(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
4. April 2013 (04.04.2013)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/045079 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G02B 27/00 (2006.01) *A61F 2/16* (2006.01)
G02C 7/06 (2006.01) *G02B 5/18* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/004026

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. September 2012 (26.09.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 114 752.0
29. September 2011 (29.09.2011) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS AG** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder: **DOBSCHAL, Hans-Jürgen**; Am Kötschauer Weg 26a, 99510 Kleimromstedt (DE).

(74) Anwalt: **LANGHEINRICH, Peter**; Carl Zeiss AG, Carl-Zeiss-Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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).

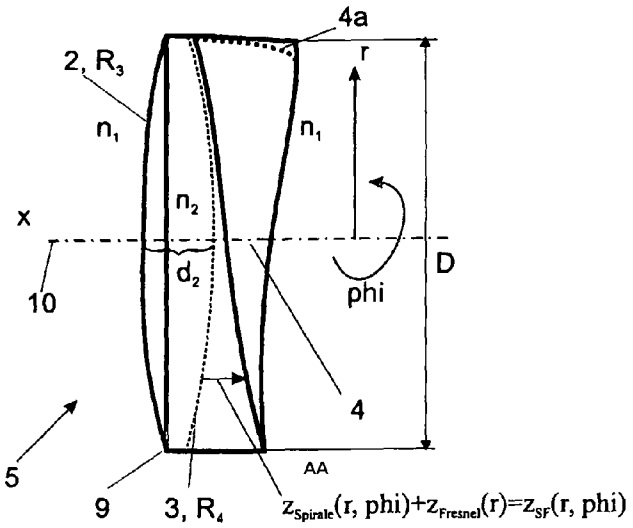
Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: LENS HAVING AN EXTENDED FOCAL RANGE

(54) **Bezeichnung** : LINSE MIT EINEM ERWEITERTEN FOKUSBEREICH



Figur 2

AA $Z_{spiral}(r, phi)+Z_{Fresnel}(r) = Z_{SF}(r, phi)$

(57) **Abstract**: The invention relates to a lens (5) having an extended focal range, wherein the lens (5) consists of a transparent material and has two optical surfaces (2, 4), wherein the lens (5) has a refractive power distribution F_{tot}. According to the invention, the refractive power distribution F_{tot} of the lens (5) changes relative to a plane perpendicular to the optical axis (10) as a function of the radial height r and the azimuth angle phi of the aperture between a calculated basic value of the refractive power F_{lens} not equal to zero and a maximum value $F_{spiral\ max}(r, phi)$. The refractive power distribution thus results computationally as $F(r, phi) = F(r) + F(r, phi)$, with the spiral refractive power component $F(r, phi) = F(r)* w(phi)$, wherein $F_{spiral\ max}(r, phi)$ is non-linearly radius-dependent and w(phi) is a factor for the refractive power component with a spiral profile. Furthermore, the calculated basic value of the refractive power F_{lens} is divided into a refractive power of a refractive basis system F_{basis} and into a structure-type refractive power $F_{structure}$, wherein the following holds true: $F(r) = F + F$. The spiral refractive power component F_{spiral} and the structure-type refractive power component $F_{structure}$ are added and form a spiral and structure-type additional refractive power $F(r, phi) = F + F(r) * w(phi)$, which is added to the refractive power of the basis system F_{basis}, such that the total refractive power of the lens (5) results as $F(r, phi) = F + F(r, phi)$.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/045079 A1

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Die Erfindung betrifft eine Linse (5), welche einen erweiterten Fokusbereich aufweist, wobei die Linse (5) aus einem transparenten Material besteht sowie zwei optische Flächen (2, 4) hat, wobei die Linse (5) eine Brechkraftverteilung F_{Ges} aufweist. Erfindungsgemäß ändert sich die Brechkraftverteilung F_{Ges} der Linse (1) bezogen auf eine zur optischen Achse (10) senkrecht stehende Ebene als Funktion der radialen Höhe r und des Azimutwinkel phi der Apertur zwischen einem errechneten Grundwert der Brechkraft F_{Linse} ungleich Null und einem Maximalwert $F_{Spirale\ max}$(r, phi). Somit ergibt sich die Brechkraftverteilung rechnerisch zu $F_{Ges}(r,phi) = F_{Linse}(r) + F_{Spirale}(r,phi)$, mit dem spiralförmigen Brechkraftanteil $F_{Spirale}(r,phi) = F_{Spirale\ max}(r)* w(phi)$, wobei $F_{Spirale\ max}$(r,phi) nichtlinear radienabhängig ist und w(phi) ein Faktor für den Brechkraftanteil mit einem spiralförmigen Verlauf ist. Weiterhin ist der errechnete Grundwert der Brechkraft F_{Linse} in eine Brechkraft eines refraktiven Basissystems F_{Basis} und in eine strukturförmige Brechkraft $F_{Struktur}$ aufgeteilt, wobei gilt: $F_{Linse}(r) = F_{Basis} + F_{Struktur}$. Der spiralförmige Brechkraftanteil $F_{Spirale}$ und der strukturförmige Brechkraftanteil $F_{Struktur}$ werden addiert und bilden eine spiral- und strukturförmige Zusatzbrechkraft $F_{SS}(r, phi) = F_{Struktur} + F_{Spirale\ max}(r) * w(phi)$, welche auf die Brechkraft des Basissystems F_{Basis} aufaddiert wird, so dass die Gesamtbrechkraft der Linse (5) sich zu $F_{Ges}(r,phi) = F_{Basis} + F_{SS}(r,phi)$ ergibt.

Linse mit einem erweiterten Fokusbereich

Die Erfindung betrifft eine Linse, welche einen erweiterten Fokusbereich aufweist, wobei die Linse aus einem festen Material besteht, die optischen Flächen der Linse transparent sind und die Linse eine Brechkraftverteilung aufweist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung der Linse sowie deren Verwendung zur Beeinflussung der Abbildung eines Bildes auf der Retina eines Auges sowie deren Verwendung in einem Objektiv mit einem erweiterten Fokusbereich.

Multifokale Linsen sollen gleichzeitig mehrere Forderungen erfüllen. Zunächst soll eine hinreichend gute Kontrastübertragungsfunktion in zwei oder mehr Fokusebenen gewährleistet werden. Weiterhin soll die Kontrastübertragungsfunktion unabhängig von der Größe der Pupille sein. Und schließlich soll die Linse leicht herstellbar sein, sie soll keine Absätze sowie Kanten und daher möglichst glatte Kurven aufweisen.

Derartige Linsen werden insbesondere bei der Korrektur von Sehfehlern mittels Brillengläsern oder als Intraokularlinsen (IOL-Linsen) verwendet.
Im Gegensatz zu den schon seit vielen Jahren eingeführten monofokalen IOL-Linsen sind multifokale Linsen bisher nur für den bifokalen Fall umgesetzt, da es erhebliche Probleme bereitet, die oben genannten Forderungen gleichzeitig zu erfüllen. Eine Variante basiert hierbei auf einem speziellen rotationssymmetrischen Ringsystem, wobei durch eine geschickte Abstimmung von Ringradien, Ringbreiten und Ringtiefen eine ausreichend gute Abbildung für zwei diskrete objektseitige Brennebenen erfolgt, beispielsweise bei 0 dpt und ca. 3 dpt Korrekturstärke.

Eine derartige bifokale Linse wird in der US 5 982 543 A beschrieben und verwendet ein rotationssymmetrisches fresnel-ähnliches Ringsystem.

In US 6120148A wird ein rotationssymmetrisches diffraktives Ringsystem beschrieben. Die bifokale Linse aus US 6 536 899 B1 verwendet ebenfalls ein Ringsystem, wobei jeder Ring aus zwei Subringen besteht, die jeweils die zwei gewünschten Brennweiten realisieren.
In etwas modifizierter Form sind hieraus auch Lösungen abgeleitet, bei denen eine einzige Linse einen erweiterten, kontinuierlichen Fokusbereich abdeckt. Derartige Linsen sind auch unter dem Begriff „Extended Depth of Focus-Linse“ oder auch „EDoF-Linse“ bekannt. In US 2006 176 572 A1 wird ein rotationssymmetrisches System aus Ringen verwendet, wobei die Einzelbrennweiten der Ringe innerhalb des gewünschten kontinuierlichen

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Brennweitenbereiches liegen. Der "Extended depth of Focus"-Effekt entsteht durch die Vermischung der verschieden Brennweiten.

Das System gemäß WO 2010 083 546 A2 besteht aus Sektoren („Tortenstücken") mit azimutal ansteigender Brechkraft. Die Brechkraftverteilung weist hierbei diskrete Sprünge zwischen den Sektoren auf.

In US 2010 002 310 A1 wird ein optisches Abbildungssystem für eine Kamera beschrieben, welches einen erweiterten Schärfentiefenbereich aufweist. Die erweiterte Schärfentiefe wird durch eine Kombination mehrere Linsen mit asphärischen Oberflächen erreicht.

Nachteilig ist insbesondere bei Intraokularlinsen, dass bei der Verwendung von „normalen" sphärischen oder asphärischen Linsengrundformen auf Grund der relativ kurzen, durch die Augenlänge bedingten Brennweite eine starke Radienkrümmung erforderlich ist. Dadurch entstehen eine große Linsendicke, ein relativ großes Linsenvolumen mit einem entsprechend großem Gewicht. Da Intraokularlinsen aus organischen Polymeren gefertigt werden, ist die Brechzahl meist relativ niedrig, was eine starke Radienkrümmung und damit auch eine relativ dicke Linsenform zu Folge hat.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine neue Linse mit einem erweiterten Fokusbereich zu schaffen. Die neue Linse soll einzeln, insbesondere als Intraokularlinse oder in Verbindung mit anderen optischen Komponenten optische Systeme liefern, welche bei einer hinreichend guten Abbildungsqualität einen großen Schärfentiefenbereich liefern. Die neue Linse soll kostengünstig herstellbar sein.
Insbesondere soll die neue Linse bei einer Verwendung als Intraokularlinse bei einer vorgegebenen Brechkraft eine reduzierte Linsendicke aufweisen.

Die Aufgabe der Erfindung wird erfindungsgemäß für die neue Linse mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Aufgabe der Erfindung wird erfindungsgemäß bei dem Verfahren zur Herstellung der Linse mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst.

Die Merkmale in den jeweiligen Unteransprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen der Merkmale in den unabhängigen Ansprüchen.

Die Aufgabe der Erfindung wird erfindungsgemäß bei dem Verfahren zur Beeinflussung der

Abbildung eines Bildes auf der Retina eines Auges mit den Merkmalen des Anspruchs 17 gelöst. Die Aufgabe der Erfindung wird erfindungsgemäß bei einem Objektiv dadurch gelöst, dass eine Linse mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 18 im Strahlengang des Objektivs angeordnet ist.

Die Linse mit einem erweiterten Fokusbereich besteht aus einem festen, transparenten Material und hat zwei gefertigte optische Flächen. Erfindungsgemäß hat die Linse eine Brechkraftverteilung F_{Ges}, welche bezogen auf eine zur optischen Achse senkrecht stehende Ebene eine Funktion der radialen Höhe r und des Azimutwinkels der Apertur phi ist und sich zwischen einem Grundwert der Brechkraft F_{Linse} ungleich Null und einem Maximalwert $F_{Spirale\ max}$ ändert. Somit ergibt sich die Brechkraftverteilung zu

$F_{Ges}(r, phi) = F_{Linse} + F_{Spirale}(r, phi)$, mit dem spiralförmigen Brechkraftanteil

$$F_{Spirale}(r, phi) = F_{Spirale\ \max}(r, phi) * w(phi)$$

wobei $F_{Spirale\ max}(r,phi)$ nichtlinear radienabhängig ist und w(phi) ein Faktor für den Brechkraftanteil mit einem spiralförmigen Verlauf ist.

Ein wesentlicher weiterer Aspekt der Erfindung ist, dass ein Wert der Brechkraft der Linse F_{Linse} aufgeteilt wird, in einen Anteil der Brechkraft eines refraktiven Basissystems der Linse F_{Basis} und einen strukturförmigen Anteil der Brechkraft $F_{Struktur}$, so dass gilt

$F_{Linse} = F_{Basis} + F_{Struktur}$. Dabei ist F_{Basis} eine Basisbrechkraft einer Linse, welche durch Linsenradien oder Freiformflächenpolynome und Linsendicke sowie Brechzahl des Linsenmaterials bestimmt ist, und $F_{Struktur}$ ist eine Brechkraft, die nicht durch Linsenradien oder Freiformflächenpolynome und Linsendicke sowie Brechzahl des Linsenmaterials beschrieben ist. In dieser Schrift wird daher der Begriff „Struktur" und das Formelzeichen $F_{Struktur}$ als Brechkraft einer Struktur definiert, die in einem ersten Fall als Höhenprofil $z_{Fresnel}$ einer Fresnelschen Stufenlinse vorliegt, die in einem zweiten Fall als Phasenprofil $Phase_{Struktur}$ eines Diffraktiven Optischen Elementes (DOE) vorliegt oder in einem dritten Fall als Brechungsindexgradient $\Delta n_{Struktur}$ einer Gradienten-Index-Linse (GRIN-Linse) vorliegt.

Die Brechkraftverteilung der erfindungsgemäßen Linse ergibt sich für den rotationssymmetrischen Fall somit zu

$$F_{Ges}(r, phi) = F_{Basis}(r) + F_{Struktur}(r) + F_{Spirale\ \max}(r, phi) * w(phi).$$

Jedoch können sowohl die Basisbrechkraft der Linse F_{Basis} als auch die Brechkraft der Struktur $F_{Struktur}$ den Brechkraftverlauf einer Freiformfläche aufweisen, wobei dann die entsprechenden Polynome in den Formeln einzusetzen sind.

Die Erfindung betrifft daher eine spezielle, neue Linsenform, mit der es möglich ist, einen vorgegebenen Brennweitenbereich simultan abzudecken, das heißt, über einen ausgedehnten Fokalbereich eine hinreichend gute Bildqualität zu generieren. Durch die Aufteilung des Grundwertes der Brechkraft der Linse F_{Linse} in die Basisbrechkraft F_{Basis} der zu fertigenden Linse und in die Brechkraft einer Struktur $F_{Struktur}$ wird realisiert, dass die zu fertigenden Linse mit flacheren Radien hergestellt werden kann. Es erfolgen dadurch eine deutliche Reduzierung der Linsendicke, damit des Linsenvolumens und damit auch des Linsengewichts.

Derartige Linsen mit einem erweiterten Fokusbereich finden in optischen Systemen für eine Kamera, ein Mikroskop oder in optischen Messeinrichtungen Anwendung.

Ein Hauptanwendungsgebiet ist eine Intraokularlinse mit variablem Brennweitenbereich. Mit dem spiralförmigen Brechkraftanteil kann ein Fokussierbereich von 0 bis ca. 3,5 dpt bezogen auf eine feste Basisbrechkraft realisiert werden. Eine solche Intraokularlinse wird meist nach Entfernung der natürlichen Linse ins Auge implantiert. Diese kann aber auch zusätzlich zur natürlichen Linse eingesetzt werden.

Die neue Linse wird nach folgenden Schritten hergestellt:

Schritt 1: Berechnung eines zunächst monofokalen, virtuellen Basissystems, welches die Fokussierung für eine feste Dioptrienstellung übernimmt (im Fall einer IOL-Linse beispielsweise 60 dpt für das gesunde menschliche Auge). Das ist der Grundwert der Brechkraft F_{Linse}, welche durch die Oberflächenformen der optischen Flächen, der Linsendicke und einer Materialart festgelegt ist.

Schritt 2: Aufteilung des Grundwertes der Brechkraft F_{Linse} in eine Basisbrechkraft F_{Basis} und in die Brechkraft einer Struktur $F_{Struktur}$.

Praktisch hat es sich als günstig erwiesen, mehr als 50% des Grundwertes der Brechkraft F_{Linse} als refraktive Basisbrechkraft F_{Basis} zu realisieren und weniger als 50% des Grundwertes der Brechkraft F_{Linse} als Brechkraft der Struktur $F_{Struktur}$ zu realisieren.

Besonders vorteilhaft hinsichtlich des Auftretens von Fehlern ist es mehr als 70% als refraktive Basisbrechkraft F_{Basis} zu realisieren und weniger als 30% als Brechkraft der Struktur $F_{Struktur}$. Die zu fertigenden Linse mit der Basisbrechkraft F_{Basis} entspricht einer herkömmlichen Linse mit zwei optischen Flächen, welche sphärisch und/oder asphärisch und/oder als Freiformfläche ausgebildet werden können. Zumindest eine dieser optischen Flächen dient als Basisfläche für die Realisierung der zusätzlichen Brechkraftverteilung, welche in dem übernächsten Schritt 4 beschrieben wird.

Schritt 3: Bestimmung der Parameter der zusätzlichen spiral- und strukturförmigen Brechkraft F_{SS} durch Addieren der spiralförmigen Brechkraftverteilung $F_{Spirale}$ auf die Brechkraft der Struktur $F_{Struktur}$.

Schritt 4: Aufaddieren oder subtrahieren der in Schritt 3 erhaltenen spiral- und strukturförmigen Brechkraftverteilung $F_{SS}(r, phi) = F_{Spirale} + F_{Struktur}$ auf die optische Wirkung des Basissystems F_{Basis}. Im Ergebnis verändert sich die Brechkraft der Linse nichtlinear radienabhängig mit dem Azimutwinkel der Apertur.
Das „Aufaddieren" der spiral- und strukturförmigen Brechkraftverteilung kann durch mehrere Varianten erfolgen, welche jeweils einzeln oder in beliebiger Kombination miteinander eingesetzt werden:

a) „Aufaddieren" eines spiral- und fresnelförmigen Höhenprofils $z_{SF}(r, phi)$, welches die spiral- und strukturförmige Brechkraftverteilung F_{SS} aufweist, auf eine der im Schritt 2 berechneten optischen Flächen der Linse mit der Basisbrechkraft F_{Basis}. Diese bestimmte optische Fläche ist die nur errechnete Basisfläche mit dem Höhenprofil z_{Basis}, zu der das spiral- und fresnelförmige Höhenprofil $z_{SF}(r, phi)$ hinzugerechnet wird und so das zu fertigende Profil dieser optischen Fläche festgelegt ist.

b) „Aufaddieren" einer spiral- und strukturförmigen diffraktiven Struktur mit der Zusatzbrechkraft $F_{SSdiffraktiv}$ auf eine der berechneten und gefertigten optischen Flächen der Linse mit der Basisbrechkraft F_{Basis} gemäß Schritt 2.

c) „Aufaddieren" eines spiral- und strukturförmigen Brechungsindexverlaufes Δn_{SS} im Material der Linse. In diesem Fall werden die berechneten Flächen gemäß Schritt 2 nicht verändert und so gefertigt.

Schritt 5: Herstellen der ersten optischen Fläche und der zweiten optischen Fläche der Linse mit der Basisbrechkraft F_{Basis} einschließlich dem Aufbringen oder dem Einbringen der spiral- und strukturförmigen Brechkraftverteilung an und/oder auf und /oder innerhalb der Linse.
Herstellungsverfahren für die spiral- und strukturförmige Brechkraftverteilung, sind insbesondere:
aa) Herstellung der optischen Fläche durch Heißprägen oder Spritzgießen
ab) Herstellung der optischen Fläche durch Diamantdrehen

ba) Herstellung durch lithographische Ätzverfahren auf der optischen Fläche
bb) Herstellung durch Diamantdrehen auf der optischen Fläche
ca) Herstellung durch Schleuderguss aus dem flüssigen Zustand
cb) Herstellung durch Ionenimplantation.

Die Varianten a) und/oder b) können auf eine oder auch auf beiden optischen Flächen einer Linse in einer die Wirkung aufteilenden Weise angewendet werden. Diffraktive Optische Elemente können ergänzend oder zusammen mit der Erzeugung der Brechkraftverteilung zur Farbkorrektur eingesetzt werden. Zum Umfang der Erfindung gehören auch andere Verfahren und Maßnahmen, mit denen die erfindungsgemäße spiral- und strukturförmige Brechkraftverteilung in einer Linse erzielt werden kann, beispielsweise durch Einbringen von Nanoteilchen.

Durch das beschriebene Vorgehen erreicht man zum Beispiel bei einer Intraokularlinse eine stetige Variation der zusätzlichen spiralförmigen Brechkraft $F_{Spirale}$ zur Brechkraft des Basissystems zwischen 0 und ca. 3.5 dpt bei einer in vielen Anwendungsfällen hinreichend guten Bildgüte. Durch den Brechkraftanteil der Struktur $F_{Struktur}$ erreicht man eine Verringerung der Linsendicke um bis zu 50%, was zu einer etwa in der gleichen Größenordnung liegenden Volumen- und Gewichtsreduzierung führt.

Die radienabhängige und Azimut-winkelabhängige Brechkraft $F_{Ges}(r, phi)$ ergibt sich aus der Summe einer Grundbrechkraft des Basissystems F_{Basis}, aus der Brechkraft der zusätzlichen Struktur $F_{Struktur}$ und aus der radien- und winkelabhängigen spiralförmigen Zusatzbrechkraft $F_{Spirale}(r, phi)$. Für den rotationssymmetrischen Fall gilt daher:

$$F_{Ges}(r, phi) = F_{Basis}(r) + \left[F_{Struktur}(r) + F_{Spirale}(r, phi)\right] = \frac{1}{f_{Basis}} + \left[\frac{1}{f_{Struktur}} + \frac{1}{f_{Spirale}}\right]$$

Da standardisierte Optikverfahren zur Herstellung der Linse mit dem erweiterten Fokusbereich eingesetzt werden, ist diese Linse kostengünstig herstellbar.

Für den Fall a) „Aufaddieren" eines spiral- und fresnelförmigen Höhenprofils auf eine der optischen Flächen der Linse und damit die Realisierung einer spiral- und fresnelförmigen Brechkraftverteilung des Gesamtsystems gelten die nachfolgenden Betrachtungen:
Die Gesamtbrechkraft F_{Ges} setzt sich aus einer Addition der Grundbrechkraft des Basissystems F_{Basis}, der Brechkraft einer Fresnelschen Stufenlinse $F_{Fresnel}$ und der spiralförmigen Zusatzbrechkraft $F_{Spirale}$ zusammen.

$F_{Ges}(r, phi) = F_{Basis} + F_{Fresnel} + F_{Spirale}(r, phi)$, wobei aus Fertigungsgründen eine Zusammenstellung in den Basisbrechkraftanteil der Linse F_{Basis} und in den spiral- und fresnelförmige Brechkraftanteil $F_{SF}(r, phi) = F_{Fresnel} + F_{Spirale}(r, phi)$ erfolgt.

Da in diesem Fall die Verteilung der Zusatzbrechkraft durch eine Höhenverteilung erreicht wird, gilt

$z_{Ges}(r, phi) = z_{Basis} + z_{SF}(r, phi)$

Das Höhenprofil, welches die spiral- und fresnelförmige Zusatzbrechkraft liefert, ist allgemein durch $z_{SF}(r, phi) = z_{Fresnel} + z_{Spirale}(r, phi)$ beschrieben.

Die Grundbrechkraft des Basissystems ergibt sich für sphärische Linsen aus der Formel

$$F_{Basis} = \left[\frac{n2 - n1}{n1} * \left(\frac{1}{R3} - \frac{1}{R4}\right) + \frac{(n2 - n1)^2 * d}{n1 * n2 * R3 * R4}\right].$$

Dabei ist beispielsweise R_3 der Radius der ersten optischen Fläche, welcher real hergestellt wird und R_4 ist der Radius der berechneten Basisfläche, auf die die zusätzliche spiral- und fresnelförmige Brechkraft F_{SF} in Form des Höhenprofils z_{FS} „aufaddiert" wird (die additive Höhe z_{SF}, welche die Zusatzbrechkraft liefert, kann auch auf den Radius R_3 aufaddiert werden oder auf beide Radien R_3 und R_4 aufgeteilt werden, die Formeln müssen dann entsprechend verändert werden).

Das Höhenprofil z_{Basis} für die errechnete Basisfläche mit dem Radius R_4 der sphärischen Linse ergibt sich zu $z_{Basis}(x, y) = R_4 - \sqrt{R_4^2 - x^2 - y^2}$ und mit $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ergeben sich die Daten der Basisfläche in Polarkoordinaten zu

$z_{Basis}(r) = R_4 - \sqrt{R_4^{\,2} - r^2}$.

Für den Fall einer sphärischen Basisfläche und einer rotationssymmetrischen Fresnel-Struktur gilt daher $z_{Ges}(r, phi) = \left(R_4 - \sqrt{R_4^{\,2} - r^2}\right) + \left[z_{Fresnel}(r) + z_{Spirale}(r, phi)\right]$

Die rotationssymmetrische, fresnelförmige Zusatzbrechkraft errechnet sich zu

$z_{Fresnel}(r) = \sum_{l=2}^{L} e_l * r^l$ oder zu $z_{Fresnel}(r) = \sum_{l=1}^{L} e_l * r^{2*l}$

Sofern nichtsphärische Basisflächen für die Linse zu Grunde gelegt werden, werden die bekannten Polynome für die Beschreibung nichtsphärischer Flächen zur Bestimmung der optischen Flächen und/oder der Basisfläche verwendet.

Die spiral- und fresnelförmige Zusatzbrechkraft wird durch den additiven Term $z_{SF}(r, phi)$ als Materialhöhe erzeugt, welche auf die optische Basisfläche mit dem Radius R_4 aufaddiert oder auch subtrahiert wird. Analoge Betrachtungen gelten auch für asphärische und Freiformflächen, die sich nicht mit einer einfachen Radienangabe beschreiben lassen.

Das spiralförmige Höhenprofil ergibt sich aus $z_{Spirale}(r, phi) = z_{Spirale\ max}(r) * w(phi)$, wobei

das Radialpolynom für den maximalen spiralförmigen Höhenanteil als Funktion des Radius $z_{Spirale\ max}(r)$, welches die maximale zu erzielende Dioptrienzahl verkörpert, ist:

$$z_{Spirale\ max}(r) = \sum_{j=2}^{N} c_j * r^j$$

mit r als radiale Höhe und c_j : Koeffizientensatz des Radialpolynoms.

Im einfachsten Fall ist $w(phi) = \frac{phi}{2\pi}$ der winkelabhängige, lineare normierte Anteil, mit phi als azimutalem Winkel auf der Basisfläche des Basissystems (Trägerlinse).

Der additive Term $z_{Spirale}(r, phi)$, welcher auf die Basisfläche der Linse addiert wird, ergibt sich aus

$$z_{Spirale}(r, phi) = z_{Spirale\ max}(r) * w(phi) = \sum_{j=2}^{N} c_j * r^j * \frac{phi}{2\pi}$$

Allgemein erhalt man den Höhenanteil an der Brechkraft des Gesamtsystems der Linse zu

$$z_{Ges}(r, phi) = z_{Basis}(r) + \left[z_{Fresnel}(r) + z_{Spirale}(r, phi) \right]$$

$$z_{Ges}(r, phi) = z_{Basis} + \left[\sum_{l=2}^{L} e_l * r^l + \sum_{j=2}^{N} c_j * r^j * \frac{phi}{2\pi} \right]$$

Für das Radialpolynom $z_{Spirale\ max}(r)$ kann in analoger Weise auch der Ansatz

$z_{Spirale\ max}(r) = \sum_{j=1}^{N} c_j * r^{2*j}$ verwendet werden, ebenso kann

$z_{Fresnel}(r) = \sum_{l=1}^{L} e_l * r^{2*l}$ sein.

Im einfachsten Falle reicht es daher bereits aus, die zusätzliche radiale Brechkraftverteilung als Produkt des normierten Azimutwinkels mit der maximal zu erreichenden Dioptrienzahl zu realisieren.

Für den einfachsten Fall des Radialpolynoms $z_{Spirale\ max}(r) = c_1 * r^2$

mit c_1 als Koeffizienten vor dem quadratischen Term lautet die Gleichung für den additiven Term also

$$z_{Spirale}(r, phi) = z_{Spirale\ max}(r) * w(phi) = c_1 * r^2 * \frac{phi}{2\pi}$$

Das obige beschriebene Vorgehen stellt einen linearen „Schraubenanstieg" dar.
In dieser Form ist die Abbildungsqualität über den gesamten Dioptrienbereich in etwa gleichbleibend gut.

Oftmals ist es aber gewünscht, bestimmte Dioptrienbereiche wie zum Beispiel die Null-Dioptrien-Position zu bevorzugen. Hierzu ist es notwendig, die lineare Abhängigkeit der z-Höhe vom Winkel zu verlassen.

Der winkelabhängige Anteil kann allgemein durch die Formel

$$w(phi) = \sum_{i=1}^{M} I_i * \exp\left[-a_i * (phi - w_i)^2\right]$$

beschrieben werden, wobei w_i die Peaklagen (zwischen 0 und 2π),
I_i die Peakintensitäten und $a_i > 0$ die Dämpfungskoeffizienten für die jeweiligen Peaklagen sind.

Beispielsweise lässt sich für M=1; I_1=1 und w_i=2π durch die Funktion

$$z_{Spirale}(r, phi) = z_{Spirale\ max}(r) * w(phi) = \sum_{j=2}^{N} c_j * r^j * \exp\left[-a_1 * (phi - 2\pi)^2\right]$$

mit a_1=0.25 eine Bevorzugung des Null-Dioptrienbereiches realisieren.
Der geringe Anstieg zwischen phi =0 und phi =2 verursacht eine geringe Addition von Brechkraft in diesem Winkelbereich und somit einen größeren Flächenanteil für die Nulldioptrienentfernung.

Im Zusammenhang mit der Optimierung der Linse mit dem erweiterten Fokusbereich lassen sich weitere Vorteile erzielen, indem weitere Freiheitsgrade bei der Dimensionierung zur

Verfügung stehen. Beispielsweise erfolgt dies, wenn die radiale Funktion $z_{Spirale\ max}(r)$ ebenfalls einen azimutabhängigen Koeffizientensatz erhält und so das Radialpolynom $z_{Spirale\ \max}(r, phi)$ bestimmt wird als

$$z_{Spirale\ \max}(r, phi) = \sum_{j=2}^{N} c_j(phi) * r^j$$

Daraus ergibt sich der additive Term $z_{Spirale}(r, phi)$ allgemein zu

$$z_{Spirale}(r, phi) = z_{Spirale\ \max}(r, phi) * w(phi) = \sum_{j=2}^{N} c_j(phi) * r^j * \sum_{i=1}^{M} I_i * \exp\left[-a_i * (phi - w_i)^2\right]$$

Daher lassen sich für den Winkelterm $w(phi)$ noch weitere Varianten aus der allgemeinen Formel $w(phi) = \sum_{i=1}^{M} I_i * \exp\left[-a_i * (phi - w_i)^2\right]$ heraus benennen, mit denen man die „Wirkungsdauer" der einzelnen Azimutbereiche steuern kann.

Die bisherigen Ausführungen basierten alle auf einem additiven Term, welcher refraktiv ist und auf eine der optischen Flächen des Basissystems addiert wird.
Der Additionsterm kann natürlich auch in diffraktiver Form vorliegen, d.h. auf die sphärische Trägerfläche des Basissystems wird ein Diffraktives Optisches Element (DOE) aufgebracht, welches eine spiral- und strukturförmige Phasenfunktion besitzt (Fall b)). Die Gestaltung dieser Phasenfunktion erfolgt dabei in vollkommener Analogie zum refraktiven Ansatz. Es eignen sich insbesondere Blaze-Gitter, Sinusgitter und Binär-Gitter.

Die Gitterfrequenz ändert sich radial und winkelabhängig spiralförmig stetig von einem Ausgangswert bis zu einem Maximalwert, welcher der maximalen Brechkraft entspricht.

Die spiralförmige Phasenfunktion ergibt sich zu

$$Phase_{Spirale}(r, phi) = Phase_{\max}(r) * w(phi) = \sum_{j=2}^{N} k_j * r^j * w(phi)$$ oder

$$Phase_{Spirale}(r, phi) = Phase_{\max}(r) * w(phi) = \sum_{j=1}^{N} k_j * r^{2*j} * w(phi)$$

Die spiralförmige Brechkraft der diffraktiven Struktur ergibt sich zu

$F_{Spirale\ diffraktiv} = 2k_2 \frac{\lambda}{wl} * w(phi)$ oder zu

$F_{Spirale\ diffraktiv} = 2k_1 \frac{\lambda}{wl} * w(phi)$ mit wl als Konstruktionswellenlänge des Diffraktiven Optischen Elements und λ als Anwendungswellenlänge.

Der Term $w(phi)$ kann aus den obigen Ausführungen heraus gewählt werden und ist im einfachsten Fall $\frac{phi}{2\pi}$. Mit k_1 als Koeffizient des quadratischen Terms ergibt sich die maximale Brechkraft, $F_{Spirale\ \max\ diffraktiv} = 2k_1 \frac{\lambda}{wl}$ und der winkelabhängige Term $F_{Spirale\ diffraktiv}$(phi) ergibt sich zu $F_{Spirale\ diffraktiv} = 2k_1 \frac{\lambda}{wl} * \frac{phi}{2\pi}$

In der diffraktiven Ausführung ist die zusätzliche Brechkraft erzeugende Struktur eine Phasenfunktion. Die Phase einer rotationssymmetrischen Struktur ist

$Phase_{Struktur}(r) = \sum_{l=2}^{L} g_l * r^l$ oder

$Phase_{Struktur}(r) = \sum_{l=1}^{L} g_l * r^{2*l}$

Die Brechkraft der rotationssymmetrischen Struktur in der diffraktiven Ausführung ist

$F_{Struktur\ diffraktiv} = 2g_2 \frac{\lambda}{wl}$ oder ist

$F_{Struktur\ diffraktiv} = 2g_1 \frac{\lambda}{wl}$

mit wl als Konstruktionswellenlänge des Diffraktiven Optischen Elements und λ als Anwendungswellenlänge.

Die Gesamtbrechkraft der Linse ergibt sich im einfachsten Fall für N=1 und L=1 aus einer vergleichsweise starken refraktiven Grundbrechkraft F_{Basis} des monofokalen Basissystems und aus einem relativ kleinen Brechkraftanteil der diffraktiv erzeugten spiralförmigen und rotationssymmetrischen Zusatzbrechkraft $F_{SS\ diffraktiv}$:

$$F_{Ges} = F_{Basis} + \left[F_{Struktur\ diffraktiv} + F_{Spirale\ diffraktiv}\right] = F_{Basis} + F_{SS\ diffraktiv}$$

$$F_{Ges} = F_{Basis} + \left[2g_1 \frac{\lambda}{wl} + 2k_1 \frac{\lambda}{wl} * w(phi)\right]$$

Praktisch wird zuerst die Basisbrechkraft der Linse F_{Basis} hergestellt und die spiral- und strukturförmige Zusatzbrechkraft $F_{SSdiffraktiv}$ auf eine optische Fläche der Basislinse aufgebracht.

So entsteht durch den diffraktiven Anteil ein relativ nur kleiner Farbfehler und die Linse mit dem erweiterten Fokusbereich ist auch für weißes Licht geeignet.
Die spiral- und strukturförmige Zusatzbrechkraft $F_{SSdiffraktiv}$ kann auch auf die beiden optischen Flächen der Linse aufgeteilt werden.

Der spiral- und strukturförmige Additionsterm F_{SS} kann jedoch auch durch die Herstellung eines spiral- und strukturförmigen Brechzahlgradienten Δn_{SS} realisiert werden (Fall c)). In DE 10 2009 033 984 A1 ist beispielsweise beschrieben, wie in einem optischen Material inhomogene optische Eigenschaften erzeugbar sind. In Abwandlung des dort beschriebenen Verfahrens lässt sich auch ein spiralförmiger und strukturförmiger Brechungsindex-Verlauf realisieren. Die Eigenschaften und die Gestaltung des Brechzahlgradienten erfolgt dabei in vollkommener Analogie zum refraktiven und zum diffraktiven Ansatz.

Die Gesamtbrechkraft F_{Ges} ergibt sich aus der Basisbrechkraft F_{Basis} des monofokalen Basissystems plus der Zusatzbrechkraft F_{SS}, welche durch die spiral- und strukturförmige Brechkrafterhöhung bereitgestellt wird.

Die spiral- und strukturförmige Zusatzbrechkraft F_{SS} (r, phi) ist proportional der Brechungsindexdifferenz Δn_{SS}(r, phi) gemäß der Formel

$$\Delta n_{SS}(r, phi) = \Delta n_{Struktur} + \Delta n_{Spirale}(r, phi) = \Delta n_{Struktur} + \Delta n_{Spirale\ max}(r, phi) * w(phi).$$

Die Brechungsindexdifferenz Δn_{SS}(r, phi) läuft stetig von 0 (bei r=0 und phi=0) bis zur maximalen Brechungsindexerhöhung $\Delta n_{Spirale\ max}$ (bei r=D/2 und phi=2π wobei die Funktion w(phi) den oben beschriebenen linearen oder allgemeinen Verlauf vorgeben kann.

Dabei wird $\Delta n_{Spirale\ max}$ (r, phi) in Analogie zur Höhe $z_{Spirale\ max}$ oder zur Phasenfunktion $Phase_{Sprirale\ max}$ berechnet und kann gegenüber der Basisbrechzahl n_2 der Linse sowohl positiv als auch negativ sein.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind daher auch beliebige Mischformen aus spiralförmigen und/oder fresnelförmigen Höhenprofil(en), aus spiralförmigen und/oder rotationssymmetrischen Phasenverlauf(en) und/oder aus spiralförmigen und/oder rotationssymmetrischen Brechungsindexverlauf(en), welche den gewünschten zusätzlichen Brechkraftverlauf erzeugen.

Das Höhenprofil und/oder der Phasenverlauf können auf einer der optischen Fläche und/oder auf den zwei optischen Flächen einer Linse verteilt oder kombiniert angeordnet sein.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren beschrieben. Es zeigen:

Figur 1: Eine „dicke" Linse mit erweitertem Fokusbereich in der Seitenansicht nach einer Lösung, die in DE 10 2011 101 899 A1 beschrieben ist und von der die Erfindung ausgeht

Figur 2: Eine „dünne" Linse mit erweitertem Fokusbereich gemäß der Erfindung in der Seitenansicht

Figur 3: Schematische Darstellung des Vorgehens und der Berechnungsschritte die zur Dimensionierung und Herstellung der „dünnen" Linse führen

Figur 4: Darstellung eines spiralförmigen Brechkraftanteils

Figur 5: Darstellung eines rotationssymmetrischen, gefresnelten Brechkraftanteils

Figur 6: Darstellung des aufaddierten spiralförmigen und rotationssymmetrischen, gefresnelten Brechkraftanteils

Figuren 7 bis 10: Darstellung des aufaddierten spiralförmigen und rotationssymmetrischen, gefresnelten Brechkraftanteils, wobei die Stärke des spiralförmigen Anteils von Figur zu Figur zunimmt

Figur 11: Darstellung einer diffraktiven, spiralförmigen Struktur, welche den spiralförmigen Brechkraftanteil erzeugt

Figur 12: Darstellung einer diffraktiven, rotationssymmetrischen Ringstruktur

Figur 13: Darstellung der aufaddierten diffraktiven, spiralförmigen Struktur und der diffraktiven, rotationssymmetrischen Ringstruktur, welche dem Brechkraftanteil gemäß Figur 6 entspricht

Figur 14: Eine Schematische Darstellung einer Intraokularlinse im Auge

Figur 15: ein Optisches System einer Kamera mit einer „dicken" Linse

Figur 16: ein Optisches System einer Kamera mit einer „dünnen" Linse mit dem erweiterten Fokusbereich

Figur 1 zeigt eine „dicke" Linse 1 mit einem erweiterten Fokusbereich gemäß DE 10 2011 101 899 A1, auf deren Inhalt hier ausdrücklich vollumfänglich Bezug genommen wird. Gezeigt ist eine Seitenansicht mit Darstellung des spiralförmigen refraktiven Höhenprofils $z_{Spirale}$ (r, phi), welches die spiralförmige Brechkraftverteilung $F_{Spirale}$(r, phi) erzeugt. Diese Linse 1 ist zunächst durch ihr Basissystem mit dem Radius R_1 der ersten optischen Fläche 2´ und dem Radius R_2 für die errechnete Basisfläche 3´, sowie durch die Linsendicke d_1 und der Brechungsindex n_2 bestimmt. Diese Parameter sind für eine vorgesehene Grundvergrößerung bestimmt. Auf die errechnete Form der Basisfläche 3´ mit dem Radius R_2 wird eine zusätzliche Materialdicke z „aufaddiert", wobei bei phi=0 die zusätzliche Materialdicke z=0 mm ist, dann stetig ansteigt und bei phi=2 π einen maximalen Wert im Millimeterbereich hat. In der Praxis wird der Maximalwert etwas vor dem Azimutwinkel phi=2 π liegen, um einen stetigen, wenn auch sehr steilen Übergang zurück zum Wert Null bei phi=0 zu realisieren, wie das durch die mit 4a bezeichnete gestrichelte Kurve angedeutet ist.

Als Beispiel werden Parameter für eine Linse angegeben:

R_1= -15,1411 mm herzustellender Radius

R_2= 22,3164 mm berechneter Radius

d_1= 0,8 mm

n_1= 1 (Brechzahl außerhalb der Linse)

n_2= 1,56 (Brechzahl des Linsenmediums)

somit ergibt sich aus der Formel

$$f_{Basis} = \frac{1}{\left[\frac{n2-n1}{n1} * \left(\frac{1}{R1} - \frac{1}{R2}\right) + \frac{(n2-n1)^2 * d1}{n1 * n2 * R1 * R2}\right]}$$

die Brennweite der „Basislinse" zu 16,233 mm.

Auf die errechnete Basisfläche mit dem Radius R_2= 22,3164 mm wird ein linearer „Schraubenanstieg" gemäß der Formel

$$z_{Spirale}(r, phi) = z_{Spirale\ max}(r) * w(phi) = c_1 * r^2 * \frac{phi}{2\pi}$$

als stetig, linear verlaufendes spiralförmiges Höhenprofil aufaddiert und ergibt die optische Fläche 4'.

Mit c_1 =-0,013 erhält man einen spiralförmigen Zusatz, welcher die Brennweite in Luft bis auf 20,57 mm erhöht, was 3,5 dpt entspricht.

Figur 2 zeigt eine erfindungsgemäße „dünne" Linse 5, welche gegenüber der in Figur 1 gezeigten Linse 1, flachere Radien R_3 und R_4 aufweist und deren Mittendicke d_2 dünner ist, wobei annähernd die gleichen Abbildungsparameter der Linse gemäß Figur 1 erzielt werden: Bei einer Grundbrechkraft von etwa 61 dpt wird eine Zusatzbrechkraft von 3,5 dpt erreicht. Die „dünne" Linse 5 weist die Besonderheit auf, dass der spiralförmige Zusatz einen rotationssymmetrischen Fesnel-Anteil enthält. Dieser Fresnel-Anteil realisiert einen Teil der Brechkraft, welche die „dicke" Linse 1 gemäß Figur 1 aus den Radien R_1 und R_2 sowie der Linsendicke d_1 erhält, so dass die Radien R_3 und R_4 der neuen Linse 5 flacher sind und deren Mittendicke d_2 vergleichsweise kleiner ist.

Das Vorgehen zur Dimensionierung der neuen erfindungsgemäßen „dünnen" Linse 5 wird an Hand von Figur 3 erläutert.

Ausgangspunkt ist die in der oberen Zeile der Figur 3 dargestellte „dicke" Linse 1, welche nur berechnet wird. Sie besteht aus dem refraktiven Basissystem mit den Radien R_1 und R_2 sowie der Mittendicke d_1 (links dargestellt) und dem spiralförmigen Brechkraftanteil, welcher theoretisch durch das Höhenprofil $z_{Spirale}$(r, phi) auf dem Radius R_2 realisiert wird (rechts dargestellt). Dann ist unterhalb dargestellt, dass die Brechkraft des refraktiven Basissystems aufgeteilt wird, in eine neue „dünne" Linse 5, mit den Radien R_3 und R_4 sowie mit der Mittendicke d_2 und in einen rotationssymmetrischen fresnelförmigen Brechkraftanteil $z_{Fresnel}$(r).

In der unteren Zeile ist dargestellt, dass der fresnelförmige Brechkraftanteil $z_{Fresnel}$(r) und der spiralförmige Anteil $z_{Spirale}$(r, phi) zu einer spiral- und fresnelförmigen Zusatzbrechkraft F_{SF} aufaddiert werden. Auf den nur errechneten Radius R_4 der Basislinse mit dem Höhenprofil z_{Basis} wird das Höhenprofil $z_{SF}(r, phi) = z_{Spirale}(r, phi) + z_{Fresnel}(r)$ aufaddiert.

Hergestellt wird nun eine Linse mit dem Radius R_3 mit einer Mittendicke d_2 und mit einem Höhenprofil z_{SF}(r, phi) auf dem berechneten Radius R_4. Das entsprechende, zu fertigende

Höhenprofil der optischen Fläche 4 ergibt sich zu

$$z_{Ges}(r, phi) = \left(R_4 - \sqrt{R_4^2 - r^2} \right) + \left[z_{Fresnel}(r) + z_{Spirale\ \max}(r, phi) * w(phi) \right]$$

Figur 4 zeigt nur den spiralförmigen Brechkraftanteil $F_{Spirale}$ der Linse als Höhenprofil $z_{Spirale}(r, phi)$. Figur 5 zeigt nur den rotationssymmetrischen, gefresnelten Brechkraftanteil $F_{Fresnel}$ der Linse als Höhenprofil $z_{Fresnel}(r)$. Die Darstellung in Figur 6 zeigt das Ergebnis einer Addition des spiralförmigen Brechkraftanteils und des rotationssymmetrischen, gefresnelten Brechkraftanteils als Höhenprofil $z_{SF}(r, phi)$, welches den spiral- und fresnelförmigen Brechkraftanteil F_{SF} repräsentiert.

Dieses Höhenprofil wird auf das Höhenprofil z_{Basis} der errechneten Basisfläche 3 mit dem Radius R_4 aufaddiert und an der herzustellenden Linse gefertigt.

Die Figuren 7 bis 10 zeigen jeweils eine Darstellung des aufaddierten spiralförmigen und rotationssymmetrischen, gefresnelten Brechkraftanteils F_{SF}, wobei die Stärke des spiralförmigen Anteils von Figur zu Figur von 1 dpt bis zu 3,5 dpt zunimmt.

Nachfolgend wird in den Figuren 11 bis 13 gezeigt, dass eine spiral- und strukturförmige Zusatzbrechkraft der Linse F_{SS} ausgehend von dem refraktiven Ansatz (dort ist die strukturförmige Zusatzbrechkraft durch eine Fresnel-Struktur realisiert) in vollständiger Analogie auf einen diffraktiven Ansatz übertragen wird.

Figur 11 zeigt schematisch eine diffraktive, spiralförmige Struktur, welche den spiralförmigen Brechkraftanteil $F_{Spirale\ diffraktiv}$ erzeugt. Figur 12 zeigt schematisch eine diffraktive, rotationssymmetrische Ringstruktur, welche den strukturförmigen Brechkraftanteil $F_{Struktur\ diffraktiv}$ erzeugt. Figur 13 zeigt das Ergebnis einer Addition der beiden diffraktiven Strukturen. Diese Überlagerung der diffraktiven, spiralförmigen Struktur und der diffraktiven, rotationssymmetrischen Ringstruktur liefert im Ergebnis einen spiral- und strukturförmigen Brechkraftanteil F_{SS}, welcher in seiner Wirkung dem refraktiven spiral- und fresnelförmigen Brechkraftanteil F_{SF} entspricht, der durch das spiral- und fresnelförmige Höhenprofil z_{SF} in Figur 6 schematisch dargestellt ist.

Figur 14 zeigt eine schematische Darstellung einer Intraokularlinse 11, welche als „dünne" erweiterte Fokuslinse 5 ins Auge implantiert ist. Im Beispiel ersetzt diese die natürliche Augenlinse und befindet sich im Lichtweg zwischen der Cornea 12 und der Retina 14 im Kammerwasser 13.

Die Intraokularlinse 11 hat eine sphärische erste optische Fläche 2 sowie die Spiral- und Strukturform tragende zweite optische Fläche 4.

In einem ersten Beispiel hat die Intraokularlinse 11 mit dem erweiterten Fokusbereich folgende Parameter für das Basissystem:
Die Basisradien der Trägerlinse sind der hergestellter Linsenradius R_3=-20 mm, berechneter Linsenradius R_4=+20 mm der Basisfläche 3. Auf die Basisfläche 3 wird das spiral- und fresnelförmige Höhenprofil $z_{SF}(r, phi)$ aufaddiert ist und entsprechend als Fläche 4 gefertigt.

Die Brechkraft des gefresnelten Anteils an der Grundbrechkraft der Linse ergibt sich aus dem Höhenprofil einer Fresnel-Struktur

$$z_{Fresnel}(r) = \sum_{l=1}^{L} e_l * r^{2*l}$$

und ergibt für L=2 die Koeffizienten des rotationssymmetrischen Fresnelpolynomes e_1=0,036 und e_2=-0,00018398.

Die Brechkraft der spiralförmigen Zusatzbrechkraft der Linse ergibt sich aus dem Höhenprofil

$$z_{Spirale}(r, phi) = z_{Spirale\ max}(r) * w(phi) = \sum_{j=1}^{N} c_j * r^{2*j} * \frac{phi}{2\pi}$$

und ergibt für N=1 den Koeffizienten des Spiralpolynomes c_1=0,025.
So ergibt sich

$$z_{SF}(r, phi) = z_{Spirale}(r, phi) + z_{Fresnel}(r) = c_1 * r^2 * \frac{phi}{2\pi} + e_1 * r^2 + e_2 * r^4$$

Die Zackentiefe des gefresnelten Elements p wird mit 0,1 mm gewählt und so ergibt sich die spiralförmige und gefresnelte Zusatzbrechkraft durch die Modulo-Funktion mod(z_{SF}(r, phi), p).

Dabei sind der Cornea-Radius mit R_5=7,814mm angenommen und die Konische Konstante K=-0,26. Der Abstand Cornea 12 bis Linsenvorderseite R_4 beträgt 4,12mm, die Linsendicke der Intraokularlinse ist d_2 = 0,65 mm und der Abstand von der Linsenvorderseite R_2 bis zur Retina 14 beträgt 18,1mm. Als Material wird Benz 25 mit einer Brechzahl des Linsenmediums n_2= 1,56 verwendet.
Die Brechzahl außerhalb der Linse, des Kammerwassers 13, ist n_1= 1,33.
Im Vergleich dazu hat die in DE102011 101 899, dort Figur 4, beschriebene Intraokularlinse folgende Parameter:
R_1= -15,1411 mm (hergestellte erste optische Fläche 2)

R_2= 22,3164 mm (berechnete Basisfläche 3)

Linsendicke d_1 = 0,8 mm.

Im Ergebnis ist die neue erfindungsgemäße Linse gemäß dem Beispiel nach Figur 14 um 0,15 mm dünner, was durch den gegenüber R_1 flacheren Radius R_3 hervorgerufen wird.

In einem zweiten Beispiel zu Figur 14 hat die Intraokularlinse 11 mit dem erweiterten Fokusbereich folgende Parameter für eine diffraktive Ausführung der spiral- und strukturförmigen Zusatzbrechkraft F_{SS} auf einer optischen Fläche der Basislinse:

Cornea : Radius R_5 =7,814 mm, asphärische Konuskonstante K=-0,26

Basisradien der Linse R_3 =R_4 = +/- 20,0 mm (sphärisch), der Abstand Cornea R_5 bis zur gefertigten optischen Fläche 4 mit dem Radius R_4 ist 4,12 mm,

die Dicke der Intraokularlinse d_2 = 0,65 mm und der Abstand der gefertigten optischen Fläche 2 mit dem Radius R_3 bis Retina beträgt 18,5 mm.

Als Material für die Intraokularlinse wird „Benz25" eingesetzt. Der Durchmesser der Intraokularlinse beträgt 6 mm. Mit diesen Parametern ist das refraktive Basissystem der Linse beschrieben und seine Brechkraft F_{Basis} ist festgelegt. Die spiralförmige Zusatzbrechkraft $F_{Spirale}$ und die strukturförmige Zusatzbrechkraft $F_{Struktur}$ werden als eine spiral- und strukturförmige diffraktive Brechkraftverteilung F_{SS} mit einem Diffraktiven Optischen Element erzeugt, welches auf die Oberfläche mit dem Radius R_4 aufgebracht ist. So ergibt sich die Gesamtbrechkraft der Intraokularlinse 11 zu

$$F_{Ges} == F_{Basis} + F_{SS\ diffraktiv} = F_{Basis} + \left[F_{Struktur\ diffraktiv} + F_{Spirale\ diffraktiv}\right]$$

Als Phasenfunktion ausgedrückt ergibt sich die spiral- und strukturförmige Zusatzbrechkraft

$Phase_{SS}(r, phi) = Phase_{Struktur} + Phase_{Spirale}$ mit

$$Phase_{Strktur}(r) = \sum_{l=1}^{L} g_l * r^{2*l}$$

$$Phase_{Spirale}(r, phi) = Phase_{\max}(r) * w(phi) = \sum_{j=1}^{N} k_j * r^{2*j} * w(phi).$$

Mit L=2, N=1 und $w(phi) = \frac{phi}{2\pi}$ ergibt sich

$Phase_{SS}(r, phi) = g_1 * r^2 + g_2 * r^4 + k_1 * r^2 \frac{phi}{2\pi}$ und die reduzierte Phasenfunktion zu

$Phase_{SS\ reduziert}(r, phi) = \frac{Phase_{SS}(r, phi)}{wl} - floor\frac{Phase_{SS}(r, phi)}{wl}$, wobei

phi=0 ... 2π (Azimutwinkel), r = radiale Höhe auf der Linse und wl die Konstruktionswellenlände des diffraktiven Element (synthetische Herstellungswellenlänge) sind.

Für die Koeffizienten des rotationssymmetrischen gefresnelten Anteils, der hier als symmetrischer Anteil eines Diffraktiven Optischen Elementes vorliegt, wird festgelegt: g_1=0,006109 und g_2=-4,92E-5 .
Für den Koeffizient des spiralförmigen Anteils des Diffraktiven optischen Elementes gilt k_1=-0,003. Die Profiltiefe der Diffraktiven Optischen Elements ist h = 0,0043 mm.

In einem dritten Beispiel hat die Intraokularlinse 11 mit dem erweiterten Fokusbereich folgende Parameter für eine diffraktive Ausführung der Zusatzbrechkraft F_{SS}, aufgeteilt auf die zwei optischen Flächen 2 und 4 der refraktiven Basislinse 3:
Cornea-Radius R_5=7,814 mm, asphärische Konuskonstante K=-0,26)
Die Basisradien der Intraokularlinse sind R_3=R_4 = +/- 20,0 mm (sphärisch). Weitere Parameter sind: Der Abstand Cornea-Radius R_5 bis zur optischen Fläche 4 mit dem Radius R_4 von 4,12 mm, die Mittendicke d_2 = 0,65 mm und der Abstand der optischen Fläche 2 mit dem Radius R_3 bis zur Retina beträgt 18,5 mm, das Linsen-Material ist „Benz25" und der Durchmesser der Intraokularlinse ist 6 mm.
In diesem Beispiel ist auf jeder der optischen Flächen 2 und 4 jeweils ein Diffraktives optisches Element aufgebracht.

Die Brechkraft wird hier so aufgeteilt, dass der spiralförmige Brechkraftanteil $F_{Spirale}$ auf der optischen Fläche mit dem Radius R_4 liegt und der strukturförmige rotationssymmetrische Brechkraftanteil $F_{Struktur}$ auf dem Radius R_3 liegt.

Mit L=2, N=1 und $W(phi) = \frac{phi}{2\pi}$ ergibt sich

$Phase_{SS}(r, phi) = g_1 * r^2 + g_2 * r^4 + k_1 * r^2 \frac{phi}{2\pi}$

und die reduzierte Phasenfunktion zu

$$Phase_{SS\ reduziert}(r, phi) = \frac{Phase_{SS}(r, phi)}{wl} - floor\frac{Phase_{SS}(r, phi)}{wl}$$, wobei

phi=0 ... 2π (Azimutwinkel), r = radiale Höhe auf der Linse und wl die Konstruktionswellenlände des diffraktiven Element (synthetische Herstellungswellenlänge) sind.

Für das auf die optische Fläche 4 aufgebrachte Diffraktive Optische Element gilt:
g_1=0, sowie g_2=0 und k_1=-0,003
Die Profiltiefe der Diffraktiven Optischen Elementes ist h = 0,0043 mm.
Für das auf die optische Fläche 2 aufgebrachte diffraktive optische Element gilt:
g_1=0,0065 sowie g_2=1,8975 E-4 und k_1=0.
Die Profiltiefe der Diffraktiven Optischen Elementes ist h = 0,0043 mm.

Figur 15 zeigt ein optisches System einer Kamera gemäß Figur 3 aus der DE 10 2011 101 899 A1 mit einer „dicken" Linse 1, welche den erweiterten Fokusbereich aufweist. Zur Basisbrechkraft, resultierend aus den Radien R_1, R_2, der Brechzahl n_2 und der Mittendicke d_1 der berechneten Linse wird ein zusätzlicher Brechkraftanteil in Form eines spiralförmigen Brechkraftanteils hinzugerechnet. Dieser spiralförmige Brechkraftanteil wird als Höhenprofil $z_{Spirale}$ auf das Höhenprofil der berechneten Basisfläche 3´ hinzu addiert und wird in der Praxis als zweite optische Fläche 4´ gefertigt.
Der spiralförmige Brechkraftanteil kann aber auch in diffraktiver Form als Diffraktives Optisches Element auf eine oder beide der optischen Flächen der Linse mit der Basisbrechkraft gefertigt werden. Alternativ kann der spiralförmige Brechkraftanteil auch als Brechungsindexgradient innerhalb der Linse mit der Basisbrechkraft gefertigt werden. Ebenso sind beliebige Mischformen vorgesehen.

Figur 16 zeigt ein optisches System einer Kamera mit einer erfindungsgemäßen „dünnen" Linse 5, welche den erweiterten Fokusbereich aufweist. Im Beispiel wird zur Basisbrechkraft der berechneten Linse ein zusätzlicher Brechkraftanteil in Form eines spiral- und fresnelförmiges Höhenprofils z_{SF} hinzugerechnet. Das Höhenprofil wird auf das Höhenprofil der berechneten Basisfläche 3 mit dem Radius R_4 hinzuaddiert und wird als zweite optische Fläche 4 gefertigt. Der spiral- und fresnelförmige Brechkraftanteil kann ganz oder teilweise auch durch ein Diffraktives Optisches Element auf der optischen Fläche der Basislinse (oder verteilt auf beiden optischen Flächen) oder durch einen Brechungsindexgradienten im Linsenmaterial realisiert werden.
In Lichtausbreitungsrichtung folgt der „dünnen" Linse 5 eine asphärische Linse 6 mit den

optischen Flächen 17 und 18, dann folgen ein Filter 15 und ein Sensor 7.

Die „dünne" Linse 5 hat objektseitig eine erste optische Fläche 2 mit dem Radius R_3. Bildseitig ist die zweite optische Fläche 4 angefertigt, deren Höhenprofil sich aus dem Höhenprofil z_{Basis} des berechneten Radius R_4 und dem spiral- und fresnelförmigen Höhenprofil $z_{SF}(r, phi)$ sich ergibt.

Als Beispiel wird ein Handyobjektiv mit einer Brennweite von 5,61 mm gezeigt, welches eine Baulänge von 6,1 mm und eine Öffnung 1:2,8 hat.

Die optischen Flächen 2, 17 und 18 der Linsen 5 und 6 besitzen eine rotationsasphärische Grundform.

Linse 5: Linsendicke d_2 = 1,21 mm, Material ist Zeonex

optische Fläche 2: R_3 = 1,482 mm konvex

Asphärenkoeffizienten:

K = 0,04649

A = -0,698748E-03

B = 0,987484E-03

C = -0,119379E-03

D = -0,104254E-02

E = 0,323245E-03

Die nicht gefertigte sphärisch konkave Basisfläche 3 hat einen berechneten Radius R_4 = 6,303 mm. Auf das Höhenprofil z_{Basis} dieser Basisfläche 3 wird der spiral- und fresnelförmige Brechkraftverlauf in Form eines Höhenprofils Z_{SF} aufaddiert. Dieses Höhenprofil wird dann an der zu fertigenden Linse hergestellt. Im Beispiel sind der Koeffizient des spiralförmigen Polynoms c_1 = -0,00268 und der Koeffizient des rotationssymmetrischen Fresnelanteils e_1= 0,03

Der zusätzliche spiralförmige Brechkraftanteil berechnet sich zu

$$F_{Spirale} = 2k_1 * r^2 * \frac{phi}{2\pi}$$

und der zusätzliche rotationssymmetrische Fresnel-Anteil zu

$$F_{Fresnel} = 2e_1 * r^2$$

Und die Gesamtbrechkraft ergibt sich zu

$$F_{Ges} = F_{Basis} + F_{SF} = F_{Basis} + F_{Fresnel} + F_{Spirale}$$

$$F_{Ges} = F_{Basis} + 2e_1 * r^2 + 2k_1 * r^2 * \frac{phi}{2\pi}$$

Die auf die Basisfläche 3 aufaddierte Zusatzbrechkraft ist

$$F_{SF} = F_{Fresnel} + F_{Spirale} = 2e_1 * r^2 + 2k_1 * r^2 * \frac{phi}{2\pi}$$

oder als Höhenprofil beschrieben

$$z_{SF} = z_{Fresnel} + z_{Spirale} = 2e_1 * r^2 + 2k_1 * r^2 * \frac{phi}{2\pi}$$

Die Zackentiefe der Fresnelfurchen ist 0,008 mm.

Die Linse 6 hat eine Dicke von 3,0 mm, Material ist Polycarbonat.

Die optische Fläche 17 hat einen Radius R_6 = -3,075 mm mit den Asphärenkoeffizienten:

K = 11,058298
A = -0,623991E-01
B = -0,926325E-02
C = 0,244030E-01
D = -0,125809E+00
E = 0,345714E-01
F = -0,101087E-01
G = -0,221418E-15
H = -0,409672E-17
J = 0,991703E-20

Die optische Fläche 18 hat den Radius R_7 = 44,1377 mm (konvex) mit den Asphärenkoeffizienten:

K = -0,238656e57
A = -0,171783E-01
B = 0,462293E-03
C = -0,823963E-03
D = 0,227317E-03
E = -0,108925E-04
F = -0,474572E-05
G = 0,385353E-06
H = 0,475909E-07
J = -0,466662E-08

Der Abstand zwischen der Linse 5 bis zur Linse 6 beträgt 0,75 mm, der Abstand zwischen der Linse 6 bis zum Filter 15 beträgt 0,4 mm und der Abstand vom Filter 15 bis zur Bildebene des Detektors 7 beträgt 0,4 mm, wobei die Filterdicke ebenfalls 0,4 mm beträgt.

Das Objektiv liefert einen gleichzeitigen Fokusbereich von 330 mm bis unendlich.

Die Baulänge des Objektives ist nur 6,1 mm und damit um 0,7 mm kleiner als in den Beispielen zu Figur 3 in DE 10 2011 101 899 A1 beschrieben.
Dabei unterstützten insbesondere die zweckmäßige Wahl der Koeffizienten c und e vor dem quadratischen Term die Achromatisierung des Objektivs.

Bezugszeichen

1	„dicke" Linse
2	gefertigte erste optische Fläche (sphärisch, asphärisch, radialsymmetrisch, Freiformfläche) einer „dünnen" Linse
2'	optische Fläche einer „dicken" Linse
3	berechnete Basisfläche der „dünnen" Linse (sphärisch, asphärisch, radialsymmetrisch, Freiformfläche)
3'	berechnete, zweite optische Fläche der „dicken" Linse
4	gefertigte zweite optische Fläche der „dünnen" Linse (sphärisch, asphärisch, radialsymmetrisch, Freiformfläche, spiral- und strukturförmige Oberfläche)
4'	gefertigte Fläche der „dicken" Linse
5	„dünne" Linse
6	asphärische Linse
7	Sensor
8	Lichtbündel
9	Linsenrand
10	optische Achse
11	Intraokularlinse
12	Cornea
13	Kammerwasser
14	Retina
15	Filter
16	spiral- und strukturförmiges Diffraktives Optisches Element (DOE)
17	optische Fläche
18	optische Fläche

$F_{Ges}(r, phi)$	Gesamtbrechkraft der Linse
F_{Linse}	Grundwert der Brechkraft des Basissystems einer „dicken" Linse
F_{Basis}	Brechkraft des Basissystems einer „dünnen" Linse
$F_{Struktur}$	Brechkraft einer Struktur, die zur Brechkraft F_{Basis} der „dünnen" Linse hin zu kommt
$F_{Spirale}(r, phi)$	spiralförmiger Brechkraftanteil, der zur Brechkraft F_{Basis} der „dünnen" Linse hinzu kommt
$F_{Spirale\ max}(r, phi)$	maximale Brechkraft des spiralförmigen Anteils der Brechkraft
$F_{SF}(r, phi)$	spiral- und fresnelförmige zusätzliche refraktive Brechkraft

$F_{SS}(r, phi)$	spiral- und strukturförmige zusätzliche Brechkraft
$F_{SS\ diffraktiv}(r, phi)$	spiral- und strukturförmige zusätzliche diffraktive Brechkraft
$F_{Struktur\ diffraktiv}$	Brechkraft der Struktur in diffraktiver Form
$F_{Spirale\ diffraktiv}(r, phi)$	spiralförmige Brechkraft in diffraktiver Form
f_{Basis}	Brennweite des Basissystems
$f_{Spirale}(r, phi)$	Brennweite der spiralförmigen Zusatzbrechkraft
$f_{Struktur}$	Brennweite der Zusatzbrechkraft einer Struktur
L, M, N,	Endwerte
i, j, l	Zählwerte
c_j, c_1, c_2	Polynomkoeffizienten der Spirale für den refraktiven Fall
k_j, k_1, k_2	Polynomkoeffizienten der Spirale für den diffraktiven Fall
e_l, e_1, e_2	Polynomkoeffizienten des gefresnelten Anteils für den refraktiven Fall
g_l, g_1, g_2	Polynomkoeffizienten des strukturförmigen Anteils für den diffraktiven Fall
$z_{Spirale\ max}(r)$	maximale Höhe der Spirale (radiusabhängig)
$z_{Spirale\ max}(r, phi)$	maximale Höhe (radiusabhängig und Azimutwinkel-abhängig)
$z_{Spirale}(r, phi)$	spiralförmige additive Höhe auf der Basisfläche
z_{Basis}	Höhenprofil der berechneten Basisfläche 3
$z_{Fresnel}$	Höhenprofil der Fresnel-Struktur
z_{SF}	spiral- und fresnelförmiges Höhenprofilauf der berechneten Basisfläche 3
$z_{Ges}(r, phi)$	Höhenprofil der gefertigten optischen Fläche 4
w(phi)	winkelabhängiger Anteil des Brechkraftverlaufes
w_i, w_1, w_2	Peaklagen der Winkelverteilungsfunktion
a_i, a_1, a_2	Dämpfungskoeffizienten für die jeweiligen Peaklagen
I_i, I_1, I_2	Intensitätswerte der Einzelpeaks
D	Linsendurchmesser
r	Radius (radiale Höhe)
phi	Azimutwinkel
R_1	Radius der ersten optischen Fläche der „dicken" Linse
R_2	Radius der optischen Basisfläche der „dicken" Linse
R_3	Radius der ersten optischen Fläche 2 der „dünnen" Linse
R_4	Radius der optischen Basisfläche 3 der „dünnen" Linse
R_5	Cornea-Radius
R_6	Radius der asphärischen Linse
R_7	Radius der asphärischen Linse

n_1 Brechzahl des umgebenden Mediums

n_2 Brechzahl des Linsenmaterials

d_1 Mittendicke der „dicken" Linse

d_2 Mittendicke der „dünnen" Linse

d_3 Mittendicke der asphärischen Linse

h Profiltiefe des diffraktiven Elements

p Zackentiefe des gefresnelten Elements

λ Anwendungswellenlänge

wl Konstruktionswellenlänge des diffraktiven Elements

$Phase_{Spirale\ max}(r, phi)$ Maximalwert der Gitterfrequenz, welcher der maximalen spiralförmigen Brechkraftverteilung entspricht

$Phase_{Spirale}(r, phi)$ Phasenfunktion der spiralförmigen Brechkraftverteilung

$Phase_{Struktur}$ Phasenfunktion der zusätzlichen strukturellen Brechkraftverteilung

$Phase_{SS}(r, phi)$ Phasenfunktion der spiral- und strukturförmigen Brechkraftverteilung

t Rechengröße

floor(t) ganzzahliger Anteil (Floor-Funktion)

Profil(r, phi) auf die Höhe h reduzierte Phasenfunktion

K asphärische Konstante

x, y kartesische Koordinaten

$\Delta n_{Spirale}$ spiralförmige Brechungsindexverteilung

$\Delta n_{Spirale\ max}$ maximaler Brechungsindex der Spirale

$\Delta n_{Struktur}$ Brechungsindexverteilung der Struktur

Δn_{SS} spiral- und strukturförmige Brechungsindexverteilung

Patentansprüche

1. Linse mit einem erweiterten Fokusbereich, wobei die Linse (5) aus einem transparenten Material besteht sowie zwei gefertigte optische Flächen (2, 4) hat, wobei die Linse (5) eine Brechkraftverteilung F_{Ges} aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass

sich die Brechkraftverteilung F_{Ges} der Linse (5) bezogen auf eine zur optischen Achse (10) senkrecht stehende Ebene als Funktion der radialen Höhe (r) und des Azimutwinkels (phi) der Apertur zwischen einem errechneten Grundwert der Brechkraft F_{Linse} ungleich Null und einem Maximalwert $F_{Spirale\ max}(r, phi)$ ändert und somit die Brechkraftverteilung rechnerisch sich zu

$F_{Ges}(r, phi) = F_{Linse}(r) + F_{Spirale\ max}(r, phi) * w(phi)$ ergibt, wobei

$F_{Spirale\ max}(r,phi)$ nichtlinear radienabhängig ist und w(phi) ein Faktor für den Brechkraftanteil mit dem spiralförmigen Verlauf ist und dass der errechnete Grundwert der Brechkraft F_{Linse} aufgeteilt ist, in einen refraktiven Brechkraftanteil eines Basissystems F_{Basis} und in einen Brechkraftanteil einer Struktur $F_{Struktur}$, weiterhin ein spiralförmiger Brechkraftanteil

$F_{Spirale}(r, phi) = F_{Spirale\ max}(r, phi) * w(phi)$ und der Brechkraftanteil der Struktur $F_{Struktur}$ zu einer spiral- und strukturförmigen zusätzlichen Brechkraft

$F_{SS}(r, phi) = F_{Struktur} + F_{Spirale}(r, phi)$ zusammengeführt sind, so dass die Gesamtbrechkraft der gefertigten Linse (5) sich zu

$F_{Ges}(r, phi) = F_{Basis} + F_{SS}(r, phi)$ ergibt.

2. Linse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass w(phi) mit der Formel

$w(phi) = \sum_{i=1}^{M} I_i \exp\left[-a_i (phi - w_i)^2\right]$ beschrieben ist und w_i die Peaklagen der Winkelverteilungsfunktion; I_i Intensitätswerte der Einzelpeaks; $a_i > 0$ Dämpfungskoeffizienten für die jeweiligen Peaklagen sowie i ein Zählwert und $M \geq i$ ein Endwert sind.

3. Linse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass w(phi) mit der Formel

$w(phi) = \frac{phi}{2\pi}$ als linearer Verlauf beschrieben ist.

4. Linse nach Anspruch 1 , dadurch gekennzeichnet, dass die spiral- und strukturförmige Brechkraftverteilung F_{SS} durch ein Höhenprofil erzeugt ist, wobei das Höhenprofil z_{Ges} (r, phi) der zu fertigenden zweiten optischen Fläche (4) aus der Addition eines Höhenprofils z_{Basis} einer berechneten Basisfläche (3), eines fresnelförmigen Höhenprofils $z_{Fresnel}$ einer Fresnelschen Stufenlinse und eines spiralförmigen Höhenprofils $z_{Spirale}$(r, phi) sich ergibt, wobei die additive Höhe $z_{Spirale}$(r, phi) ausgehend von Null bis zu einem Maximalwert $z_{Spirale\ max}$ sich als Funktion $z_{Spirale}(r, phi) = z_{Spirale\ \max}(r, phi) * w(phi)$ ergibt, wobei der Radius (r) zwischen 0 und D/2 und der Azimutwinkel der Apertur (phi) zwischen 0 und 2π sich stetig ändern, wobei das spiralförmige Höhenprofil $z_{Spirale}$(r, phi) und das fresnelförmige Höhenprofil $z_{Fresnel}$ auf das Höhenprofil z_{Basis} der berechneten Basisfläche 3 aufaddiert sind, wodurch die zu fertigende optische Fläche (4) mit einem spiral- und fresnelförmigen Höhenprofil z_{FS} beschrieben ist, wobei gilt $z_{Ges}(r, phi) = z_{Basis} + z_{FS}(r, phi)$ mit $z_{FS}(r, phi) = z_{Fresnel} + z_{Spirale}(r, phi)$.

5. Linse nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die spiralförmige additive Höhe $z_{Spirale}$ sich ergibt aus dem Produkt eines Polynoms für die maximale Höhe $z_{Spirale\ max}$(r, phi), welches nichtlinear radienabhängig und winkelabhängig ist, und eines winkelabhängigen Anteils w(phi):

$z_{Spirale}(r, phi) = z_{Spirale\ \max}(r, phi) * w(phi)$, wobei

$$z_{Spirale\ \max}(r, phi) = \sum_{j=2}^{N} c_j(phi) * r^j \text{ oder}$$

$$z_{Spirale\ \max}(r, phi) = \sum_{j=1}^{N} c_j(phi) * r^{2*j}$$

das Polynom für die maximale Höhe ist.

6. Linse nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die additive Höhe (z) sich ergibt aus dem Produkt eines Polynoms für die maximale Höhe z_{max}(r), welches nichtlinear radienabhängig ist, und einem winkelabhängigen Anteil w(phi):

$z_{Spirale}(r, phi) = z_{Spirale\ \max}(r) * w(phi)$, wobei

$$z_{Spirale\ \max}(r) = \sum_{j=2}^{N} c_j * r^j \text{ oder } z_{Spirale\ \max}(r) = \sum_{j=1}^{N} c_j * r^{2*j}$$

das Radialpolynom für die maximale Höhe ist.

7. Linse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Brechkraftverteilung durch ein Diffraktives Optisches Element erzeugt ist, wobei die berechnete Basisfläche (3) als zweite optische Fläche (4) gefertigt ist und der Brechkraftanteil mit dem spiral- und strukturförmigen Verlauf $F_{SS\ diffraktiv}$ sich aus der Wirkung eines optischen Gitters ergibt, welches auf die gefertigte zweite optische Fläche (4) aufgebracht ist, weiterhin die spiral- und strukturförmige zusätzliche diffraktive Brechkraft $F_{SS\ diffraktiv}$ die Summe aus der Brechkraft der Spirale in diffraktiver Form $F_{Spirale\ diffraktiv}$ und aus der Brechkraft der Struktur in diffraktiver Form $F_{Struktur\ diffraktiv}$ ist und die Brechkraft in Phasenform beschrieben ist als

$$Phase_{SS}(r, phi) = Phase_{Struktur} + Phase_{Spirale}(r, phi),$$

wobei der Radius (r) zwischen 0 und D/2 und der Azimutwinkel der Apertur (phi) zwischen 0 und 2π sich stetig ändern, wodurch das auf der optischen Fläche (3) gefertigte Gitter den spiral- und strukturförmigen Phasenverlauf aufweist.

8. Linse nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Werte für das spiralförmige Gitterprofil durch die Formel

$$Phase_{Spirale}(r, phi) = Phase_{Spirale\ \max}(r, phi) * w(phi)$$

bestimmt sind, wobei

$$Phase_{Spirale\ \max}(r, phi) = \sum_{j=2}^{N} k_j(phi) * r^j \quad \text{oder}$$

$$Phase_{Spirale\ \max}(r, phi) = \sum_{j=1}^{N} k_j(phi) * r^{2*j}$$

das Polynom für die maximalen Phasenwerte ist.

9. Linse nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Werte für das spiralförmige Gitterprofil durch die Formel

$$Phase_{Spirale}(r, phi) = Phase_{Spirale\ \max}(r) * w(phi)$$

bestimmt sind, wobei

$$Phase_{Spirale\ \max}(r) = \sum_{j=2}^{N} k_j * r^j \quad \text{oder} \quad Phase_{Spirale\ \max}(r) = \sum_{j=1}^{N} k_j * r^{2*j}$$

das Radialpolynom für die maximalen Phasenwerte ist.

10. Linse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Brechkraftanteil mit dem spiral- und strukturförmigen Verlauf F_{SS} durch eine additive oder subtraktive Brechungsindexverteilung Δn_{SS} (r, phi) im Material der Linse sich ergibt, welche die Summe aus einer spiralförmigen Brechungsindexverteilung $\Delta n_{Spirale}$ (r, phi) und aus einer strukturförmigen Brechungsindexverteilung $\Delta n_{Struktur}$ ist

$$\Delta n_{SS}(r, phi) = \Delta n_{Struktur} + \Delta n_{Spirale}(r, phi)$$

und die Brechungsindexverteilung von einem Grundwert n_2 ausgehend bis zu einem Maximalwert $\Delta n_{Spirale\ max}$ sich als Funktion

$\Delta n_{Spirale}(r, phi) = \Delta n_{Spirale\ max}(r, phi) * w(phi)$ ergibt, wobei der Radius (r) zwischen 0 und D/2 und der Azimutwinkel der Apertur (phi) zwischen 0 und 2π sich stetig ändern, wodurch für Δn_{SS} (r, phi) die spiral- und strukturförmige Brechungsindexverteilung des Linsenmaterials beschrieben ist.

11. Linse nach den Ansprüchen 4, 7 und 10, dadurch gekennzeichnet, dass die die zusätzliche spiral- und strukturförmige Brechkraft F_{SS} erzeugenden Formen und/oder Strukturen jeweils einzeln oder miteinander kombiniert auf einer der optischen Flächen der Linse und/oder auch auf den beiden optischen Flächen der Linse einzeln oder in Kombination miteinander und/oder verteilt angeordnet sind und/oder in das Material der Linse eingebracht sind.

12. Linse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Basisbrechkraft der Linse F_{Basis} und/oder die Zusatzbrechkraft der Struktur $F_{Struktur}$ rotationssymmetrisch sind.

13. Verfahren zur Herstellung einer Linse (5) mit einem erweiterten Fokusbereich, welches folgende Schritte umfasst:
Schritt 1: Berechnung eines monofokalen virtuellen Basissystems mit einem Grundwert der Brechkraft F_{Linse} unter Festlegung der Parameter einer ersten optischen Fläche (2'), der Parameter einer zweiten optischen Fläche (3') und einer Linsendicke (d_1) sowie einer Werkstoffart mit einem Brechungsindex (n_2) und einer Abbe-Zahl,
Schritt 2: Aufteilung des Grundwertes der Brechkraft (F_{Linse}) in eine Basisbrechkraft F_{Basis} und in einen strukturförmigen Brechkraftanteil $F_{Struktur}$, wobei die Basisbrechkraft F_{Basis} durch die Parameter (R_3) einer ersten optischen Fläche (2), die Parameter (R_4) einer berechneten Fläche (3) und einer Linsendicke (d_2) sowie der Werkstoffart mit

einem Brechungsindex (n_2) und der Abbe-Zahl bestimmt ist,

Schritt 3: Bestimmung der Parameter einer zusätzlichen spiralförmigen Brechkraftverteilung $F_{Spirale}(r, phi)$ welche sich bezogen auf eine zur optischen Achse (10) senkrecht stehende Ebene als Funktion der radialen Höhe (r) und des Azimutwinkel (phi) der Apertur zwischen einem Grundwert und einem Maximalwert nichtlinear radienabhängig ändert,

Schritt 4: Bestimmung einer zusätzlichen spiral- und strukturförmigen Brechkraft F_{SS} durch Addieren der spiralförmigen Brechkraftverteilung $F_{Spirale}$ aus Schritt 3 auf die strukturförmige Brechkraftverteilung $F_{Struktur}$ aus Schritt 2,

Schritt 5: Aufaddieren oder subtrahieren der in Schritt 4 erhaltenen spiral- und strukturförmigen Brechkraftverteilung $F_{SS}(r, phi) = F_{Spirale}(r, phi) + F_{Struktur}$ auf die optische Wirkung des Basissystems F_{Basis} aus Schritt 2,

Schritt 6: Herstellung der Linse mit der spiral- und strukturförmigen Brechkraftverteilung an, auf, und/oder innerhalb der Linse, so dass die Gesamtbrechkraft der gefertigten Linse sich ergibt aus

$$F_{Ges}(r, phi) = F_{Basis} + F_{SS}(r, phi) = F_{Basis} + \left[F_{Struktur} + F_{Spirale}(r, phi)\right].$$

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem die zusätzliche spiral- und strukturförmige Brechkraft F_{SS}, durch eine Addition eines spiral- und fresnelförmigen Höhenprofils $z_{SF}(r, phi)$ auf das Höhenprofil z_{Basis} einer berechnete Basisfläche (3) erzeugt wird, wobei eine spiralförmige additive Höhe ($z_{Spirale}$) eine Funktion des Radius (r) und des Azimutwinkels der Apertur (phi) ist und sich die spiralförmige additive Höhe ($z_{Spirale}$) sich zwischen dem Wert Null und einem Maximalwert ändert, weiterhin der strukturförmige Brechkraftanteil $F_{Struktur}$ durch ein fresnelförmiges Höhenprofil $z_{Fresnel}$ erzeugt wird und weiterhin die Höhenprofile zu dem spiral- und fresnelförmigen Höhenprofil (z_{SF}) addiert werden

$z_{SF}(r, phi) = z_{Fresnel} + z_{Spirale\ max}(r, phi) * w(phi)$ und die Linse mit dem Parameter (R_3) für die erste optische Fläche (2) und mit der zweiten optischen Fläche (4) gefertigt wird, wobei das Höhenprofil der zweiten optischen Fläche (4) sich aus $z_{Ges}(r, phi) = z_{Basis} + z_{SF}$ ergibt und wobei z_{Basis} das Höhenprofil der errechneten Basisfläche (3) mit dem Radius (R_4) ist.

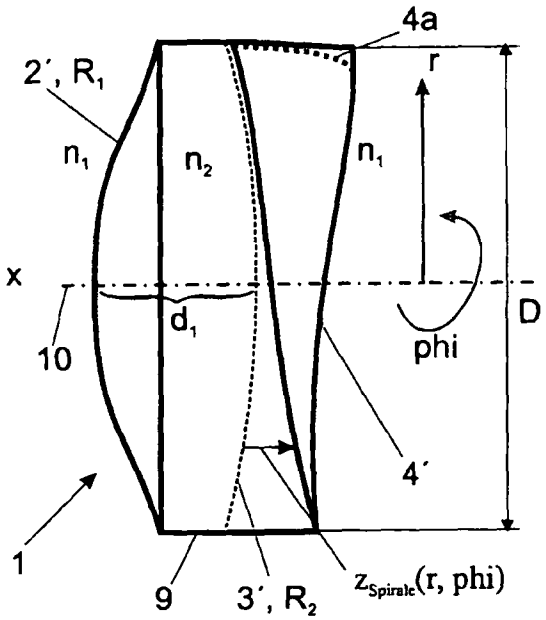
15. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem sich die Gesamtbrechkraft F_{Ges} der Linse sich ergibt aus $F_{Ges} = F_{Basis} + F_{SS}$, wobei

die spiral- und strukturförmige Brechkraftverteilung F_{SS} durch die Wirkung einer spiral- und strukturförmigen Phasenfunktion $Phase_{SS}(r, phi)$ erzeugt wird, welche auf die gefertigte zweite optische Fläche (4) aufgebracht ist , wobei die gefertigte zweite optische Fläche (4) der berechneten Basisfläche (3) mit dem Radius (R_4) entspricht und die spiral- und strukturförmige Phasenfunktion bestimmt ist durch $Phase_{SS}(r, phi) = Phase_{Struktur} + Phase_{Spirale}(r, phi)$, wobei die spiralförmige Phasenfunktion $Phase_{Spirale}$ eine Funktion des Radius (r) und des Azimutwinkels der Apertur (phi) ist, und sich die spiralförmige Brechungswirkung zwischen dem Wert Null und einem Maximalwert ändert.

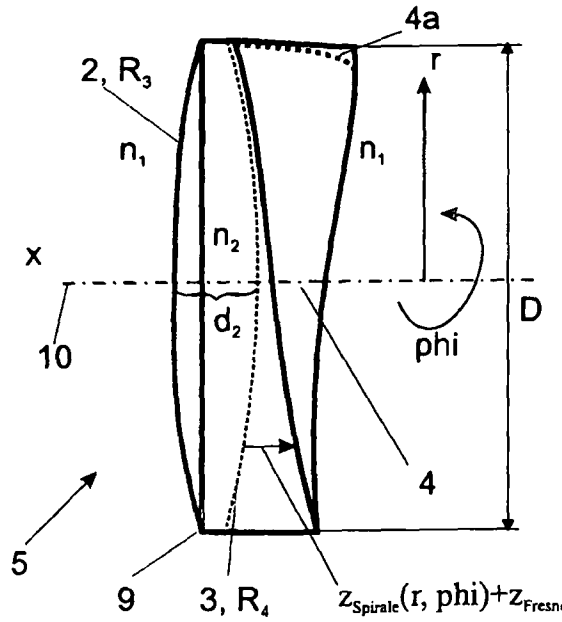
16. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem die spiral- und strukturförmige Brechkraftverteilung F_{SS} durch einen spiral- und strukturförmigen Brechungsindexverlauf Δn_{SS} im Material der Linse hergestellt wird und der spiral- und strukturförmige Brechungsindexverlauf Δn_{SS} sich aus der Addition eines spiralförmigen Brechungsindexverlaufes $\Delta n_{Spirale}(r, phi)$ und eines strukturförmigen Brechungsindexverlaufes $\Delta n_{Struktur}$ ergibt, und die spiralförmige Brechkraftverteilung $n_{Spirale}$ sich zwischen dem Grundwert und dem Maximalwert ändert.

17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche von 13 bis 16 bei dem eine spiral- und strukturförmige Brechkraftverteilung F_{SS} an und/oder in eine Augenlinse, eine phake Intraokularlinse oder eine aphake Intraokularlinse aufgeprägt und/oder eingeprägt wird.

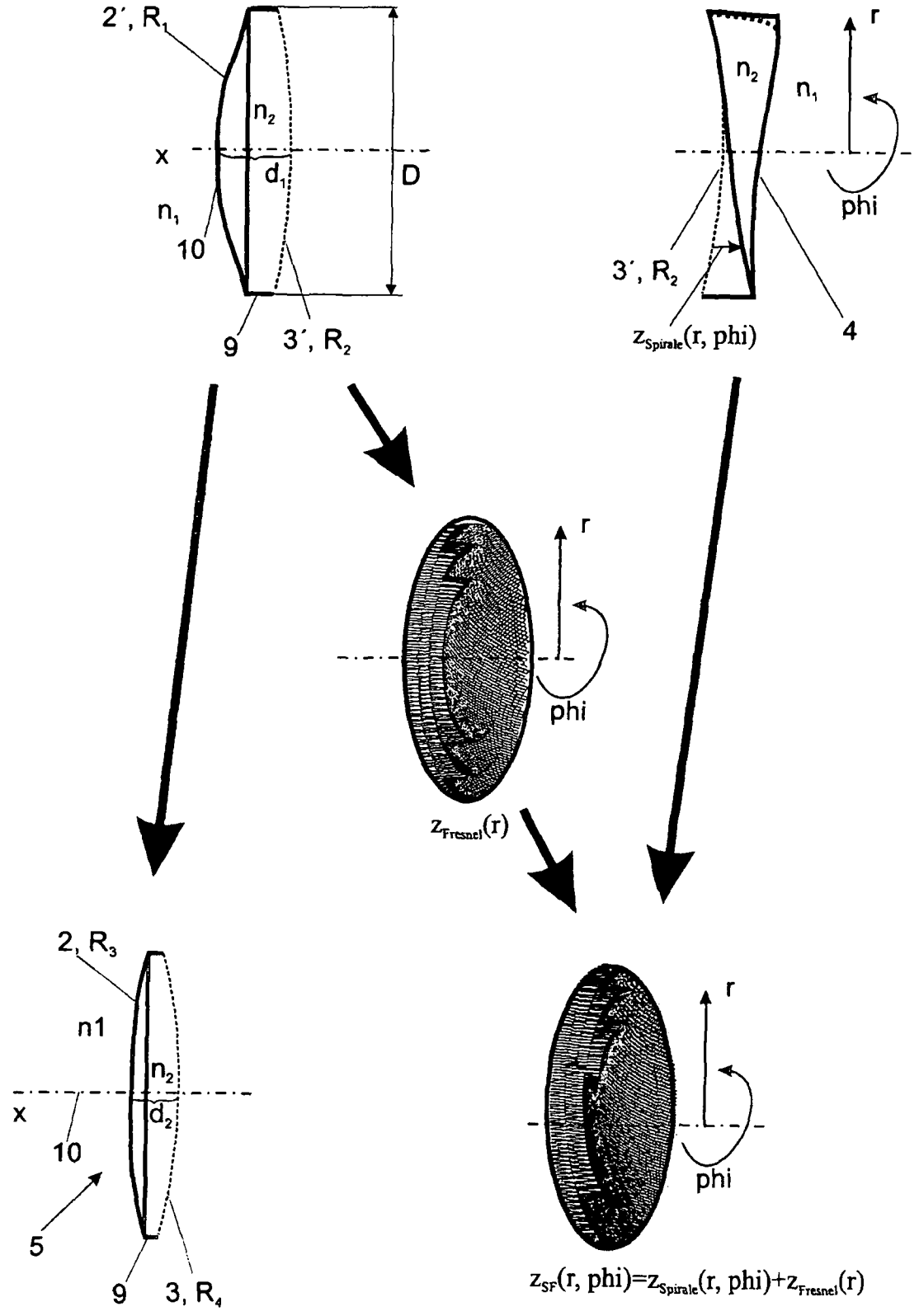
18. Objektiv mit einem erweiterten Fokusbereich, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Strahlengang des Objektivs eine Linse (1) mit einem erweiterten Fokusbereich gemäß der Merkmale in einem oder in mehreren der Ansprüche von 1 bis 12 als abbildendes Element angeordnet ist.



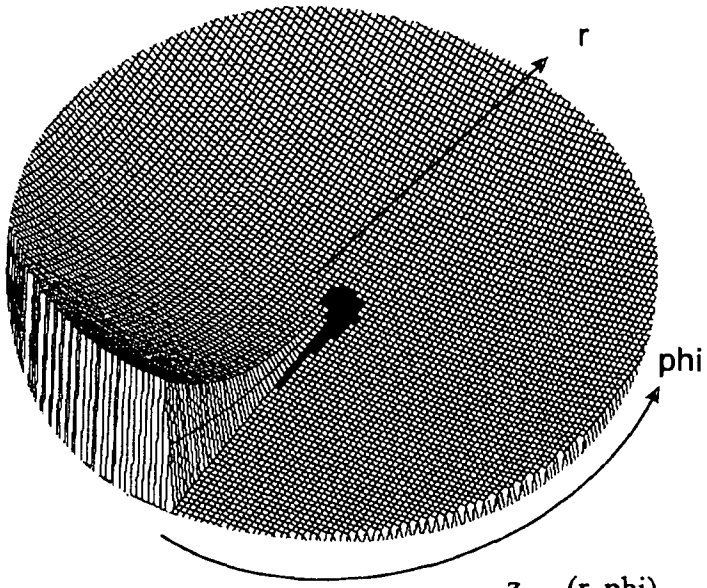
Figur 1



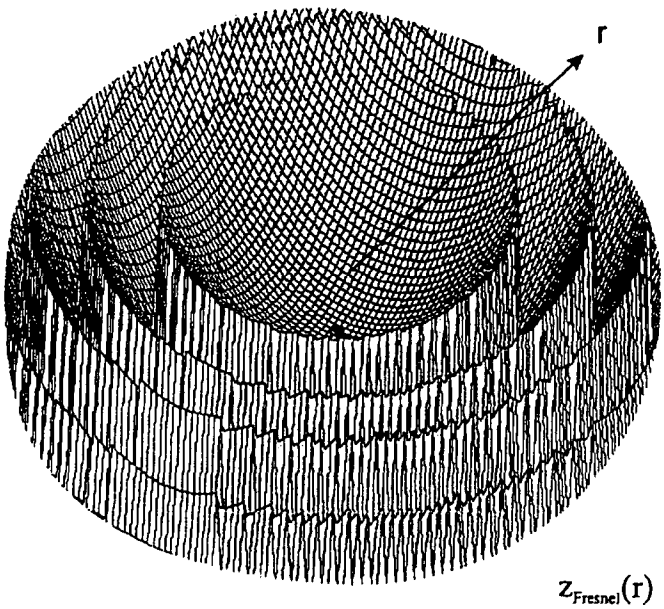
Figur 2


2', R1
n2
x
d1
D
n1
10
9
3', R2
r
n2
n1
phi
3', R2
zSpirale(r, phi)
4
r
phi
zFresnel(r)
2, R3
n1
n2
x
d2
10
5
9
3, R4
r
phi
zSF(r, phi)=zSpirale(r, phi)+zFresnel(r)

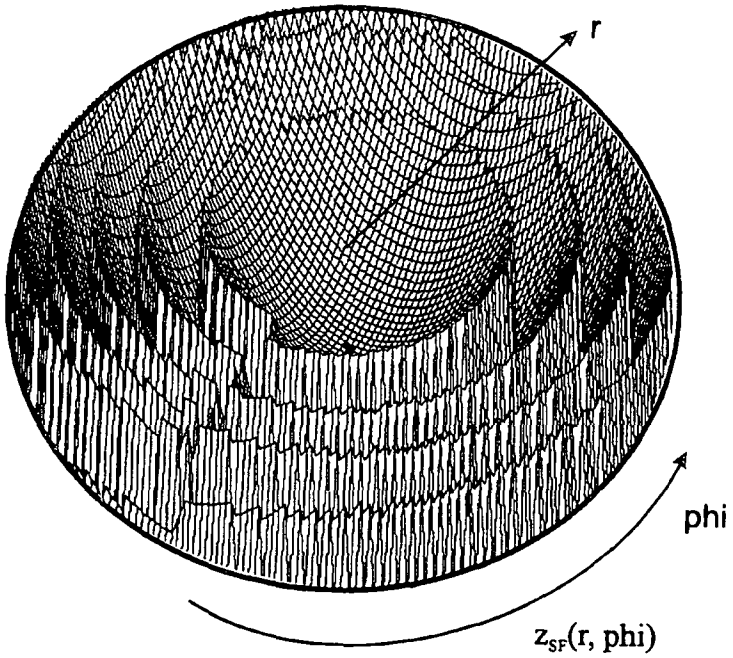
Figur 3



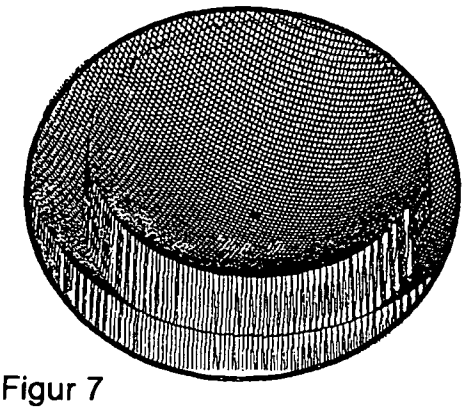
Figur 4



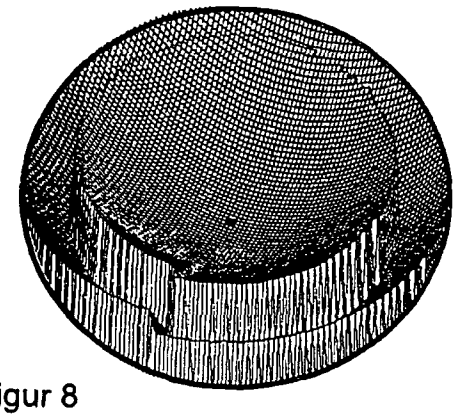
Figur 5



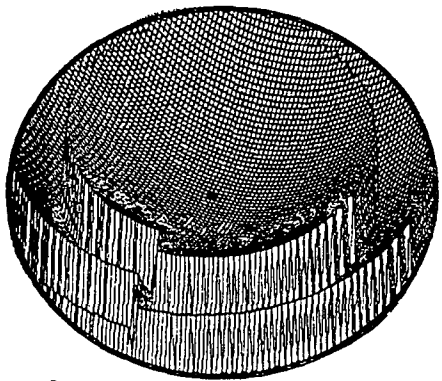
Figur 6



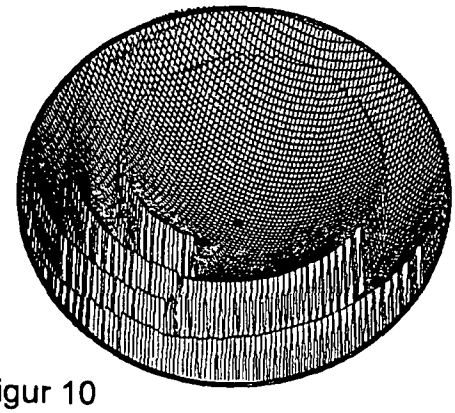
Figur 7



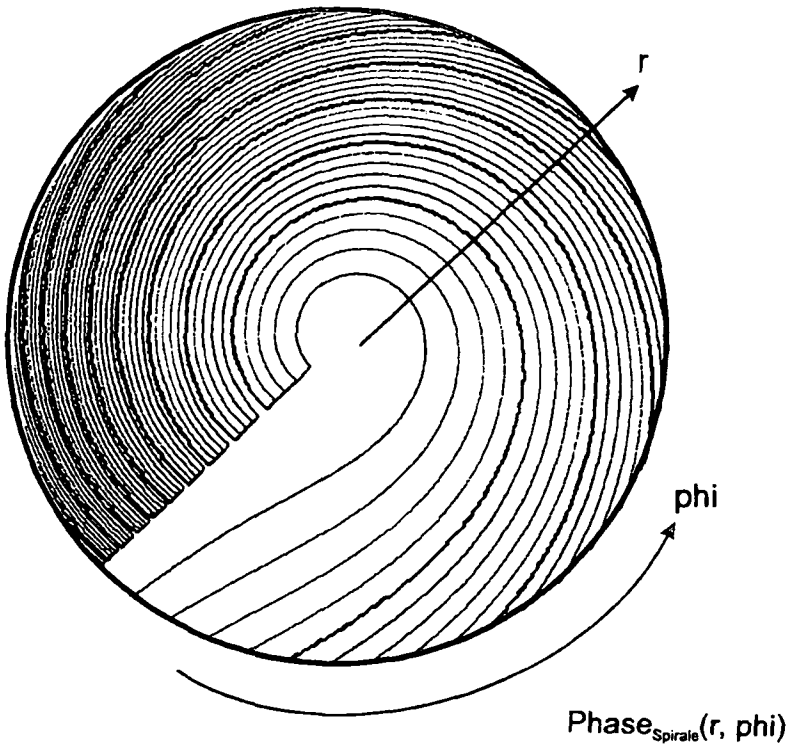
Figur 8



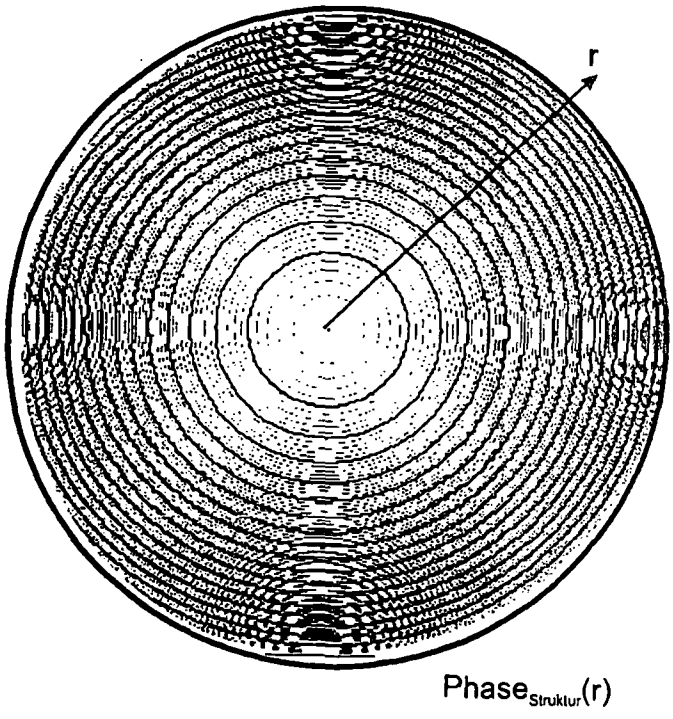
Figur 9



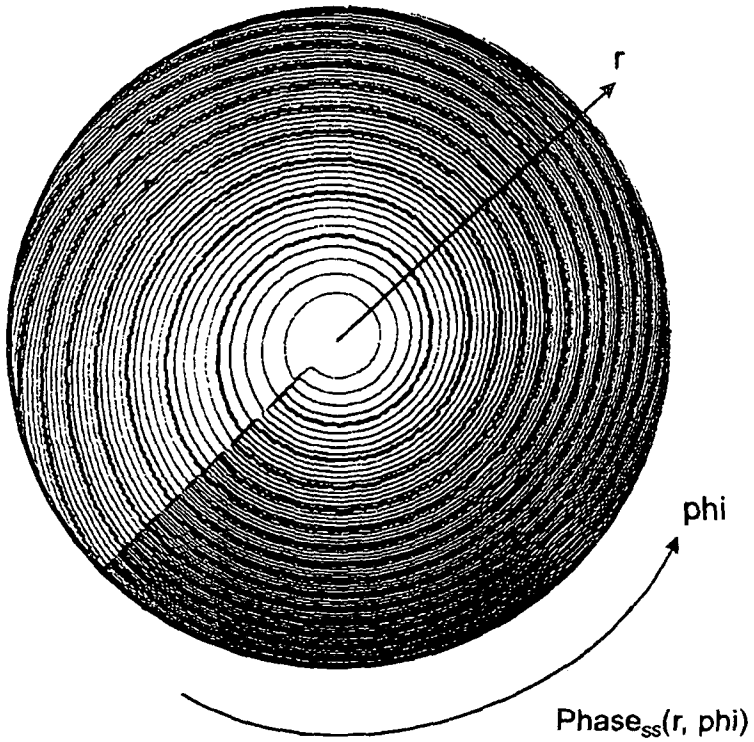
Figur 10



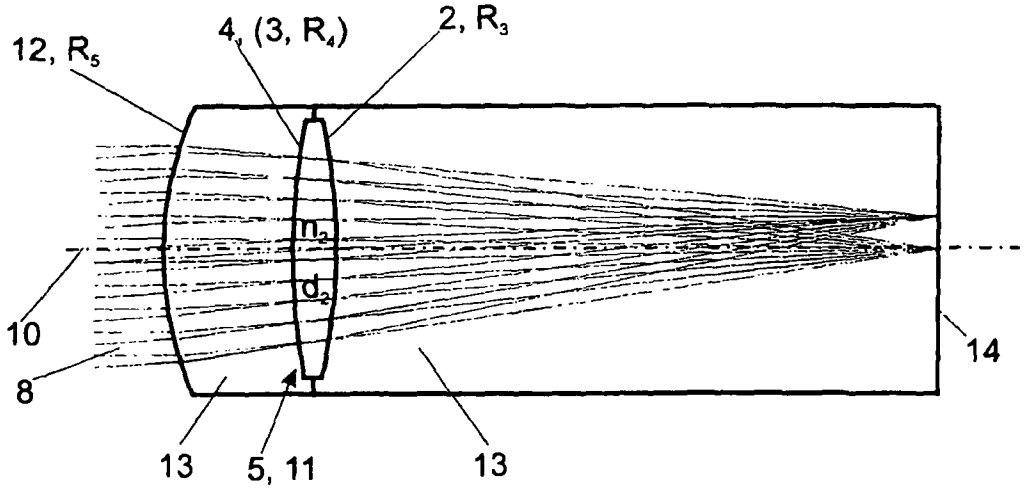
Figur 11



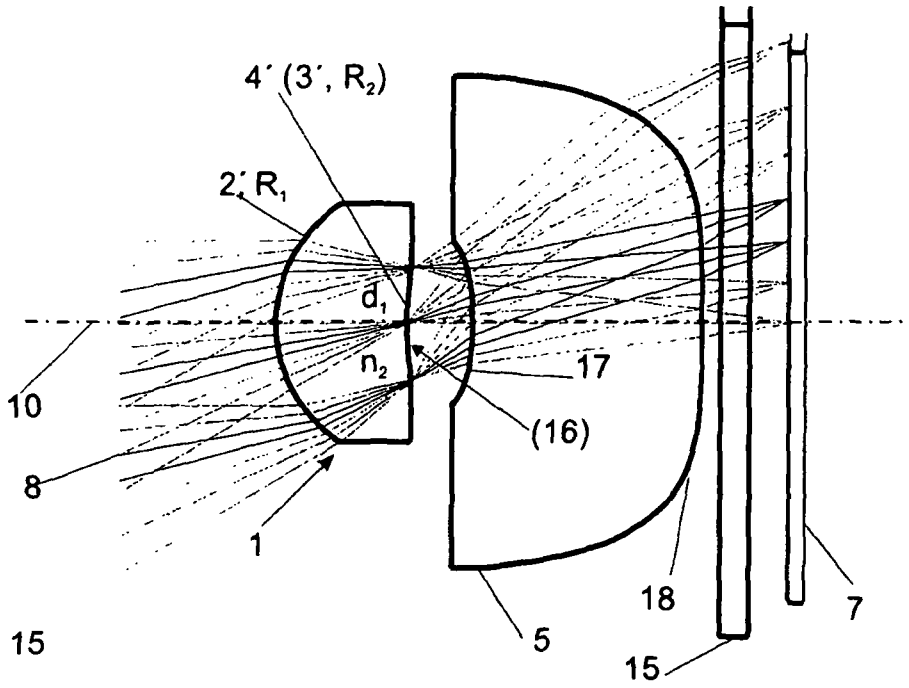
Figur 12



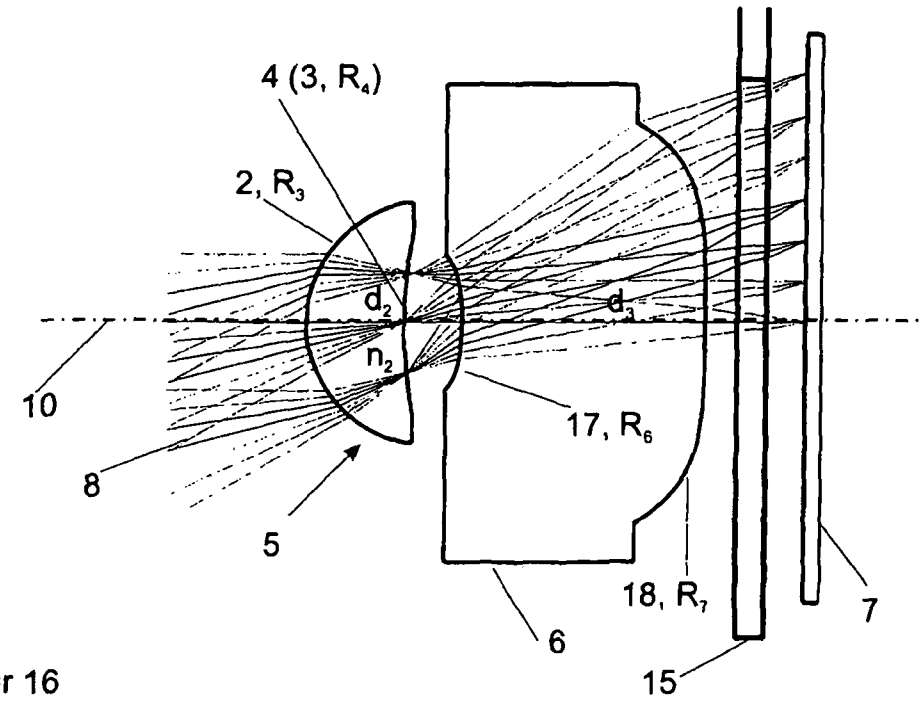
Figur 13



Figur 14



Figur 15



Figur 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/004026

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G02B27/00 G02C7/06 A61F2/16 G02B5/18
ADD.

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 G02C A61F

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 practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	EP 0 622 653 A1 (CIBA GEIGY AG [CH]) 2 November 1994 (1994-11-02) the whole document ----- GB 2 370 653 A (AGILENT TECHNOLOGIES INC [US]) 3 July 2002 (2002-07-03) the whole document ----- WO 2008/087486 A2 (TESSERA TECHNOLOGIES HUNGARY K [HU]; SHABTAY GAL [IL]; GOLDENBERG EFRA) 24 July 2008 (2008-07-24) abstract; figures paragraph [0036] - paragraph [0045] ----- -/--	1-3,12, 13,17,18 4-11, 14-16 1-3,12, 13,18 4-11, 14-17 1-18

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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 application or patent 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	Date of mailing of the international search report
20 December 2012	07/01/2013

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Windecker, Robert

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/004026

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2009/012789 A1 (UNIV INNSBRUCK [AT]; BERNET STEFAN [AT]; RITSCH-MARTE MONIKA [AT]) 29 January 2009 (2009-01-29) abstract; figures -----	1-18
A	US 6 330 118 B1 (DASCHNER WALTER [US] ET AL) 11 December 2001 (2001-12-11) abstract; figures -----	1-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2012/004026

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. [X] Claims Nos.: **17 (in part)**
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

Claim 17 includes imparting a structure to an eye lens and therefore represents a therapeutic method.

2. [ ] Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. [ ] Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. [ ] As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. [ ] As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. [ ] As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. [ ] No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

[ ] The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

[ ] The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

[ ] No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2012/004026

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0622653 A1	02-11-1994	AT 160885 T	15-12-1997
		AU 682337 B2	02-10-1997
		CA 2121973 A1	27-10-1994
		DE 69407087 D1	15-01-1998
		DE 69407087 T2	14-05-1998
		DK 0622653 T3	10-08-1998
		EP 0622653 A1	02-11-1994
		ES 2109645 T3	16-01-1998
		FI 941888 A	27-10-1994
		GR 3025766 T3	31-03-1998
		HK 1002540 A1	28-08-1998
		IL 109375 A	10-03-1998
		JP 6324292 A	25-11-1994
		NO 941501 A	27-10-1994
		NZ 260378 A	22-08-1997
		US 5408281 A	18-04-1995
		ZA 9402807 A	27-10-1994
GB 2370653 A	03-07-2002	DE 10161329 A1	04-07-2002
		GB 2370653 A	03-07-2002
		JP 3793718 B2	05-07-2006
		JP 2002277695 A	25-09-2002
		KR 20020048301 A	22-06-2002
		US 2004008414 A1	15-01-2004
		US 2004201893 A1	14-10-2004
WO 2008087486 A2	24-07-2008	EP 2104877 A2	30-09-2009
		US 2009122150 A1	14-05-2009
		WO 2008087486 A2	24-07-2008
WO 2009012789 A1	29-01-2009	EP 2174168 A1	14-04-2010
		JP 2010533895 A	28-10-2010
		US 2010134869 A1	03-06-2010
		WO 2009012789 A1	29-01-2009
US 6330118 B1	11-12-2001	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/004026

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G02B27/00 G02C7/06 A61F2/16 G02B5/18
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G02B G02C A61F

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	EP 0 622 653 A1 (CIBA GEIGY AG [CH]) 2. November 1994 (1994-11-02) das ganze Dokument ----- GB 2 370 653 A (AGILENT TECHNOLOGIES INC [US]) 3. Juli 2002 (2002-07-03) das ganze Dokument ----- WO 2008/087486 A2 (TESSERA TECHNOLOGIES HUNGARY K [HU]; SHABTAY GAL [IL]; GOLDENBERG EFRA) 24. Juli 2008 (2008-07-24) Zusammenfassung; Abbildungen Absatz [0036] - Absatz [0045] ----- -/--	1-3,12, 13,17,18 4-11, 14-16 1-3,12, 13,18 4-11, 14-17 1-18

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"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)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden 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
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
20. Dezember 2012	07/01/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Windecker, Robert

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/004026

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2009/012789 A1 (UNIV INNSBRUCK [AT]; BERNET STEFAN [AT]; RITSCH-MARTE MONIKA [AT]) 29. Januar 2009 (2009-01-29) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1-18
A	US 6 330 118 B1 (DASCHNER WALTER [US] ET AL) 11. Dezember 2001 (2001-12-11) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1-18

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/004026

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. [X] Ansprüche Nr. 17(teilweise)
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

Anspruch 17 beinhaltet das Einprägen einer Struktur in eine Augenlinse und stellt damit eine therapeutische Methode dar.

2. [ ] Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. [ ] Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

1. [ ] Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. [ ] Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchengebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. [ ] Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.

4. [ ] Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

[ ] Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchengebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.

[ ] Die zusätzlichen Recherchengebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.

[ ] Die Zahlung der zusätzlichen Recherchengebühren erfolgte ohne Widerspruch.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/004026

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0622653 A1	02-11-1994	AT 160885 T	15-12-1997
		AU 682337 B2	02-10-1997
		CA 2121973 A1	27-10-1994
		DE 69407087 D1	15-01-1998
		DE 69407087 T2	14-05-1998
		DK 0622653 T3	10-08-1998
		EP 0622653 A1	02-11-1994
		ES 2109645 T3	16-01-1998
		FI 941888 A	27-10-1994
		GR 3025766 T3	31-03-1998
		HK 1002540 A1	28-08-1998
		IL 109375 A	10-03-1998
		JP 6324292 A	25-11-1994
		NO 941501 A	27-10-1994
		NZ 260378 A	22-08-1997
		US 5408281 A	18-04-1995
		ZA 9402807 A	27-10-1994
GB 2370653 A	03-07-2002	DE 10161329 A1	04-07-2002
		GB 2370653 A	03-07-2002
		JP 3793718 B2	05-07-2006
		JP 2002277695 A	25-09-2002
		KR 20020048301 A	22-06-2002
		US 2004008414 A1	15-01-2004
		US 2004201893 A1	14-10-2004
WO 2008087486 A2	24-07-2008	EP 2104877 A2	30-09-2009
		US 2009122150 A1	14-05-2009
		WO 2008087486 A2	24-07-2008
WO 2009012789 A1	29-01-2009	EP 2174168 A1	14-04-2010
		JP 2010533895 A	28-10-2010
		US 2010134869 A1	03-06-2010
		WO 2009012789 A1	29-01-2009
US 6330118 B1	11-12-2001	KEINE	