der Faktor Z_4 analytisch bestimmen. Diese Phasenfunktion muß durch das Korrekturlement 7 realisiert werden. Der Phasenhub von 5 µm ist deutlich geringer als der
- 20 Gesamtphasenfehler – das kommt der Fertigbarkeit deutlich entgegen.

Derart berücksichtigt man

1. den Einfluß höherer Ordnungen der Phasenfront durch Nachfokussieren,
2. eine Erhaltung der Symmetrie der Phasenfront bei Polynomen der Ordnungen >3 durch

25 entsprechende Optimierung der Mischterme (z. B. x^3y^2),

3. einen Farblängs- und Farbquerfehler und
4. einen Bildfeldfehler.

- Eine Optimierung gibt für die erstgenannte Gleichung, welche die Asphäre beschreibt, z. B. die
- 30 folgenden Parameter:

- $cx1 = -1.64e-6$;
- $cy1 = cx1$;
- $cx3 = 7.86e-4$;

- $cx_{21} = -4.93e-7$;
 - $cy_{21} = cx_{21}$;
 - $cy_3 = cx_3$;
 - $cx_5 = 2.92e-7$;
- 5
- $cx_{41} = -4.18e-8$;
 - $cx_{32} = 2.66e-7$;
 - $cy_{32} = cx_{32}$;
 - $cy_{41} = cx_{41}$;
 - $cy_5 = cx_5$

10

Mit diesem Design wird eine Performance (PSF) von 80 % eines theoretisch idealen Objektivs erreicht. Ohne eine Korrektur fällt der Wert bei einer Defokussierung um 50 μm auf ~30 % ab.

Patentansprüche

1. Aberrationskorrigiertes Mikroskop, das ein Mikroskopobjektiv (1) zum Abbilden eines
5 Objektes (2) in einen Mikroskopstrahlengang längs einer optischen Achse (A) ausgebildet ist
und das ein Aberrationen korrigierendes Korrekturlement (7) aufweist, dadurch
gekennzeichnet, daß das Korrekturlement (7) dem Mikroskopobjektiv (1) in Abbildungsrichtung
nachgeordnet ist und nahe einer Pupille (P) des Mikroskopobjektives (1) liegt, wobei das
Korrekturlement (7) eine erste und eine zweite Platte (9, 10) mit jeweils zwei Plattenflächen
10 aufweist, wobei eine erste der Plattenflächen (11) der ersten Platte (9) die
Oberflächentopographie eines ungeraden Polynoms mindestens 5. Ordnung aufweist und eine
erste der Plattenflächen (12) der zweiten Platte (10) dazu komplementär ausgebildet ist.
2. Mikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Plattenflächen
15 (11, 12) der Platten (9, 10) plan ausgebildet sind und schräg zur optischen Achse (A) stehen.
3. Mikroskop nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beide
Platten (9, 10) mit einem Verstellantrieb (8) verbunden sind, der der gegenseitigen
Verschiebung der Platten quer zur optischen Achse (A) ausgebildet und von einem Steuergerät
20 (C) zum Einstellen der Aberrationskorrektur angesteuert ist.
4. Mikroskop nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Güte der
Oberflächen der ersten Plattenflächen (11, 12) besser als $\lambda/10$, bevorzugt gleich oder
besser als $\lambda/20$ ist, wobei λ die kürzeste der im Mikroskopstrahlengang
25 verwendete Wellenlänge ist.
5. Mikroskop nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein
Objektivwechsler (15) vorgesehen ist, mit dem mehrere Mikroskopobjektive in den
Mikroskopstrahlengang bringbar sind, wobei das Korrekturlement (7) dem Objektivwechsler
30 (15) auf der optischen Achse (A) nachgeordnet ist, so daß es für alle mit dem Objektivwechsler

(15) in den Mikroskopstrahlengang gebrachten Mikroskopobjektive (1) hinsichtlich Aberrationen korrigiert.

6. Mikroskop nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das
5 Korrekturlement (7) zwischen der Pupillenebene (P) und einer Austrittsfläche einer letzten Linse des Mikroskopobjektives (1) liegt.

7. Mikroskop nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (C) einen
Gütwert für ein im Mikroskopstrahlengang erzeugtes Bild ermittelt und den Verstellantriebs (8)
10 zur Optimierung des Gütwertes ansteuert, vorzugsweise einer Regelung.

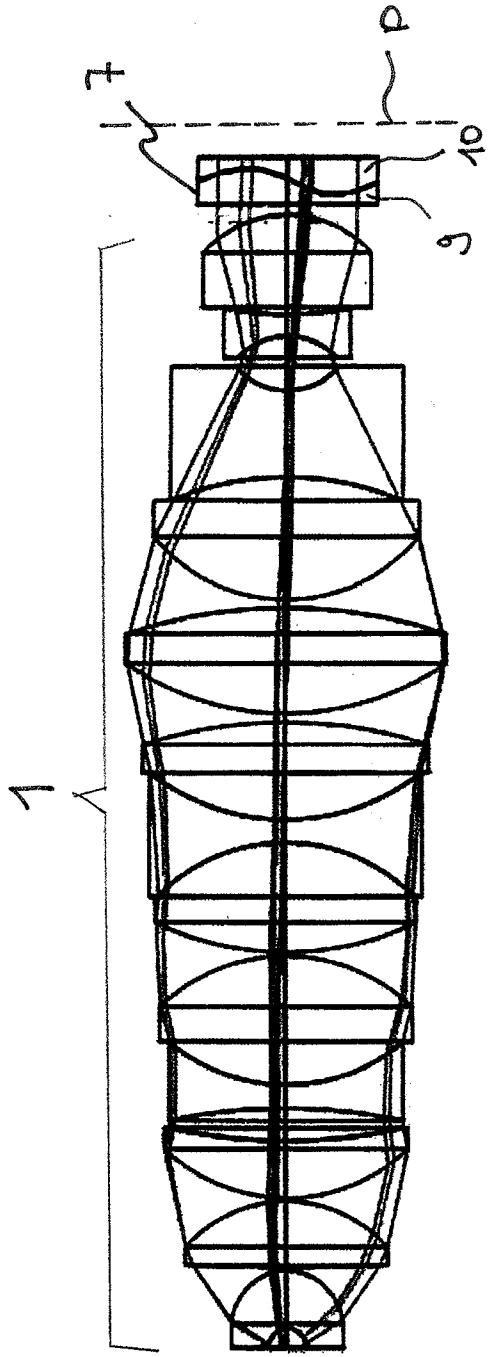


Fig. 1

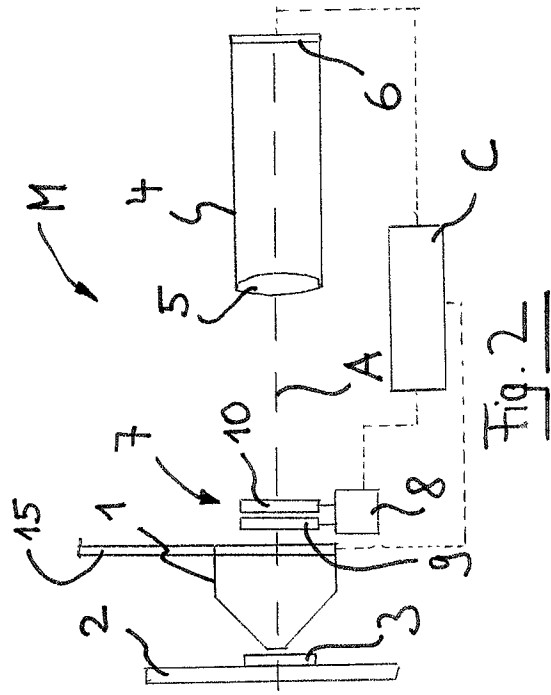


Fig. 2

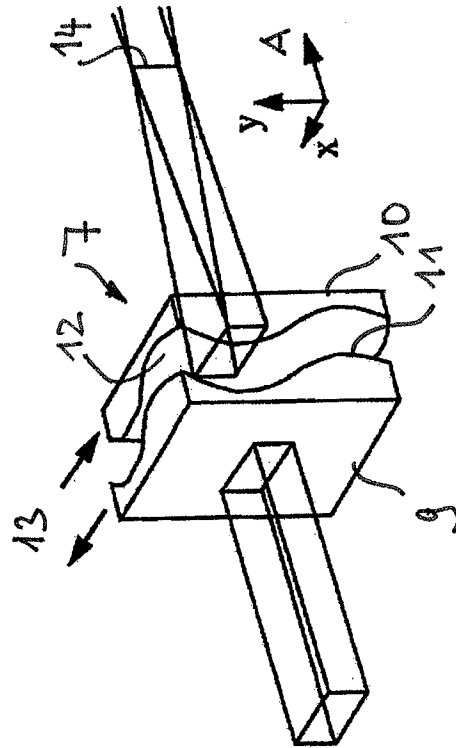


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/063320

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G02B27/00
ADD. G02B21/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PALUSINSKI I A ET AL: "LATERAL-SHIFT VARIABLE ABERRATION GENERATORS", APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC; US, vol. 38, no. 1, 1 January 1999 (1999-01-01), pages 86-90, XP000791919, ISSN: 0003-6935, DOI: 10.1364/AO.38.000086 the whole document	1-7
Y	US 3 583 790 A (BAKER JAMES G) 8 June 1971 (1971-06-08) the whole document	1-7
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 20 September 2011	Date of mailing of the international search report 29/09/2011
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Windecker, Robert

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/063320

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2008 026774 A1 (CARL ZEISS MICROLMAGING GMBH [DE]) 10 December 2009 (2009-12-10) abstract figures -----	1-7
Y	WO 2005/078713 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; GOOSSENS HENDRIK [CN]) 25 August 2005 (2005-08-25) abstract; figures 3a,3b page 5, line 23 - line 31 -----	1-7
A	DE 38 12 745 A1 (ZEISS CARL FA [DE]) 26 October 1989 (1989-10-26) abstract -----	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/063320

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3583790	A	08-06-1971	NONE

DE 102008026774	A1	10-12-2009	WO 2009146868 A2
			US 2011082590 A1

WO 2005078713	A1	25-08-2005	CN 1910673 A
			EP 1709634 A1
			JP 2007519147 A
			KR 20060126724 A
			US 2008253259 A1

DE 3812745	A1	26-10-1989	AT 398855 B
			CH 678664 A5
			JP 1307717 A
			JP 3053818 B2
			US 4953962 A

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G02B27/00 ADD. G02B21/02		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTER GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G02B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PALUSINSKI I A ET AL: "LATERAL-SHIFT VARIABLE ABERRATION GENERATORS", APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC; US, Bd. 38, Nr. 1, 1. Januar 1999 (1999-01-01) , Seiten 86-90, XP000791919, ISSN: 0003-6935, DOI: 10.1364/AO.38.000086 das ganze Dokument -----	1-7
Y	US 3 583 790 A (BAKER JAMES G) 8. Juni 1971 (1971-06-08) das ganze Dokument -----	1-7
Y	DE 10 2008 026774 A1 (CARL ZEISS MICROLIMAGING GMBH [DE]) 10. Dezember 2009 (2009-12-10) Zusammenfassung Abbildungen -----	1-7
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/>	Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen	<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :		
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist		"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)		"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht		"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts	
20. September 2011	29/09/2011	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Windecker, Robert	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 2005/078713 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; GOOSSENS HENDRIK [CN]) 25. August 2005 (2005-08-25) Zusammenfassung; Abbildungen 3a,3b Seite 5, Zeile 23 - Zeile 31 -----	1-7
A	DE 38 12 745 A1 (ZEISS CARL FA [DE]) 26. Oktober 1989 (1989-10-26) Zusammenfassung -----	1-7

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/063320

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3583790	A	08-06-1971 KEINE	
DE 102008026774 A1	10-12-2009	WO 2009146868 A2 US 2011082590 A1	10-12-2009 07-04-2011
WO 2005078713 A1	25-08-2005	CN 1910673 A EP 1709634 A1 JP 2007519147 A KR 20060126724 A US 2008253259 A1	07-02-2007 11-10-2006 12-07-2007 08-12-2006 16-10-2008
DE 3812745 A1	26-10-1989	AT 398855 B CH 678664 A5 JP 1307717 A JP 3053818 B2 US 4953962 A	27-02-1995 15-10-1991 12-12-1989 19-06-2000 04-09-1990