



(10) **DE 20 2010 010 365 U1** 2011.04.07

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2010 010 365.7**

(22) Anmeldetag: **17.02.2010**

(67) aus Patentanmeldung: **EP 10 15 3882.5**

(47) Eintragungstag: **03.03.2011**

(43) Bekanntmachungstag im Patentblatt: **07.04.2011**

(51) Int Cl.⁸: **A61F 2/16 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

153044P	17.02.2009	US
2002540	17.02.2009	NL

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:

**KNH Patentanwälte Kahlhöfer Neumann Rößler
Heine, 40210 Düsseldorf**

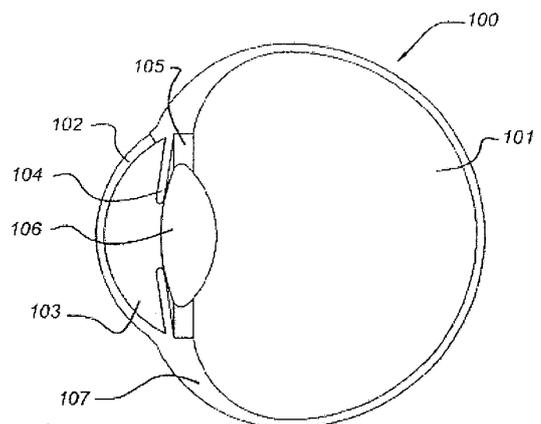
(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:

Oculentis b.v., Eerbeek, NL

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Ophthalmische Linse mit optischen Sektoren**

(57) Hauptanspruch: Intraokularlinse (IOL) (1) mit einer Linse (3) mit einem Hauptlinsenteil (4) mit einer Oberfläche, einem vertieften Teil (7, 8) mit einer Oberfläche, die in Bezug auf die Oberfläche des Hauptlinsenteils (4) vertieft ist, einem optischen Zentrum und einer optischen Achse (R) durch das optische Zentrum, wobei der Hauptlinsenteil (4) mindestens eine Grenze zum vertieften Teil aufweist, der Hauptlinsenteil (4) eine Brechkraft zwischen etwa -20 und etwa +35 Dioptrien aufweist, der vertiefte Teil (7, 8) in einem Abstand von weniger als 2 mm vom optischen Zentrum angeordnet ist und einen Nahtteil mit einer relativen Dioptrie von etwa +1,0 bis etwa +5,0 in Bezug auf die Brechkraft des Hauptlinsenteils (4) aufweist, die Grenze oder die Grenzen des vertieften Linsenteils zum Hauptlinsenteil einen Angleichungsteil oder Angleichungsteile (10, 11) bilden, die so geformt sind, dass sie das Licht von der optischen Achse weg brechen, wobei die IOL (1) ferner einen zentralen Teil (6) aufweist,...



Beschreibung

Hintergrund

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine ophthalmische Linse mit einem Hauptlinsenteil und einem vertieften Teil.

[0002] Ein spezieller Typ von ophthalmischen Linsen dieses Typs ist eine multifokale Intraokularlinse (MIOL). Sie weist gewöhnlich einen Linsenteil mit einem Zentrum auf, wobei der Linsenteil am Umfang mit Stützteilen (Haptiken) versehen ist. Linsen dieses Typs sind im Allgemeinen im Stand der Technik bekannt. Diese werden für den Ersatz der Augenlinse nach Kataraktoperationen verwendet, beispielsweise werden viele Versuche unternommen, um eine MIOL mit konzentrischen ringförmigen optischen Zonen für den Leseabstand und/oder die Zwischensicht zu versehen. Bei einer "Simultansicht-Multifokallinse" ist die Beziehung zwischen der Fernzone und der Nahzone ziemlich kritisch. Damit dieser Typ von Linse korrekt funktioniert, muss er ungefähr gleiche Mengen an Licht in das Auge durch sowohl die Nahzone als auch die Fernzone einlassen. Dies ist erforderlich, so dass die Sicht nicht in Richtung einer Sehkorrektur beeinflusst wird. Aufgrund der großen Variation der Lichtpegel im täglichen Leben, die dementsprechend den Durchmesser der Pupille ändern, muss offensichtlich ein Kompromiss erreicht werden, wenn die Größe jeder Zone ausgewählt wird. Dieses Problem, das auch als "Pupillenabhängigkeit" bezeichnet wird, wird weiter verkompliziert, da die Differenz der Pupillengröße von Patient zu Patient beträchtlich variiert. Beispiele dieser Typen von Linsen sind in den US-Patenten Nrn. 4 636 049; 4 418 991; 4 210 391; 4 162 172; und 3 726 587 und in der Patentanmeldung US 2006/0212117, EP 0590025 B1, US 6126286 zu sehen. Ein weiteres Problem dieser ringförmigen konzentrisch konstruierten MIOL sind die Doppelbilder und Unschärfe aufgrund des zur Makula gerichteten Lichts an den ringförmigen Zonenübergängen. Ein weiterer großer Nachteil der derzeitigen MIOL ist der Verlust der Kontrastempfindlichkeit. Die Kontrastempfindlichkeit bestimmt den niedrigsten Kontrastpegel, der durch einen Patienten für ein Ziel mit gegebener Größe detektiert werden kann. Normalerweise wird ein Bereich von Zielgrößen verwendet. In dieser Weise ist die Kontrastempfindlichkeit ungleich der Schärfe. Die Kontrastempfindlichkeit misst zwei Variablen, die Größe und den Kontrast, während die Schärfe nur die Größe misst. Die Kontrastempfindlichkeit ist sehr ähnlich zur Gehörprüfung, die die Fähigkeit eines Patienten bestimmt, den niedrigsten Lautstärkepegel von verschiedenen Schallfrequenzen zu detektieren. Der Patient wird gebeten, eine Taste herabzudrücken, wenn der Ton mit Mühe und Not hörbar ist, und die Taste loszulassen, wenn der Ton nicht mehr gehört werden kann. Diese Prozedur wird verwendet, um die Gehörempfindlichkeit auf einen Bereich von Schallfrequenzen zu testen. Wenn die Gehörprüfung in einer ähnlichen Weise wie die Sehschärfe ausgewertet werden würde, würden alle Schallfrequenzen mit einem hohen Lautstärkepegel getestet werden.

[0003] Durch eine weitere Ausführungsform von Simultansicht-Multifokallinsen wird behauptet, dass das Problem der Pupillenabhängigkeit der Simultansicht-Multifokalleistung vermindert ist, welche unter den Prinzipien von Beugung arbeitet. Beispiele dieser Typen von Linsen sind in den US-Patenten Nrn. 4 641 934 und 4 642 112 dargestellt. Aufgrund der Art der Beugungsoptik gehen mindestens 20% des eingehenden Lichts verloren und die Patienten leiden unter Halos und Blendung.

[0004] Um diese Pupillenunabhängigkeit zu lösen, wurden mehrere Versuche unternommen, wie z. B. in US 4 923 296 offenbart, die eine Linse beschreibt, die in eine Reihe von im Wesentlichen diskreten Nah- und Fernsichtzonen unterteilt ist. Aus dieser Offenbarung ist nicht klar, wie diese Sehzonene hergestellt und/oder miteinander verbunden werden könnten. WO 92/06400 beschreibt eine asphärische ophthalmische Linse. Die Oberflächenzonen sind dreidimensional definiert, wobei sie eine übergangslose, kontinuierliche und glatte Oberfläche in Verbindung miteinander bilden. Für einen Fachmann auf dem Gebiet ist klar, dass eine solche Linse unter einer großen Verringerung der optischen Qualität leidet. US 4921496 beschreibt eine rotationssymmetrische, radial segmentierte IOL. Diese IOL weist keine Übergänge an der Oberfläche auf, da die Materialien für jedes Segment verschiedene Brechungsindizes aufweisen sollten, um die verschiedenen Brechkräfte zu erzeugen.

[0005] Eine weitere Linse mit einem Fernteil und einem Nahteil ist in EP 0858613 (B1) und US 6409339 (B1) von Procornea Holding B. V. vom vorliegenden Erfinder beschrieben, die durch den Hinweis aufgenommen werden, als ob sie vollständig dargelegt wären. Diese Dokumente offenbaren Kontaktlinsen, beziehen sich jedoch auch auf IOLs. Eine Linse dieses Typs unterscheidet sich von anderen Linsen darin, dass der Leseteil innerhalb der (imaginären) Grenze des Fernteils liegt. Das heißt, der Leseteil liegt auf oder innerhalb des imaginären Radius der äußeren Grenze des Fernteils (R_v). Wenn ein Leseteil verwendet wird, ist dieser vorzugsweise als Sektor hergestellt, der sich vom Zentrum der Linse erstreckt. Es hat sich erwiesen, dass diese Linse viele Möglichkeiten hat. Es besteht jedoch Raum für eine weitere Verbesserung.

[0006] Nach umfangreicher klinischer Prüfung wurde festgestellt, dass für eine MIOL, wie sie in US 6409339 (B1) offenbart ist, das Übergangsprofil, das verwendet wird, um die Stufenhöhe zwischen den Sektorgrenzen zu überbrücken, nicht optimal ist. Dies führt zu einer Verringerung des verwendbaren optischen Bereichs und einem signifikanten Verlust an Lichtenergie und Kontrastempfindlichkeit. Die optische Konfiguration, wie hierin offenbart, stellt ein individuelles bifokales Bild bereit, wohingegen ein multifokales Bild erforderlich ist, um Halos bei großer Pupillengröße zu verringern und gleichzeitig eine klare Sicht mit hohem Kontrast in naher und mittlerer Entfernung zu haben. EP 0858613 (B1) und US 6409339 (B1) offenbart insbesondere, dass die Übergänge glatt sein sollten und eine S-förmige oder Sinsuformkurve aufweisen sollten, um die Stufenhöhendifferenz zwischen beiden optischen Teilen zu überbrücken. US 6871953, Mandell, veröffentlicht im September 2003, offenbart überraschend dieselbe Verwendung von S-förmigen Kurventypen, um die Stufenhöhe zu überbrücken, was zu exakt derselben Linsenkonfiguration führt, wie in EP 0858613 (B1) beschrieben. Der Zweck der S-förmigen Kurven in beiden Anmeldungen, wenn sie sich auf Kontaktlinsen beziehen, besteht darin, die Übergänge zwischen den optischen Teilen so glatt wie möglich zu machen, um die Reibung des Augenlides zu verringern. Ein Nachteil der darin beschriebenen breiten Übergänge besteht darin, dass dies auch einen hohen Verlust der Lichtenergie erzeugt, und festgestellt wurde, dass es die Kontrastempfindlichkeit verringert. US 6871953 offenbart, die Übergänge breiter zu machen, um noch glattere Übergänge zu erzeugen. Aufgrund des abwechselnden Prinzips einer Kontaktlinse bewegt sich die Kontaktlinse heutzutage auf dem Auge nach oben, wenn die Blickrichtung ein Abwärtsblick ist. Der Verlust von Licht an den Übergängen unter diesen abwechselnden Bedingungen für Kontaktlinsen ist nicht bestimmt. Das Entgegengesetzte gilt jedoch für eine MIOL. Eine solche Linse ist im Auge fest. Die optisch verwendbare Fläche der Halbmeridiansektoren wird verringert, was dazu führt, dass weniger Lichtenergie zur Makula gerichtet wird. Dies führt zu einer schlechten optischen Leistung entweder für Fern- oder Nahsicht. Ferner wurde festgestellt, dass aufgrund der Tatsache, dass die Pupillengröße unter verschiedenen Lichtbedingungen variiert, ungewollte Haloefekte bei großer Pupillengröße auftreten können. Daher wäre es günstig, ein apodisiertes Brechkraftprofil im Leseteil zu haben, um dieses Phänomen zu verringern und zugleich Multifokalität einzuführen.

[0007] US-7.004.585 offenbart eine multifokale Kontaktlinse mit einer gemischten Konstruktion für eine segmentierte optische Zone. Die Kontaktlinse sollte sich leicht auf dem Auge bewegen, um die untere Lesezone verfügbar zu machen. Ferner sollte eine Übergangs- oder Angleichungszone so konstruiert sein, dass sie Unschärfe und Doppelbilder vermeidet. Dazu sollte die Angleichungszone einen glatten Übergang aufweisen, um den Komfort des Trägers zu verbessern. Ferner sollte die Angleichungszone eine Krümmungsgröße aufweisen, um das Licht vom Makulabereich des Auges weg zu brechen. Die verschiedenen optischen Zonen sollten einander so wenig wie möglich beeinflussen. In diesem Dokument scheint der Patentinhaber dieses Problem erkannt zu haben. Die Lösung der Herstellung der Angleichungszone so glatt wie möglich und des Vorsehens einer Lesezone in einer speziellen Weise scheint jedoch komplex. Die Konstruktion der ophthalmischen Linse kann jedoch weiter verbessert werden. Insbesondere für IOL-Vorrichtungen besteht Raum für eine weitere Verbesserung.

[0008] In US-7.237.894 wurde eine ophthalmische Linse mit einem radialen Zentrum unterhalb des Zentrums der optischen Zone konstruiert. In dieser Weise ist es jedoch schwierig, eine Bildverschiebung zu vermeiden.

Zusammenfassung der Erfindung

[0009] Zumindest einige der vorstehend dargestellten Nachteile des Standes der Technik werden von der vorliegenden Erfindung beseitigt.

[0010] Dazu schafft die Erfindung eine Intraokularlinse (IOL) mit einer Linse mit einem Hauptlinsenteil mit einer Oberfläche, einem vertieften Teil mit einer Oberfläche, die in Bezug auf die Oberfläche des Hauptlinsenteils vertieft ist, einem optischen Zentrum und einer optischen Achse durch das optische Zentrum, wobei der Hauptlinsenteil mindestens eine Grenze zum vertieften Teil aufweist, der Hauptlinsenteil eine Brechkraft zwischen etwa -20 und etwa $+35$ Dioptrien aufweist, der vertiefte Teil in einem Abstand von weniger als 2 mm vom optischen Zentrum angeordnet ist und einen Nahtteil mit einer relativen Dioptrie von etwa $+1,0$ bis etwa $+5,0$ in Bezug auf die Brechkraft des Hauptlinsenteils aufweist, wobei die Grenze oder die Grenzen des vertieften Linsenteils zum Hauptlinsenteil einen Angleichungsteil oder Angleichungsteile bilden, die so geformt sind, dass sie das Licht von der optischen Achse weg brechen, wobei die IOL ferner einen zentralen Teil aufweist, der eine relative Brechkraft von etwa $-2,0$ bis $+2,0$ Dioptrien in Bezug auf den Hauptlinsenteil aufweist, wobei der zentrale Teil in einen Umkreis mit einem Durchmesser von etwa $0,60-1,20$ mm passt.

[0011] Diese ophthalmische Linse ermöglicht, dass verschiedene optische Teile in eine einzelne Linse in einer solchen Weise integriert werden, dass sie einander so wenig wie möglich beeinflussen. Sie ermöglicht

beispielsweise eine ophthalmische Linse mit einem Leseteil in einer solchen Weise, dass Fernsicht, Zwischensicht und Nahsicht einander wenig oder nicht beeinflussen. Tatsächlich wurde festgestellt, dass wir die Kontrastempfindlichkeit von ophthalmischen Linsen signifikant erhöhen konnten. In der Vergangenheit würde eine Linse so konstruiert werden, dass sie so wenig Störung wie möglich verursacht.

[0012] In einer Ausführungsform weist der Angleichungsteil oder weisen die Angleichungsteile eine Krümmung auf, die zu einem Lichtverlust, innerhalb eines Kreises mit einem Durchmesser von 4 mm um das optische Zentrum, von weniger als etwa 15% führt, wobei der Lichtverlust als Bruchteil der Menge von fokussiertem Licht von der IOL im Vergleich zur Menge an fokussiertem Licht von einer identischen IOL ohne den vertieften Teil definiert ist.

[0013] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wurde festgestellt, dass scharfe Übergänge zugelassen werden können, solange sie bewirken, dass Licht von der optischen Achse weg gebrochen wird. Solange diese scharfen Übergänge bewirken, dass die Linse weniger als 15% des Lichts von der optischen Achse weg bricht, würde dies tatsächlich zu beispielsweise einer IOL führen, die eine verbesserte Kontrastempfindlichkeit und Sicht schafft. Dieser Lichtverlust ist tatsächlich für einen Pupillendurchmesser von 4 mm definiert.

[0014] In dieser Hinsicht ist Licht als Licht im sichtbaren Wellenlängenbereich definiert. Gewöhnlich liegt dieser zwischen etwa 400 und 700 nm.

[0015] Die Menge an fokussiertem Licht ist die Summe von fokussiertem Licht in allen Hauptbrennebenen der IOL. Wenn beispielsweise der zentrale Teil eine relative Dioptrie von 0 aufweist und der vertiefte Teil eine relative Dioptrie in Bezug auf den Hauptlinsenteil aufweist, weist die Linse folglich gewöhnlich zwei Brennebenen auf, eine für den Hauptlinsenteil und eine für den vertieften Teil. Wenn die optische Fläche des vertieften Teils 30% der ganzen Linsenfläche ist und die Fläche des Hauptlinsenteils 70% ist und kein weiterer Verlust besteht, dann stehen 30% des fokussierten Lichts in der Brennebene des vertieften Teils zur Verfügung und 70% des fokussierten Lichts stehen in der Brennebene des Hauptlinsenteils zur Verfügung.

[0016] In einer Ausführungsform weist die Linse mindestens einen vertieften, optischen Halbmeridiansektor auf, der radial und/oder im Winkel in Unterzonen unterteilt ist. Folglich kann er einen inneren Sektor, einen Zwischensektor und einen äußeren Sektor aufweisen, der innerhalb der (imaginären) Grenze des Linsenteils liegt. Der innere Sektor weist eine erste Brechkraft auf, der Zwischensektor, der benachbart zum inneren Sektor liegt, weist eine zweite Brechkraft auf. Der äußere Sektor benachbart zum zweiten Sektor weist eine dritte Brechkraft auf. Die Stufenhöhe zwischen den Grenzen der Halbmeridiansektoren ist mittels eines optimierten Übergangsprofils verbunden, um die zur Makula gerichtete Lichtenergie zu maximieren und Unschärfe und Halos bei größeren Pupillengrößen zu verringern. Die Halbmeridiansektoren der ophthalmischen Linse können ein kontinuierliches Brechkraftprofil aufweisen. Alternativ sind die optischen Unterkreissektoren miteinander kombiniert. Kombinationen davon sind auch möglich. Der (die) unterteilte(n) Sektor(en) schafft (schaffen) eine klare Sicht in Lese- und Zwischenabständen, wohingegen die Fernsicht und die Kontrastempfindlichkeit zu einer monofokalen ophthalmischen Linse vergleichbar bleiben.

[0017] Die vorliegende Erfindung kann auch dazu konfiguriert sein, Linsen zu schaffen, die in Augen mit veränderlichen Hornhautaberrationen (z. B. verschiedenen asphärischen Gestalten), einschließlich sphärischer Aberration, über einen Bereich von Dezentrierung, d. h. Abweichung zwischen der optischen Achse oder dem Zentrum der Linse und der optischen Achse des Auges, gut funktionieren. Dies bedeutet, dass die Positionierung der IOL weniger kritisch wird.

[0018] In einer Ausführungsform können die ophthalmischen Linsen der Erfindung mehr als drei unterteilte Halbmeridian- oder Halbmeridiansektorzonen aufweisen.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann die entgegengesetzte Oberfläche der Linse eine asphärische Oberfläche aufweisen, so dass die restliche sphärische Aberration auf etwa null verringert wird. Beispielsweise wie in EP 1850793, 1857077 oder US 2006279697 beschrieben, jedoch nicht darauf begrenzt, die durch den Hinweis herein aufgenommen werden.

[0020] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann der vertiefte Halbmeridian-Brechungsleseteil Grenzen auf allen Seiten aufweisen und kann sogar eine zusätzliche optische Beugungselementstruktur (DOE-Struktur) aufweisen, wie beispielsweise in EP 0888564 B1 oder EP 1194797 B1 beschrieben, aber nicht darauf begrenzt, die durch den Hinweis herein aufgenommen werden.

[0021] Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und optimierte Krümmungen zu schaffen, um die Steilheit des Übergangspröfils zu optimieren und zu verbessern, um Höhendifferenzen zwischen Teilen der Linse zu überbrücken. Diese Angleichungsteile verbessern den Übergang zwischen verschiedenen Teilen. Die Verwendung dieser Angleichungsteile verringert den Verlust der Lichtenergie und maximiert die verwendbare(n) optische(n) Fläche(n) signifikant. Die Stufenhöhendifferenzen an beispielsweise Halbmeridiangrenzen können durch Verfahren unter Verwendung einer Cosinus-Kurve oder S-förmigen Funktion überbrückt werden. In einer Ausführungsform wird jedoch eine optimierte Übergangsfunktion vorgeschlagen. Diese abgeleiteten Übergangsfunktionen, die mit dem Ergebnis der Funktion des optimierten Proföls konsistent sind, sind mit den Ausführungsformen der Erfindung konsistent.

[0022] Die Abmessung und/oder das Brechkraftverhältnis zwischen verschiedenen Teilen, beispielsweise eines unterteilten Halbmeridian-Leseteils und eines Fernteils, können gegenseitig variieren. Wenn zwei Linsen verwendet werden, für beide Augen des Patienten, kann eine Linse für das dominante Auge und die andere Linse für das nicht dominante Auge konfiguriert sein. Das heißt, die Linse für ein Auge weist eine andere Konfiguration für den Leseteil oder den Fernteil auf als die Linse für das andere Auge.

[0023] Es ist auch bekannt, dass eine Funktionsabhängigkeit zwischen der Pupillengröße und der Leuchtdichte besteht. Solche Daten wurden beispielsweise in Glen Myers, Shirin Berez, William Krenz und Lawrence Stark, Am. J. Physiol. Regul. Integr. Corp. Physiol., 258:813–819 (1990) berichtet. Die Pupillengröße ist eine Funktion des gewichteten Mittelwerts der Leuchtdichten (populär Helligkeit genannt) innerhalb des Blickfeldes. Die Pupillengröße wird viel mehr durch den Teil der Retina beeinflusst, der zur zentralen oder beidäugigen Sicht gehört, als durch die äußeren Bereiche der Retina.

[0024] Die folgende Auflistung stellt einige Niveaus der Umfeldhelligkeit und der zugehörigen "typischen" Bedingungen dar

Umfeldhelligkeit (cd/m ²)	Bedingung
30	Gedämpfte Innenbeleuchtung
60	Weniger als typisches Bürolicht; manchmal für Nur-Anzeige-Arbeitsplätze empfohlen
120	Typisches Büro
240	Helles Innenbüro
480	Sehr hell; Präzisionsinnenaufgaben
960	Gewöhnlich draußen
1920	Heller Nachmittag

[0025] Eine maßgefertigte vertiefte Halbmeridianlinse könnte unter Verwendung bestimmter Umfeldhelligkeitsbedingungen konstruiert werden, um den optimalen zentralen Teil und/oder Leseteil in Bezug auf den spezifischen Pupillendurchmesser zu berechnen.

[0026] Abgesehen vom Korrekturfernsektor und vorstehend beschriebenen unterteilten Halbmeridiannahsektor können weitere Korrekturen in den Linsensektoren vorgenommen werden, um spezielle optische Anomalitäten zu optimieren oder zu korrigieren. Selbstverständlich kann eine weitere Struktur, die es möglich macht, alle Arten von optischen Anomalitäten zu korrigieren, wie z. B. Astigmatismus und sphärische Aberration, jedoch nicht darauf begrenzt, an der vorderen oder hinteren Seite der vorliegenden Linse angeordnet werden.

[0027] Der vertiefte Teil, der beispielsweise als Halbmeridian-Lesesektor ausgebildet ist, wird im Auge in einer Ausführungsform am unteren Teil oder an der Unterseite (unten) der Linse angeordnet, da dies der natürlichen Neigung von Leuten entspricht, wenn sie beim Lesen nach unten blicken. Die Positionierung des Halbmeridian-Lesesektors im Auge ist jedoch nicht entscheidend und kann oben, unten, nasal oder zur Schläfe hin angeordnet werden. Fern- und Nahsektoren können sogar in einer entgegengesetzten Anordnung für die zwei Augen einer Person angeordnet werden.

[0028] Die hierin beschriebene ophthalmische Linse oder Form kann in einer beliebigen Weise hergestellt werden, die auf dem Fachgebiet bekannt ist. Für eine Intraokularlinse ist es beispielsweise außerdem möglich, den Linsenteil und die Haptik separat herzustellen und sie später miteinander zu verbinden. Es ist jedoch auch möglich, sie als eine Einheit herzustellen. Gemäß einer Ausführungsform werden diese Teile durch (Spritzgie-

ßen) Formen als eine Einheit hergestellt. Eine anschließende Bearbeitung zur Herstellung der zweckmäßigen Linsenteile kann Drehen sein. Wie in US 6409339 B1 beschrieben, kann während eines solchen Drehvorgangs ein Werkzeugmeißel bei jeder Umdrehung in der zur Drehachse parallelen Richtung zur Linse hin und von dieser weg bewegt werden. Dies macht es möglich, den Linsenteil durch Drehen herzustellen. Gemäß einer Ausführungsform ist es auch möglich, das Drehen so fein durchzuführen, dass auf einen anschließenden Poliervorgang verzichtet werden kann. Das Material der Linse kann ein beliebiges gewünschtes Material sein.

[0029] Die neue optische Konfiguration der ophthalmischen Linse kann beispielsweise auch für Kontaktlinsen und für pseudophakische Intraokularlinsenpatienten als so genannte "Zusatzlinse" verwendet werden. Dies ist eine extra oder zusätzliche Linse, die vor einer existierenden natürlichen Linse oder vor einer künstlichen Intraokularlinse angeordnet werden kann, um Brechungsfehler zu korrigieren und/oder Lesefähigkeiten wiederherzustellen. Die Zusatzlinse könnte im Sack, im Sulcus, als Hornhauteinlage oder als Linse der vorderen Kammer angeordnet werden.

[0030] Mit einer modernen Linsenbrechkraft-Abbildungsvorrichtung, wie z. B. dem Hartmann-Shack-System mit hoher Auflösung "SHSInspect Ophthalmic", das von Optocraft Germany kommerziell erhältlich ist, ist es möglich, die lokalen Brechkräfte und einen breiten Bereich von relevanten Oberflächenvariationen zu bestimmen. Solche Messungen können daher eine gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellte Linse sehr leicht identifizieren.

[0031] In einer Ausführungsform führt die Krümmung zu einem Lichtverlust innerhalb eines Kreises mit einem Durchmesser von 4 mm um das optischen Zentrum von zwischen etwa 2% und etwa 15%. Tatsächlich erstreckt sich gewöhnlich der vertiefte Teil weniger als 4 mm in der radialen Richtung. In den Berechnungen des Lichtverlusts wird auf die Angleichungsteile Bezug genommen, die von zwei Meridianen eingeschlossen sind oder Positionen innerhalb dieser sind, oder, um genauer zu sein, Halbmeridiane, die vom optischen Zentrum zum Rand einer Linse verlaufen.

[0032] Der tatsächliche Lichtverlust oder besser Intensitätsverlust kann mit einem PMTF-System gemessen werden, das von Lambda-X SA Rue de l'industrie 37 1400 Nivelles, Belgien, kommerziell erhältlich ist. Dieses Instrument kann den Intensitätsverlust messen. Die Prozedur für diese Messung wird nachstehend in der Beschreibung von Ausführungsformen erörtert.

[0033] In einer Ausführungsform weist der Hauptlinsenteil eine Brechkraft zwischen etwa -10 und etwa +30 Dioptrien auf.

[0034] In einer Ausführungsform ist der vertiefte Teil in einem Abstand von weniger als 1,5 mm vom optischen Zentrum angeordnet. In dieser Hinsicht ist der Abstand als nächster radialer Abstand vom optischen Zentrum definiert.

[0035] In einer Ausführungsform weist der Nahteil eine relative Dioptrie von etwa +1,50 Dioptrien bis etwa +4,00 Dioptrien in Bezug auf den Hauptlinsenteil auf. Folglich ermöglicht er die Verwendung beispielsweise als Leseteil. Die Optik des zentralen Teils sowie des Hauptlinsenteils und des vertieften Teils kann ferner so konstruiert sein, dass sie torisch, zylindrisch ist, oder so konstruiert sein, dass sie Aberrationen höherer Ordnung kompensiert. Diese Typen von Linsenkonstruktion sind an sich einem Fachmann bekannt und können außerdem auf die verschiedenen Linsenteile der vorliegenden Erfindung angewendet werden.

[0036] In einer Ausführungsform weist die Halbmeridiangrenze oder weisen die Halbmeridiangrenzen des vertieften Linsenteils zum Hauptlinsenteil eine Krümmung auf, die zu einem Lichtverlust innerhalb eines Kreises mit einem Durchmesser von 4 mm um das optische Zentrum von unterhalb etwa 10% führt. Dieser sehr geringe Lichtverlust, insbesondere in Kombination mit der Brechung von der optischen Achse weg, führt bereits zu einer höheren Kontrastempfindlichkeit und einer guten Lesefähigkeit.

[0037] In einer Ausführungsform weist der Hauptlinsenteil eine Krümmung mit im Wesentlichen einem Krümmungsradius R_v auf und die äußere Grenze der Vertiefung, d. h. ihre Oberfläche, liegt auf oder innerhalb des Krümmungsradius R_v .

[0038] In einer Ausführungsform besitzt die ophthalmische Linse ferner einen zentralen Teil, der eine relative Brechkraft von -2,0 bis +2,0 Dioptrien in Bezug auf den Hauptlinsenteil aufweist. Folglich kann es möglich sein, dass es erforderlich ist, dass ein vertiefter Teil weniger tief ist und folglich die Angleichungsteile weniger Einfluss haben.

[0039] In einer Ausführungsform ist die Größe des zentralen Teils derart, dass er in einen Umkreis mit einem Durchmesser von etwa 0,2–3,0 mm passt. Folglich wurde festgestellt, dass Fernsicht so wenig wie möglich durch den vertieften Teil beeinflusst werden würde. In einer Ausführungsform ist die Größe des zentralen Teils derart, dass er in einen Umkreis mit einem Durchmesser von etwa 0,2–2,0 mm passt. In einer Ausführungsform ist der zentrale Teil im Wesentlichen kreisförmig.

[0040] In einer Ausführungsform der Linse mit einem zentralen Teil besitzt die Linse einen weiteren Angleichungsteil zwischen dem zentralen Teil und dem vertieften Teil. Dieser Angleichungsteil ist gewöhnlich konzentrisch oder fast konzentrisch in Bezug auf die optische Achse. In einer Ausführungsform weist der weitere Angleichungsteil einen glatten Übergang auf. Alternativ weist die Steigung einen Knick auf. In dieser Ausführungsform ist die erste Ableitung der Steigung diskontinuierlich. Folglich weist der Krümmungsradius der Oberfläche einen Knick auf. Ein Vorteil dieser Ausführungsform besteht darin, dass der vertiefte Teil in Bezug auf den Hauptlinsenteil weniger tief ist. Alternativ liegt der weitere Angleichungsteil nahe einer Stufenfunktion, nähert sich dieser oder ist eine. Da dieser weitere Angleichungsteil konzentrisch ist, verursacht dies wenig Störung beim Sehen.

[0041] In einer Ausführungsform ist der vertiefte Teil durch Halbmeridiane begrenzt, die durch das optische Zentrum verlaufen, wobei der vertiefte Teil folglich die Form einer Meridianzone aufweist. Tatsächlich folgen die Angleichungsteile, die den Hauptlinsenteil und den vertieften Teil kombinieren, somit Meridianen so weit wie möglich. Tatsächlich ist ein solcher Angleichungsteil zwischen zwei Halbmeridianen angeordnet, die durch das optische Zentrum verlaufen.

[0042] In einer Ausführungsform mit dem zentralen Teil liegt der vertiefte Teil an mindestens einer durch den zentralen Teil begrenzten Grenze.

[0043] In einer Ausführungsform mit dem zentralen Teil weist der zentrale Teil einen Querschnitt von etwa 0,60–1,20 mm auf. Dies ermöglicht einen vertieften Teil, der beispielsweise die Kontrastempfindlichkeit so wenig wie möglich beeinflusst.

[0044] In einer Ausführungsform mit dem vertieften Teil, der als Meridianzone geformt ist, weist der vertiefte Teil einen eingeschlossenen Winkel von etwa 160–200 Grad auf. In einer solchen Ausführungsform folgen mindestens zwei Grenzen zum Hauptlinsenteil im Wesentlichen Meridianen. In der Praxis sind diese Grenzen durch Angleichungsteile gebildet. Wie bereits vorstehend angegeben, ist gewöhnlich ein solcher Angleichungsteil zwischen zwei Halbmeridiane eingespannt. Wenn eine nachstehend erläuterte optimierte Kurve verwendet wird, folgt in der Praxis der Angleichungsteil nicht exakt einem Meridian, sondern ist geringfügig gekrümmt. In einer Ausführungsform weist der vertiefte Teil einen eingeschlossenen Winkel von etwa 175–195 Grad auf.

[0045] In einer Ausführungsform weist die ophthalmische Linse einen Querschnitt von etwa 5,5–7 mm auf. Insbesondere im Fall einer Intraokularlinse oder einer anderen im Auge getragenen Linse wie einer Kontaktlinse liegt sie in einem solchen Durchmesserbereich.

[0046] In einer Ausführungsform liegt der Hauptlinsenteil in Form einer Fernlinse vor.

[0047] In einer Ausführungsform bildet der vertiefte Teil einen Leseteil.

[0048] In einer Ausführungsform mit dem zentralen Teil ist der vertiefte Teil durch zwei Halbmeridiane und eine Breitenlinie begrenzt, die konzentrisch ist und in einem Abstand vom zentralen Teil liegt.

[0049] In einer Ausführungsform weist der vertiefte Teil mindestens zwei Unterzonen mit Brechkraften auf, die sich unterscheiden.

[0050] In einer Ausführungsform sind diese Unterzonen konzentrisch.

[0051] In einer Ausführungsform nehmen die Brechkraften der Unterzonen in radialer Richtung zu. In einer Ausführungsform nehmen die Brechkraften der Unterzonen in radialer Richtung ab.

[0052] In einer Ausführungsform nimmt die Brechkraft des vertieften Teils in radialer Richtung zu. Folglich ist es möglich, einen Zwischensichtteil zwischen dem Hauptlinsenteil und, falls vorhanden, dem zentralen Teil und einen Nah- oder Leseteil, der im vertieften Teil vorgesehen ist, bereitzustellen. Die Angleichung zwischen

diesen Bereichen oder Zonen mit zunehmender Brechkraft sollte sorgfältig konstruiert werden. Dies kann die Kompensation einer geringeren Stufenhöhe in den Angleichungsteilen erfordern.

[0053] In einer Ausführungsform weist der vertiefte Teil einen Beugungsoptikteil auf. Die Beugungsoptik kann auf die Oberfläche des vertieften Teils überlagert sein. Im Allgemeinen ist ein optischer überlagerter Beugungsteil auf einer Linsenoberfläche bekannt. Im Fall eines vertieften Teils kann es jedoch ermöglichen, dass der vertiefte Teil weniger tief ist.

[0054] In einer Ausführungsform weist der vertiefte Teil eine erste, zentrale Unterzone und zwei weitere Unterzonen, die auf beiden Seiten der ersten Unterzone auf dem Umfang benachbart sind, auf. In einer Ausführungsform davon weist die erste Unterzone eine Brechkraft auf, die größer ist als die Brechkraft der weiteren Unterzonen. In einer Ausführungsform weisen die zwei weiteren Unterzonen eine Brechkraft auf, die größer ist als die Brechkraft des restlichen Linsenteils.

[0055] In einer Ausführungsform begrenzen Meridiane den vertieften Teil. Tatsächlich begrenzen zwei Halbmeridiane den vertieften Teil, was folglich den vertieften Teil als Sektorteil oder Keilteil (wie ein Tortenkeil) definiert. Wenn die ophthalmische Linse einen zentralen Teil aufweist, wie vorstehend definiert, weist dieser Sektorteil einen Teil aus der Formung eines Sektorteils, bei dem ein Teil der Spitze weggenommen ist, auf.

[0056] In einer Ausführungsform liegen die Angleichungsteile innerhalb des Meridians, wobei sie einen Winkel von weniger als 17° , in einer speziellen Ausführungsform weniger als 15° einschließen. In einer Ausführungsform können die Angleichungsteile sogar so konstruiert sein, dass sie innerhalb eines Meridians liegen, wobei sie einen Winkel von weniger als 5° einschließen. Dies erfordert jedoch eine sehr sorgfältige Konstruktion der Kurven und Steigungen oder Ableitungen der Kurven.

[0057] In einer Ausführungsform weist die Steigung der Angleichungsteile eine S-Kurve auf und weist eine Steilheit mit einer Steigung oder ersten Ableitung in einem zentralen Bereich des Angleichungsteils in 1,6 mm vom optischen Zentrum von mehr als 0,1, in einer Ausführungsform mehr als 0,4, an ihrem steilsten Teil auf. In einer Ausführungsform weisen die Angleichungsteile eine Steilheit mit einer Steigung oder Ableitung in einem zentralen Bereich des Angleichungsteils in 2,8 mm vom optischen Zentrum von mehr als 0,2, in einer Ausführungsform mehr als 0,7 an ihrem steilsten Teil auf.

[0058] In einer Ausführungsform weist mindestens einer der Angleichungsteile, insbesondere mindestens ein Halbmeridian-Angleichungsteil, eine S-förmige Kurve auf, die einer ersten Parabelkurve folgt, die von der Hauptlinsenteiloberfläche in Richtung der Oberfläche des vertieften Teils verläuft, einen Zwischenkurventeil, der mit der ersten Parabelkurve verbindet, aufweist und sich fortsetzt, indem sie einer zweiten Parabelkurve folgt, die an der vertieften Oberfläche endet.

[0059] In einer Ausführungsform besitzt der Zwischenkurventeil an seinem steilsten Teil eine erste Ableitung von mindestens 0,05 bei 0,4 mm vom optischen Zentrum, in einer Ausführungsform mindestens 0,1 bei 0,8 mm, in einer Ausführungsform mindestens 0,15 bei 1,2 mm, in einer Ausführungsform mindestens 0,2 bei 1,6 mm, in einer Ausführungsform mindestens 0,3 bei 2,0 mm, in einer Ausführungsform mindestens 0,4 bei 2,4 mm, in einer Ausführungsform mindestens 0,5 bei 2,8 mm.

[0060] Die Erfindung betrifft ferner eine Zusatz-Intraokularlinse, die in den Sack, den Sulcus, als Hornhauteinlage oder als Linse der vorderen Kammer eingesetzt werden soll, die die ophthalmische Linse nach einem der vorangehenden Ansprüche aufweist, wobei der Hauptlinsenteil eine Brechkraft von etwa -10 bis $+5$ Dioptrien aufweist.

[0061] Die Erfindung bezieht sich ferner auf eine ophthalmische Linse mit einem Hauptlinsenteil mit im Wesentlichen einem Krümmungsradius R_v , einem im Wesentlichen kreisförmigen zentralen Teil mit einer ersten optischen Eigenschaft und mit einem Querschnitt von etwa 0,2–2,0 mm, und einem Meridianteil mit einer Vertiefung, die durch den im Wesentlichen kreisförmigen zentralen Teil, durch zwei Meridiane, die durch das Zentrum des kreisförmigen Teils verlaufen, und durch eine untere Grenze, die in Bezug auf den kreisförmigen Teil im Wesentlichen konzentrisch ist, begrenzt ist, wobei der Meridianteil als Vertiefung in der Linse ausgebildet ist, die äußere Grenze der Vertiefung auf oder innerhalb des Krümmungsradius R_v liegt, wobei der Meridianteil einen Leseteil aufweist.

[0062] Die Erfindung bezieht sich ferner auf ein Verfahren für die Herstellung von einer der vorstehend beschriebenen ophthalmischen Linsen mit einem Schritt des Drehens, in dem ein Linsenrohling an einem Dreh-

maschinenhalter angeordnet wird und dem Einfluss von einer oder mehreren Materialentfernungsrichtungen ausgesetzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass während des Drehschritts die rotierende Linse und die Materialentfernungsrichtung in der Richtung der Drehachse zueinander hin und voneinander weg bewegt werden, um mindestens einen vertieften Abschnitt in der ophthalmischen Linse auszubilden. Dieses Herstellungsverfahren ermöglicht die Herstellung von Linsen mit den erforderlichen Eigenschaften.

[0063] Die Erfindung bezieht sich ferner auf eine im Auge getragene multifokale Korrekturlinse, die mit einem im Wesentlichen kreisförmigen zentralen Linsenabschnitt, einem unteren Linsenabschnitt in einem unteren Linsenteil benachbart zum zentralen Linsenabschnitt und einem weiteren Linsenabschnitt versehen ist, wobei der untere Linsenabschnitt eine Vertiefung mit zwei Seiten aufweist, die vom zentralen Linsenabschnitt in Richtung des Randes der Linse verlaufen, die äußere Grenze des unteren Linsenabschnitts auf oder innerhalb einer imaginären Kugel liegt, deren Ursprung und Krümmungsradius mit dem Radius R_v des weiteren Linsenabschnitts übereinstimmen, wobei die zwei Seiten eine Neigung von der Oberfläche des weiteren Linsenabschnitts zur vertieften Oberfläche des unteren Linsenabschnitts bereitstellen, wobei die Neigung einer ersten Parabelkurve folgt, die von der Oberfläche des weiteren Linsenabschnitts in Richtung der Oberfläche des unteren Linsenabschnitts verläuft und sich fortsetzt, indem sie einer zweiten Parabelkurve folgt, die an der vertieften Oberfläche endet.

[0064] Die Erfindung bezieht sich ferner auf eine ophthalmische Linse mit einem Hauptlinsenteil, einem vertieften Teil, einem optischen Zentrum und einer optischen Achse im Wesentlichen durch das optische Zentrum, wobei der Hauptlinsenteil mindestens eine Grenze zum vertieften Teil aufweist, der vertiefte Teil in einem Abstand vom optischen Zentrum angeordnet ist, Grenzen des vertieften Linsenteils zum Hauptlinsenteil als Angleichungsteile ausgebildet sind, die so geformt sind, dass sie das Licht von der optischen Achse weg brechen, wobei der Hauptlinsenteil, der zentrale Teil, der vertiefte Teil und die Angleichungsteile gegenseitig positioniert und geformt sind, um eine LogCS-Charakteristik unter photopischen Lichtbedingungen, gewöhnlich bei etwa 85 cd/m^2 , innerhalb 6 Monaten nach der Operation, bei einer Raumfrequenz (cpd) zwischen 3 und 18 zu schaffen, die mindestens zwischen der Bevölkerungsnorm von 11–19 Jahren und 50–75 Jahren liegt.

[0065] In einer Ausführungsform dieser Linse liegt bei einer Raumfrequenz (cpd) zwischen etwa 6 und 18 ihre LogCS-Charakteristik unter photopischen Lichtbedingungen innerhalb 6 Monaten nach der Operation, gewöhnlich bei etwa 85 cd/m^2 , im Bereich der Normalität über der Bevölkerungsnorm von 20–55 Jahre alten Erwachsenen mit gesunden Augen.

[0066] Die Erfindung bezieht sich ferner auf eine Intraokularlinse mit einem Hauptlinsenteil, einem vertieften Teil, der in einem Abstand vom optischen Zentrum angeordnet ist, und einem zentralen Teil im optischen Zentrum, der im Wesentlichen kreisförmig ist, einen Durchmesser von etwa 0,8 bis 2,8 mm aufweist und an einer Seite den vertieften Teil begrenzt, wobei der Durchmesser des zentralen Teils an den Pupillendurchmesser des Trägers angepasst ist.

[0067] In einer Ausführungsform ist der Durchmesser des zentralen Teils etwa 20–40% des Pupillendurchmessers des Trägers bei Bürobeleuchtungsbedingungen, d. h. 200–400 lux. Folglich kann die IOL maßgefertigt werden.

[0068] Verschiedene Aspekte und/oder Merkmale, die in diesem Text beschrieben sind, können kombiniert werden. Merkmale und Aspekte können auch einen Teil von einer oder mehreren Ausscheidungsanmeldungen bilden, die sich beispielsweise auf Aspekte der Herstellung, die Verfahren, spezifische Typen von ophthalmischen Linsen, wie die in diesem Text erwähnte, ergeben, oder auf spezifische Merkmale wie die Angleichungs- oder Übergangszonen, den vertieften Teil und seine Merkmale oder den zentralen Teil beziehen.

[0069] Beschreibung von Ausführungsformen mit Bezug auf die Zeichnungen

[0070] Die Erfindung wird mit Bezug auf Ausführungsformen einer multifokalen ophthalmischen Sektorlinse (MSOL) weiter verdeutlicht, welche in den beigefügten Zeichnungen gezeigt ist; es zeigen:

[0071] [Fig. 1](#) einen Querschnitt eines menschlichen Auges;

[0072] [Fig. 2](#) einen Querschnitt eines menschlichen Auges mit einer IOL;

[0073] [Fig. 3](#) eine Vorderansicht einer Ausführungsform einer MSIOL mit einem optischen zentralen Teil und einem vertieften Teil;

- [0074] [Fig. 4](#) eine Seitenansicht der MSIOL gemäß [Fig. 3](#);
- [0075] [Fig. 5](#) eine Querschnittsansicht über die Linie IV der MSIOL gemäß [Fig. 3](#);
- [0076] [Fig. 6](#) ein Detail des Querschnitts gemäß [Fig. 5](#);
- [0077] [Fig. 7](#) eine perspektivische Vorderseitenansicht der MSIOL gemäß [Fig. 3](#);
- [0078] [Fig. 8](#) eine perspektivische Rückseitenansicht der MSIOL gemäß [Fig. 3](#);
- [0079] [Fig. 9](#) eine Vorderansicht einer weiteren Ausführungsform einer MSIOL mit einem vertieften Teil, der in drei meridian unterteilte optische Sektoren und einen zentralen optischen Sektor unterteilt ist;
- [0080] [Fig. 10](#) eine Seitenansicht der MSIOL gemäß [Fig. 9](#);
- [0081] [Fig. 11](#) eine perspektivische Vorderseitenansicht der MSIOL gemäß [Fig. 9](#);
- [0082] [Fig. 12](#) eine Vorderansicht einer weiteren Variante der MSIOL mit einem vertieften Halbmeridian-Beugungssektorelement;
- [0083] [Fig. 13](#) eine Seitenansicht der MSIOL gemäß [Fig. 12](#);
- [0084] [Fig. 14](#) eine Querschnittsansicht über die Linie XIV der MSIOL gemäß [Fig. 12](#);
- [0085] [Fig. 15](#) ein Detail des Querschnitts gemäß [Fig. 14](#);
- [0086] [Fig. 16](#) eine perspektivische Vorderseitenansicht der MSIOL gemäß [Fig. 12](#);
- [0087] [Fig. 17](#) einen Vergleich zwischen einer optimierten Übergangskurve und einer Cosinus-Kurve einer Übergangs- oder Angleichungszone oder eines Übergangs- oder Angleichungsteils, der darstellt, dass gleichzeitig mit dem optimierten Profil eine größere Verlagerung möglich ist;
- [0088] [Fig. 18](#) die S-förmige Funktion ohne irgendeine Skalierung und Translation im Intervall $[-10, 10]$;
- [0089] [Fig. 19](#) die erfahrene oder effektive Beschleunigung (zweite Ableitung) während des S-förmigen Übergangs;
- [0090] [Fig. 20](#) die Verringerung der Übergangszonenbreite durch Berechnen der erforderlichen Übergangszeit und des Abstandes gemäß dem in diesem Dokument lokal beschriebenen Verfahren, die Übergangszonenbreite ist nahe dem Zentrum null;
- [0091] [Fig. 21–Fig. 26](#) Graphen, die die Energieverteilung in verschiedenen Teilen von mehreren Ausführungsformen von ophthalmischen Linsen zeigen;
- [0092] [Fig. 27–Fig. 29](#) gemessene Daten von ophthalmischen Linsen;
- [0093] [Fig. 30–Fig. 32](#) Graphen der Steilheit von Angleichungs- oder Übergangszonen oder Angleichungs- oder Übergangsteilen;
- [0094] [Fig. 33](#) und [Fig. 34](#) Testergebnisse, die den LogCS gegenüber der Raumfrequenz zeigen;
- [0095] [Fig. 35](#), die ein Oberflächenmodell von einer der Ausführungsformen zeigt;
- [0096] [Fig. 36](#) einen schematischen Aufbau eines Messinstruments PMTF.

Ausführliche Beschreibung von Ausführungsformen

[0097] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird nun im Einzelnen beschrieben. Mit Bezug auf die Zeichnungen geben in den ganzen Ansichten gleiche Zeichen gleiche Teile an. Wie in der Beschreibung hierin und in den ganzen Ansprüchen verwendet, nehmen die folgenden Begriffe die explizit hierin zugeordneten

Bedeutungen an, wenn nicht der Zusammenhang deutlich anderes vorgibt: die Bedeutung von "ein", "eine" und "der" weist eine Pluralreferenz auf, die Bedeutung von "in" weist "in" und "an" auf. Wenn nicht anders definiert, haben alle hierin verwendeten technischen und wissenschaftlichen Begriffe dieselben Bedeutungen, wie üblicherweise von einem Fachmann auf dem Gebiet, zu dem diese Erfindung gehört, verstanden. Im Allgemeinen sind die hierin verwendete Nomenklatur und die Laborprozeduren gut bekannt und werden auf dem Fachgebiet allgemein verwendet. Herkömmliche Verfahren werden für diese Prozeduren verwendet, wie z. B. die auf dem Fachgebiet und in verschiedenen allgemeinen Referenzen vorgesehenen.

[0098] Selbstverständlich sind die vorderen optischen Sektoren vorzugsweise zum geometrischen Zentrum der hinteren Oberfläche konzentrisch.

[0099] Ein "vertikaler Meridian" bezieht sich auf eine imaginäre Linie, die vertikal von der Oberseite durch das Zentrum zur Unterseite der vorderen Oberfläche einer MSIOL verläuft, wenn die MSIOL in einer vorbestimmten Orientierung im Auge gehalten wird.

[0100] Ein "horizontaler Meridian" bezieht sich auf eine imaginäre Linie, die horizontal von der linken Seite durch das Zentrum zur rechten Seite der vorderen Oberfläche einer MSIOL verläuft, wenn die MSIOL in einer vorbestimmten Orientierung im Auge gehalten wird. Die horizontalen und vertikalen Meridiane sind zueinander senkrecht.

[0101] "Oberflächenstellen" beziehen sich auf Kombinationen von Krümmungen und Linien, die in der ersten Ableitung, vorzugsweise in der zweiten Ableitung, zueinander kontinuierlich sind.

[0102] Eine "äußere Grenze" in Bezug auf eine andere Zone als eine zentrale optische Zone auf der Oberfläche einer MSIOL bezieht sich auf eine von zwei Umfangsgrenzen dieser Zone, die vom geometrischen Zentrum der vorderen Oberfläche weiter weg liegt.

[0103] Eine "innere Grenze" in Bezug auf eine andere Zone als eine zentrale optische Zone auf der Oberfläche einer MSIOL bezieht sich auf eine von zwei Umfangsgrenzen dieser Zone, die näher am geometrischen Zentrum der vorderen Oberfläche liegt.

[0104] Ein "Halbmeridian" bezieht sich auf eine imaginäre Linie, die radial vom geometrischen Zentrum der vorderen Oberfläche einer MSIOL zur Kante der Linse verläuft.

[0105] Der "obere Abschnitt des vertikalen Meridians" bezieht sich auf einen halben vertikalen Meridian, der über dem geometrischen Zentrum der vorderen Oberfläche einer MSIOL liegt, wenn die Linse in einer vorbestimmten Orientierung innerhalb eines Auges gehalten wird.

[0106] Der "untere Abschnitt des vertikalen Meridians" bezieht sich auf einen halben vertikalen Meridian, der unterhalb des geometrischen Zentrums der vorderen Oberfläche einer MSIOL liegt, wenn die Linse in einer vorbestimmten Orientierung innerhalb eines Auges gehalten wird.

[0107] Ein "kontinuierlicher Übergang" in Bezug auf zwei oder mehrere Sektoren bedeutet, dass die Steigung dieser Sektoren zumindest in der ersten Ableitung, vorzugsweise in der zweiten Ableitung, kontinuierlich ist.

[0108] Eine "vertikale Meridianebene" bezieht sich auf eine Ebene, die die optische Achse einer MSIOL und einen vertikalen Meridian an der vorderen Oberfläche der MSIOL durchschneidet.

[0109] Wie hierin in Bezug auf die Sektoren oder Teile einer MSIOL verwendet, beziehen sich die Begriffe "Grundlinienbrechkraft", "Brechkraft", "Zusatzbrechkraft" und "Brechwert" auf die effektive Brechkraft oder den effektiven Brechwert eines Sektors, wenn die Linse ein Teil eines Okularlinsensystems ist, wie beispielsweise einer Hornhaut, einer MSIOL, einer Retina und des Materials, das diese Komponenten umgibt. Diese Definition kann die Effekte der Divergenz oder des Winkels von Lichtstrahlen, die die MSIOL-Oberfläche schneiden, aufweisen, was durch die Brechkraft der Hornhaut verursacht wird. In bestimmten Fällen kann ein Algorithmus zum Berechnen des Brechwertes mit einem Strahlendurchrechnungsmodell des menschlichen Auges, das eine MSIOL mit unterteilten Sektoren aufweist, beginnen. An einer speziellen radialen Stelle auf der MSIOL-Oberfläche kann das Snellius'sche Gesetz angewendet werden, um den Winkel des Lichtstrahls nach der Brechung zu berechnen. Die optische Weglänge des Abstandes zwischen einem Punkt auf der Oberfläche und der optischen Achse (Symmetrieachse) kann verwendet werden, um den lokalen Krümmungsradius der lokalen Wel-

lenfront zu definieren. Unter Verwendung einer solchen Methode ist der Brechwert gleich der Differenz der Brechungsindizes dividiert durch diesen lokalen Krümmungsradius.

[0110] Die vorliegende Erfindung zielt darauf ab, ophthalmische Linsen zu verbessern, und bezieht sich in einem Aspekt auf eine neue multifokale Sektorintraokularlinse (MSIOL), mit mindestens zwei optischen Halbmeridian-Sektoren, wobei mindestens einer der optischen Halbmeridian-Sektoren radial oder im Winkel unterteilt ist und einen inneren Sektor, einen Zwischensektor und einen äußeren Sektor aufweisen könnte, der sich innerhalb der (imaginären) Grenze des Fernteils befindet. Der innere Sektor weist eine erste Brechkraft auf, der Zwischensektor benachbart zur ersten Brechkraft weist eine zweite Brechkraft auf. Der äußere Sektor benachbart zur zweiten Brechkraft weist eine dritte Brechkraft auf, wohingegen die Stufenhöhe zwischen den Grenzen der Halbmeridian-Sektoren mittels eines optimierten Übergangsprofils verbunden ist, um die zur Makula gerichtete Lichtenergie zu maximieren und Unschärfe und Halos bei größerer Pupillengröße zu verringern. Die Halbmeridian-Sektoren der ophthalmischen Linse könnten ein kontinuierliches Brechkraftprofil aufweisen oder die diskreten optischen Teilkreis-sektoren kombinieren sich miteinander oder Kombinationen davon. Der (die) unterteilte(n) Sektor(en) schafft (schaffen) eine klare Sicht in Lese- und Zwischenabständen. Während die Fernsicht und die Kontrastempfindlichkeit zu einer monofokalen ophthalmischen Linse mit verringerter Unschärfe und verringerten Halos bei größerer Pupillengröße vergleichbar bleiben. Die vorliegende Erfindung kann auch dazu konfiguriert sein, über Augen mit verschiedenen Hornhautaberrationen (z. B. verschiedenen asphärischen Gestalten), einschließlich der sphärischen Aberration, über einen Bereich von Dezentrierung gut zu arbeiten.

[0111] Die ophthalmische Linse kann so konstruiert sein, dass sie eine nominale Brechkraft für Fernsicht, die als "Grundlinienbrechkraft" definiert ist, gewöhnlich des Hauptlinsenteils, eine "Zusatzbrechkraft", die zur nominalen Brechkraft oder Grundlinienbrechkraft addiert ist und für die Lesesicht bestimmt ist, aufweist. Häufig wird auch eine Zwischenbrechkraft definiert, die für die spezielle Umgebung geeignet ist, in der sie verwendet werden soll. Im Fall einer MSIOL wird erwartet, dass die nominale Brechkraft oder Grundlinienbrechkraft einer MSIOL im Allgemeinen innerhalb eines Bereichs von etwa -20 Dioptrien bis mindestens etwa $+35$ Dioptrien liegt. Die "Zusatzbrechkraft" liegt im Allgemeinen in einem Bereich von etwa $+1$ Dioptrien bis mindestens etwa $+5$ Dioptrien. Wünschenswerterweise liegt die nominale Brechkraft der MSIOL zwischen etwa 10 Dioptrien und mindestens etwa 30 Dioptrien, die "Zusatzbrechkraft" liegt zwischen etwa $+1,50$ und $+4,00$ Dioptrien. In bestimmten Anwendungen ist die nominale Brechkraft der MSIOL ungefähr $+20$ Dioptrien und die Zusatzbrechkraft etwa $+3,00$ Dioptrien, die eine typische Brechkraft ist, die erforderlich ist, um die natürliche kristalline Linse in einem menschlichen Auge zu ersetzen.

[0112] In [Fig. 1](#) ist eine schematische Ansicht eines menschlichen Auges **100** mit seiner natürlichen Linse **106** gezeigt. Das Auge weist einen Glaskörper **101** und eine Hornhaut **102** auf. Das Auge weist eine vordere Kammer **103**, eine Iris **104** und einen Ziliarmuskel **105**, der die Linse hält, auf. Das Auge weist eine hintere Kammer **107** auf. In [Fig. 2](#) ist das Auge **100** mit einer Intraokularlinse **1** gezeigt, die die ursprüngliche Linse **106** ersetzt.

[0113] In [Fig. 3](#) ist eine Ausführungsform einer Intraokularlinse (IOL) **1** gezeigt, die Haptiken **2** und eine Linsenzone oder einen Linsenteil **3** aufweist. Der Linsenteil **3** ist der eigentliche optisch aktive Teil der IOL **1**. Die Haptiken **2** können eine unterschiedliche Form aufweisen. In dieser Ausführungsform weist der Linsenteil **3** einen zentralen Teil **6** auf, der gewöhnlich im Wesentlichen kreisförmig ist. Er kann ein wenig von einem absoluten Kreis abweichen, ist jedoch in den meisten Ausführungsformen so rund oder kreisförmig wie möglich in der spezifischen weiteren Linsenkonstruktion. Der Linsenteil **3** weist ferner einen Meridianteil in einem Vertiefungsbereich auf. Diese Vertiefung liegt unter der Oberfläche der gekrümmten Oberfläche des restlichen Linsenteils **4** des Linsenteils **3**. Mit anderen Worten, die gekrümmte Oberfläche des restlichen Linsenteils **4** weist einen Krümmungsradius R_v auf und die Vertiefung des Meridiantails liegt auf oder innerhalb des Krümmungsradius R_v (siehe [Fig. 4](#)). Es sollte klar sein, dass die gekrümmte Oberfläche des Linsenteils nicht sphärisch oder asphärisch sein kann. Tatsächlich kann die gekrümmte Oberfläche sein, wie beispielsweise in US-7.004.585 in Spalten **6**, **7** und **8** beschrieben. Insbesondere können die Zernike-Polynome verwendet werden, um irgendeine gekrümmte Oberfläche einer ophthalmischen Linse zu beschreiben. In dieser Ausführungsform ist der Meridianteil in zwei konzentrische Unterzonen **7** und **8** unterteilt.

[0114] Die verschiedenen Teile, d. h. der zentrale Teil **6**, der innere Meridianteil **7** und der äußere Meridianteil **8**, weisen jeweils einen Brechungswinkel oder eine Brechkraft auf, die sich vom restlichen Linsenteil **4** unterscheidet. Wenn der Linsenteil **3** als Teil einer Kugel mit einer Achse durch die Kreuzung der Linien R und S betrachtet wird, dann kann der zentrale Teil **6** auch als durch eine erste Breitenlinie begrenzt definiert werden. In dieser Definition kann die Unterzone **7** als durch zwei Meridiane, die erste Breitenlinie und eine zweite

Breitenlinie begrenzt definiert werden. Gemäß dieser gleichen Definition kann die Unterzone **8** als durch die zwei Meridiane, die zweite Breitenlinie und eine dritte Breitenlinie begrenzt definiert werden. In den meisten Ausführungsformen wird der Meridianteil (in der Kartographie wird ein Bereich mit dieser Form auch als "Longitudinalzone" bezeichnet) als "Leseteil" bezeichnet.

[0115] Die MSIOL weist einen Nahteil oder Leseteil auf, der auf oder innerhalb der Linsenzone **3** begrenzt ist, wohingegen der Übergang zwischen diesen Teilen mit einer Cosinusfunktion oder S-förmigen Funktion durchgeführt wird, aber wünschenswerterweise mit der nachstehend erörterten optimierten Übergangsfunktion verbunden ist. In allgemeinen Worten werden diese allgemeinen Übergangskurven als S-förmige Kurven bezeichnet. Diese Übergänge weisen eine Breite auf und werden als Angleichungszone oder Übergangszone bezeichnet.

[0116] Der Nah- oder Leseteil weist in einer Ausführungsform einen eingeschlossenen Winkel α zwischen etwa 160 und 200 Grad auf. In einer weiteren Ausführungsform liegt der eingeschlossene Winkel zwischen etwa 175 und 195 Grad. Der Leseteil kann in mindestens zwei imaginäre Kreissektoren **7** und **8** optisch unterteilt sein, die eine kontinuierliche Übergangsoberfläche radial um die optische Achse oder geometrische Achse bilden. Die erforderliche Form (und Krümmung der vertieften Oberfläche) dieser Kreissektoren **7**, **8** kann unter Verwendung einer Strahldurchrechnung berechnet werden, um mindestens das Ausmaß der sphärischen Aberration zu steuern und ferner Bildsprünge zu vermeiden. Die Bezugslinien im Linsenteil **3** sind imaginär und dienen einem Maßreferenzzweck. Sie sind jedoch im echten Produkt nicht sichtbar.

[0117] Der Linsenteil **3** weist in dieser Ausführungsform einen Außendurchmesser zwischen etwa 5,5 und etwa 7 mm auf. In einer bevorzugten Ausführungsform ist er etwa 5,8–6,2 mm. Der zentrale Teil oder innere Sektor **6** weist eine Brechkraft auf, die mindestens gleich der Grundlinienbrechkraft ist. Wünschenswerterweise liegt die Brechkraft des inneren Kreissektors oder zentralen Teils **6** zwischen 0% und 100% der Zusatzbrechkraft.

[0118] Der zentrale Teil **6** weist in einer Ausführungsform einen Durchmesser zwischen etwa 0,2 mm und 2,0 mm auf. In einer Ausführungsform liegt der Durchmesser des zentralen Teils **6** zwischen etwa 0,60 und 1,20 mm. Falls der zentrale Teil **6** nicht absolut rund ist, ist er ein Umkreis mit dem hier erwähnten Durchmesserbereich.

[0119] Der Kreissektor oder zentrale Teil **6** weist eine Brechkraft auf, die mindestens gleich der Grundlinienbrechkraft ist. In dieser Ausführungsform weist der vertiefte Teil zwei angegebene Unterzonen, eine erste Unterzone **7** nahe dem zentralen Teil **6**, auf. Diese innere Unterzone weist einen Breitenradius zwischen etwa 1,5 und 2,3 mm auf. In einer Ausführungsform liegt er zwischen etwa 1,8 und 2,1 mm. Die äußere Unterzone **8** weist eine Brechkraft auf, die gleich oder größer als die Grundlinienbrechkraft ist. In einer Ausführungsform liegt die Brechkraft zwischen 0 und 100% der Zusatzbrechkraft. Folglich bildet sie ein Zwischenstück zwischen dem Hauptlinsenteil oder dem zentralen Teil und einem Nahteil in der äußeren Unterzone **8**. Der Breitenradius der äußeren Unterzone **8** weist eine Abmessung zwischen etwa 2,2 und 2,7 mm auf. In einer Ausführungsform kann er zwischen etwa 2,3 und 2,6 mm liegen. In dieser Ausführungsform setzt sich der Hauptlinsenteil fast am Teil **9** fort. Der Radius der äußeren Grenze, wo der Linsenlinsenteil **4** sich fortsetzt, kann einen Breitenradius zwischen etwa 2,6 und 2,8 mm aufweisen. In einer alternativen Ausführungsform können mehrere konzentrische Unterzonen vorgesehen sein, damit der vertiefte Teil den zentralen Teil für die Fernsicht so wenig wie möglich stört oder beeinflusst.

[0120] Die IOL **1** weist zwei Halbmeridian-Angleichungszone oder -Angleichungsteile **10** auf, die den vertieften Teil **7**, **8** begrenzen. Diese Halbmeridian-Begrenzungsangleichungsteile **10** weisen einen Winkel γ auf. In einer Ausführungsform ist der Winkel geringer als 35°. In einer Ausführungsform ist er geringer als 17°. Insbesondere ist der Winkel γ geringer als 5°. Gewöhnlich ist er mehr als etwa 1°. Der vertiefte Teil in dieser Ausführungsform weist ferner eine Angleichungszone **11** auf, die in Bezug auf die optische Achse R konzentrisch ist. Der Hauptlinsenteil **4** setzt sich im konzentrischen Bereich fort, der mit dem Bezugszeichen **9** gekennzeichnet ist.

[0121] In [Fig. 9–Fig. 11](#) sind mehrere Ansichten eines anderen Beispiels einer ophthalmischen Linse als Intraokularlinse gezeigt. In dieser Ausführungsform ist wieder der vertiefte Teil in Unterzonen unterteilt. Hier sind die zwei äußeren Unterzonen **7** im Winkel auf beiden Seiten einer zentralen Unterzone **8'** angeordnet. Die MSIOL weist einen Hauptlinsenteil **4** mit einem vertieften Teil mit einem gesamten eingeschlossenen Winkel α zwischen 160 und 200 Grad, wünschenswerterweise zwischen 175 und 195 Grad, auf. Der eingeschlossene Winkel der äußeren Unterzonen **7** liegt zwischen etwa 10 und 30 Grad. In einer Ausführungsform liegt er

zwischen etwa 15 und 25 Grad. Der eingeschlossene Winkel β der zentralen Unterzone **8'** liegt zwischen etwa 80 und 120 Grad. In einer Ausführungsform liegt die zentrale Unterzone **8'** zwischen 85 und 100 Grad.

[0122] Der gesamte eingeschlossene Winkel der Unterzonen **7**, **8'** für Nah- und Zwischensicht ist durch den Hauptlinsenteil **4** begrenzt. Die Übergänge oder Angleichungszonen zwischen den verschiedenen Teilen folgen einer Cosinus-Funktion oder S-förmigen Funktion. In einer Ausführungsform folgen sie einer nachstehend beschriebenen optimierten Übergangsfunktion. Aufgrund dieses optimierten Übergangsprofils ist mindestens eine dieser imaginären Übergangslinien gekrümmt.

[0123] Die Unterzonen **7** und **8'** sind um die geometrische Achse radial angeordnet. Die optische Form dieser Kreisteile wird einer Strahldurchrechnung unterzogen, um das Ausmaß an sphärischer Aberration zu steuern und ferner Bildsprünge zu vermeiden. Die Bezugslinien in den Linsenteilen sind imaginär und dienen nur einem Maßbezugszweck und sind im echten Produkt nicht sichtbar. Der Linsenteil weist eine Außendurchmesserabmessung zwischen 5,5 und 7 mm auf. In einer Ausführungsform ist der Durchmesser etwa 6 mm. Der zentrale Teil **6** weist eine Brechkraft auf, die mindestens gleich der Grundlinienbrechkraft des Hauptlinsenteils ist. Der Durchmesser des zentralen Teils weist einen Durchmesser zwischen etwa 0,2 mm und 2,0 mm auf. In einer Ausführungsform liegt der Durchmesser zwischen etwa 0,40 und 1,20 mm. Der vertiefte Teil kann eine radiale Breite zwischen etwa 1,5 und 2,3 mm aufweisen. In einer Ausführungsform liegt die Breite zwischen etwa 1,8 und 2,1 mm. In einer Ausführungsform weisen die äußeren Unterzonen **7** eine Brechkraft von etwa 30 bis 60 der Zusatzbrechkraft, d. h. etwa 30–60 der relativen Dioptrie des zentralen Teils **8'**, auf.

[0124] Die MSIOL, wie in [Fig. 3–Fig. 8](#) gezeigt, kann auch in Verbindung mit einer anderen optischen Vorrichtung, wie z. B. einem optischen Beugungselement (DOE) **20**, verwendet werden. In einer Ausführungsform, die in [Fig. 12–Fig. 16](#) gezeigt ist, ist eine solche Ausführungsform gezeigt. Diese MSIOL weist einen vertieften Linsenteil **7** auf, der als Halbmeridian-Brechungsteil mit einer ersten Brechkraft geformt ist. Der gesamte eingeschlossene Winkel γ des vertieften Teils kann zwischen etwa 160 und 200 Grad liegen. In einer Ausführungsform liegt der eingeschlossene Winkel zwischen etwa 175 und 195 Grad. Das optische Beugungselement **20** ist auf die Oberfläche des vertieften Teils **7** überlagert. Es ist in einer übertriebenen Weise mit größer skalierten Merkmalen gezeigt. In der Praxis können die Merkmale des optischen Beugungselements **20** ungefähr etwa 0,5–2 Mikrometer groß sein. In einer Ausführungsform kann das optische Beugungselement **20** im äußeren radialen Teil des vertieften Teils **7** vorgesehen sein. Folglich kann der zentrale Teil **6** dieselbe Brechkraft aufweisen oder sich nur bis zu etwa 1 Dioptrien in Bezug auf den Hauptlinsenteil **4** unterscheiden. Die erste Unterzone des vertieften Teils **7** kann sich um 0,5–2 Dioptrien in Bezug auf den zentralen Teil **6** unterscheiden.

[0125] Der Brechungsleseteil, wie in [Fig. 3–Fig. 8](#) beschrieben, kann ein zusätzliches DOE-Element aufweisen, um eine chromatische Aberration zu korrigieren oder um die Fern- und Leseleistung der MSIOL weiter zu verbessern. Dies ist in [Fig. 12–Fig. 16](#) dargestellt. Der DOE-Teil **20** kann einer Strahldurchrechnung unterzogen werden, um das Ausmaß der sphärischen Aberration zu steuern und ferner Halos und Blendung zu verringern. Die Linsenzonen **3** weist auch einen Außendurchmesser zwischen etwa 5,5 und 7 mm auf. In einer Ausführungsform ist er etwa 5,8–6,2 mm. Der zentrale Teil **6** weist eine Brechkraft auf, die zumindest gleich der Grundlinienbrechkraft des restlichen Linsenteils **4** ist. Wünschenswerterweise liegt die Brechkraft des inneren Kreissektors **7** zwischen 0% und 100% der Zusatzbrechkraft. Der eingebettete Halbmeridian-Kreissektor, der als Brechungsbasis für das DOE **20** verwendet wird, weist eine Brechkraft von 10% und 100% der Zusatzbrechkraft auf. Der vertiefte Teil weist eine Breite (vom Ende der zentralen Zone zum Angleichungsteil **11**) zwischen 1,5 und 2,3 mm auf. In einer Ausführungsform liegt sie zwischen 1,8 und 2,1 mm. Das DOE **20** kann für die Grundlinienbrechkraft und die Zwischenzusatzbrechkraft konfiguriert sein.

[0126] In einer Ausführungsform können die Übergangszonen oder Angleichungszonen **10**, die den vertieften Teil der in [Fig. 3–Fig. 16](#) beschriebenen Ausführungsformen begrenzen, einer Cosinus-Funktion oder einer S-förmigen Funktion folgen. In einer Ausführungsform folgen die Übergangszonen **10** einer nachstehend beschriebenen optimierten Übergangsfunktion. Die Übergangs- oder Angleichungszonen **13** und **13'** können auch einer solchen Funktion folgen.

Beispiele

[0127] Mehrere Linsenkonfigurationen auf der Basis von [Fig. 3–Fig. 8](#) werden nachstehend für eine IOL dargestellt. Für mehrere Pupillendurchmesser wird die von den verschiedenen Sektoren (Zonen oder Bereichen) bedeckte Fläche in mm² gezeigt. In mehreren Graphen ist die theoretisch bestimmte relative Lichtenergie auf der Basis der von den verschiedenen Sektoren bedeckten Fläche gezeigt. (Sektorradius zentral bezieht sich auf den Radius des zentralen Teils). Diese theoretischen Beispielberechnungen wurden durchgeführt, als ob

die Linse keinen Krümmungsradius aufweisen würde, d. h. eine flache Oberfläche. Dieses Verfahren wurde gewählt, um die Berechnung zu vereinfachen, da die Krümmung der Linsenoberfläche sich mit der Brechkraft ändert. Die Gleichungen zum Berechnen der Oberfläche eines Übergangsbereichs, die in den nachstehenden Ausführungsformen verwendet werden, sind wie folgt.

$$A_{\text{Pupille}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{Pupille}}^2$$

$$A_{\text{Nah}} = \frac{\alpha_{\text{Nah}} \cdot \pi}{360 \cdot 4} (D_{\text{Pupille}}^2 - D_{\text{Fern}}^2)$$

$$A_{\text{Fern}} = \frac{\alpha_{\text{Fern}} \cdot \pi}{360 \cdot 4} (D_{\text{Pupille}}^2 - D_{\text{Fern}}^2) + \frac{\pi}{4} D_{\text{Fern}}^2$$

$$A_{\text{Übergang}} = \frac{\alpha_{\text{Übergang}} \cdot \pi}{360 \cdot 4} (D_{\text{Pupille}}^2 - D_{\text{Fern}}^2)$$

[0128] Es wurde festgestellt, dass diese Werte auch unter Verwendung von Messungen bestimmt werden können. Dazu kann ein Instrument, das PMTF genannt wird, verwendet werden. Dieses Instrument ist von Lambda-X SA, Rue de l'industrie 37, 1400 Nivelles, BELGIEN, erhältlich. Im Messverfahren wird eine IOL in einem ISO-Modellauge angeordnet. Eine schematische Zeichnung des Prinzips des PMFT ist in [Fig. 36](#) gezeigt, die eine Lichtquelle **380**, ein Ziel **381** zum Vorsehen eines räumlich definierten Lichtbereichs, eine Kollimationslinse **382**, eine Blende **383**, einen Satz von Linsen L1 und L2, ein ISO-Augenmodell **384**, das die IOL in einer Küvette hält, ein Mikroskop **385** auf einem Translationstisch **386** und eine CCD-Kamera **387**, die an dem Mikroskop **385** montiert ist, zeigt. In den nachstehend verwendeten Messungen hat das Augenmodell eine Blende mit einem Durchmesser von 4 mm zum Simulieren der Pupille.

[0129] Das Messverfahren und die Datenbearbeitung waren folgendermaßen. Die Reihenfolge der Messungen der IOLs kann umgekehrt werden. In den Messungen wird eine IOL mit nur einer optischen Zone gemessen und dieselbe IOL, jedoch mit einer optischen Zone gemäß der Erfindung, wird unter Verwendung desselben Verfahrens gemessen.

[0130] Die Messungen werden gemäß der normalen Verwendung des PMFT durchgeführt. In diesem Fall wurde zuerst eine Referenz-IOL ohne vertieften Teil gemessen. In der Brennebene wurde das Licht innerhalb eines Bildes der Blende durch Integrieren der kalibrierten Intensität am CCD-Sensor gemessen. Als nächstes wurde eine IOL mit vertieftem Teil gemessen. Dazu werden zuerst die verschiedenen Brennebenen der IOL und die Brennebene der Referenz-IOL lokalisiert. Die Intensität wurde in den Brennebenen der IOLs gemessen. Im Fall einer IOL mit einem Fernbereich (dem Hauptlinsenteil) und einem Nahbereich im vertieften Teil wurde folglich das Licht in zwei Brennebenen gemessen. Aus den Lichtmessungen an der CCD-Kamera wurde das Licht in den Brennebenen addiert und mit dem Licht in der Brennebene der Referenz-IOL verglichen. Die gemessenen Werte für den Lichtverlust entsprachen sehr gut dem theoretisch berechneten Lichtverlust.

Ausführungsform 1, Fig. 24

Sektorwinkel Fern 182
 Sektorwinkel Nah 170
 Sektorwinkel Übergänge 8 jede Vertiefung 4 Grad
 Übergang
 Sektorradius zentral 0,57

[0131]

Pu- pillen- duoch- messer	4,00	4,00	3,50	3,50	3,00	3,00	2,50	2,50	2,00	2,00	1,50	1,50	1,14	1,14
------------------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fläche Pupille	12,57		9,62		7,07		4,91		3,14		1,77		1,02	
Fläche Nah-sektor	5,45	43%	4,06	42%	2,86	40%	1,84	37%	1,00	32%	0,35	20%	0,00	0%
Fläche Fern-sektor	6,86	55%	5,37	56%	4,08	58%	2,99	61%	2,09	67%	1,40	79%	1,02	100%
Fläche Übergang	0,26	2,0%	0,19	2,0%	0,13	1,9%	0,09	1,8%	0,05	1,5%	0,02	0,9%	0,00	0%

Ausführungsform 2, Fig. 25

Sektorwinkel Fern 170
 Sektorwinkel Nah 160
 Sektorwinkel Übergänge 30 jede Vertiefung 15 Grad
 Übergang
 Sektorradius zentral 0,57

[0132]

Pupillendurchmesser	4,00	4,00	3,50	3,50	3,00	3,00	2,50	2,50	2,00	2,00	1,50	1,50	1,14	1,14
Fläche Pupille	12,57		9,62		7,07		4,91		3,14		1,77		1,02	
Fläche Nah-sektor	5,13	41%	3,82	40%	2,69	38%	1,73	35%	0,94	30%	0,33	19%	0,00	0%
Fläche Fern-sektor	6,47	52%	5,08	53%	3,88	55%	2,86	58%	2,02	64%	1,37	78%	1,02	100%
Fläche Übergang	0,96	7,7%	0,72	7,4%	0,50	7,1%	0,32	6,6%	0,18	5,6%	0,06	3,5%	0,00	0%

[0133] Die IOL war auch ohne vertieften Teil verfügbar. Diese IOL wurde als Referenzlinse verwendet. Sie weist eine Dioptrie von +20 für den Hauptlinsenteil auf. Die Linse der Erfindung war ferner identisch, außer dass sie einen vertieften Teil mit einer relativen Dioptrie von +3 in Bezug auf den Hauptlinsenteil aufwies. Das obige Messverfahren unter Verwendung des PMTF wurde verwendet. In der Tabelle sind Ergebnisse unter Verwendung einer räumlich "großen" kreisförmigen Quelle mit einem Durchmesser von 600 μ und einer "kleinen" Quelle mit einem Durchmesser von 200 μ gezeigt.

Quelle	Klein	Groß	Klein	Groß	Klein	Groß
Pupillendurchmesser	4,5	4,5	3,75	3,75	3,00	3,00
Licht im Fernfokus	54%	58%	54%	54%	54%	54%
Licht im Nahfokus	40%	34%	38%	38%	38%	41%
Fläche Übergang	6%	7%	8%	8%	8%	6%

[0134] Die gemessenen Ergebnisse und berechneten Ergebnisse sind folglich vergleichbar.

Ausführungsform 3, Fig. 26

Sektorwinkel Fern 182
 Sektorwinkel Nah 170
 Sektorwinkel Übergänge 8 jede Vertiefung 4 Grad
 Übergang
 Sektorradius zentral 0,25

[0135]

Pupillendurchmesser	4,00	4,00	3,50	3,50	3,00	3,00	2,50	2,50	2,00	2,00	1,50	1,50	0,50	0,50
Fläche Pupille	12,57		9,62		7,07		4,91		3,14		1,77		0,20	
Fläche Nahsektor	5,84	46%	4,45	46%	3,25	46%	2,23	45%	1,39	44%	0,74	42%	0,00	0%
Fläche Fernsektor	6,45	51%	4,96	52%	3,67	52%	2,58	53%	1,69	54%	0,99	56%	0,20	100%
Fläche Übergang	0,27	2,2%	0,21	2,2%	0,15	2,2%	0,10	2,1%	0,07	2,1%	0,03	2,0%	0,00	0%

Ausführungsform 4, Fig. 23

Sektorwinkel Fern 145
 Sektorwinkel Nah 145
 Sektorwinkel Übergänge 70 jede Vertiefung 35 Grad
 Übergang
 Sektorradius zentral 1

[0136]

Pupillendurchmesser	4,00	4,00	3,50	3,50	3,00	3,00	2,50	2,50	2,00	2,00
Fläche Pupille	12,57		9,62		7,07		4,91		3,14	
Fläche Nahsektor	3,80	30%	2,61	27%	1,58	22%	0,71	15%	0,00	0%
Fläche Fernsektor	6,94	55%	5,75	60%	4,72	67%	3,85	79%	3,14	100%
Fläche Übergang	1,83	14,6%	1,26	13,1%	0,76	10,8%	0,34	7,0%	0,00	0,0%

Ausführungsform 5, Fig. 22

Sektorwinkel Fern 145
 Sektorwinkel Nah 145
 Sektorwinkel Übergänge 70 jede Vertiefung 35 Grad
 Übergang
 Sektorradius zentral 0,00

[0137]

Pupillendurchmesser	4,00	4,00	3,50	3,50	3,00	3,00	2,50	2,50	2,00	2,00	1,50	1,50	0,00	0,00
Fläche Pupille	12,57		9,62		7,07		4,91		3,14		1,77		0,00	
Fläche Nahsektor	5,06	40%	3,88	40%	2,85	40%	1,98	40%	1,27	40%	0,71	40%	0,00	0%
Fläche Fernsektor	5,06	40%	3,88	40%	2,85	40%	1,98	40%	1,27	40%	0,71	40%	0,00	100%
Fläche Übergang	2,44	19,4	1,87	19,4%	1,37	19,4%	0,95	19,4%	0,61	19,4%	0,34	19,4%	0,00	0%

[0138] Für die Ausführungsform 2 wurden Messungen an einer optischen Optocraft-Bank gemäß ISO 11979-2 durchgeführt. In [Fig. 27–Fig. 29](#) sind Messungen von Vorrichtungen mit einem Hauptlinsenteil mit einer Brechkraft von +22 ([Fig. 27](#)), +29 ([Fig. 28](#)) und +15 ([Fig. 29](#)) gezeigt. Der vertiefte Teil weist einen Nahsichtteil mit einer relativen Brechkraft (in Bezug auf den Hauptteil) von +3,0 auf. Alle Beispiele beziehen sich auf eine IOL mit veränderlicher Brechkraft des Hauptteils. In [Fig. 27](#) ist die Hälfte rechts unten vertieft. In [Fig. 28](#) ist der vertiefte Teil oben links, in [Fig. 29](#) ist die Vertiefung die linke Seite. Der Maßstab ist Wellenfront/Lambda = 0,54 Mikrometer. In [Fig. 27](#) ist der gesamte Maßstab von –10,6 bis 4,6 in [Fig. 28](#) ist der Maßstab etwa –6,8 bis 8,8, in [Fig. 29](#) ist der Maßstab –12,4 bis 6,3. Die übliche Farbskala wurde in Graustufe umgesetzt.

[0139] Bei der Herstellung einer MSIOL des in diesem Dokument beschriebenen Typs durch Drehen bewegt sich das Materialentfernungswerkzeug gewöhnlich parallel zur Drehachse vom Werkstück weg und zu diesem hin in einer synchronisierten Weise mit dem Drehwinkel. In dieser Weise kann ein Halbmeridian-Lesesektor **7**, **8'**, **20** erzeugt werden, der in den Hauptlinsenteil **4** eingebettet oder vertieft ist. Wenn der Übergang **10** vom Hauptlinsenteil **4** in den vertieften Teil **7**, **8** hergestellt wird, müssen das Werkzeug und das Werkstück oder die Linse zueinander hin bewegt werden. Wenn der Übergang **10** aus dem vertieften Teil **7**, **8** zum Hauptlinsenteil **4** hergestellt wird, müssen das Werkzeug und die Linse voneinander weg bewegt werden. Wenn sie in dieser Weise hergestellt wird, trennt eine Übergangszone **10**, **13**, **13'** den (die) vertiefte(n) Teil(e) vom Hauptlinsenteil **4**. Es sollte klar sein, dass die Abmessungen dieser Übergangszone so klein wie möglich sein sollten. Es wurde festgestellt, dass die besten Ergebnisse bereitgestellt werden, wenn die Übergangszonen so klein oder schmal und folglich so steil wie möglich sind.

[0140] Um die kleinste Übergangszone herzustellen, sollten das Schneidwerkzeug und die Linse so schnell wie möglich zueinander hin und voneinander weg bewegt werden. Häufig bewegt sich das Werkzeug in Bezug auf die Linse. Eine schnelle Verlagerung impliziert, dass das Werkzeug mit der schnellsten Beschleunigung bewegt werden sollte, die vom Hersteller des Schneidwerkzeugs zugelassen ist oder durch das Schneidwerkzeug möglich ist. Das Verfahren der vorliegenden Erfindung berechnet das optimale Übergangsprofil zum Bewegen des Schneidwerkzeugs von der Position 1 in der Ruhestellung zur Position 2 in der Ruhestellung. Die Position 1 entspricht der z-Position des Schneidwerkzeugs, wenn der Fernteil bearbeitet wird, und die Position 2 entspricht der Position des Schneidwerkzeugs, wenn der Leseteil bearbeitet wird, oder umgekehrt.

[0141] Wenn die Bewegung des Schneidwerkzeugs durch eine festgelegte maximale Beschleunigung begrenzt ist, dann wird der schnellste Übergang zwischen zwei Positionen durch Durchführen der Verlagerung des schnellen Werkzeugs mit dieser maximalen Beschleunigung während des ganzen Übergangs bewerkstelligt. Aus der einfachen Mechanik folgt, dass die Verlagerung s nach der Anwendung der maximalen Beschleunigung a_{\max} während einer Zeit t_1 ist:

$$s = 1/2 a_{\max} t_1^2$$

[0142] Das Schneidwerkzeug weist nun eine Geschwindigkeit auf von:

$$v = a_{\max} t_1$$

[0143] Um das schnelle Werkzeug in Ruhe zurückzubringen, $v = 0$, wenden wir wieder die maximale Beschleunigung am schnellen Werkzeugsystem an, aber nun in der entgegengesetzten Richtung. Aus der einfachen Mechanik folgt, dass die Zeit, die zum Stoppen des schnellen Werkzeugs erforderlich ist, t_2 , gleich der Zeit ist, die erforderlich war, um das schnelle Werkzeug zu beschleunigen.

$$t_2 = t_1$$

[0144] Wenn die Übergangszeit Δt ist, ist die Hälfte der Übergangszeit erforderlich, um das schnelle Werkzeug zu beschleunigen, und die Hälfte der Übergangszeit ist erforderlich, um das schnelle Werkzeug wieder in Ruhe zu bringen. Daraus ist das optimierte Profil, das die maximale zulässige Beschleunigung für das Werkzeug verwendet, gegeben durch:

$$s(t) = \frac{1}{2} a_{\max} t^2 \quad \text{Für } 0 \leq t < \frac{\Delta t}{2}$$

$$s(t) = \frac{1}{2} a_{\max} \left(\frac{\Delta t}{2}\right)^2 + a_{\max} \frac{\Delta t}{2} \left(t - \frac{\Delta t}{2}\right) - \frac{1}{2} a_{\max} \left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)^2 \quad \text{Für } \frac{\Delta t}{2} \leq t \leq \Delta t$$

[0145] Wobei Δt die Übergangszeit ist.

[0146] Die gesamte und maximale Verlagerung Δs , wenn sie auf die maximale Beschleunigung a_{\max} des schnellen Werkzeugs begrenzt ist, ist:

$$\Delta s = a_{\max} \left(\frac{\Delta t}{2}\right)^2$$

[0147] Die minimale Zeit, die erforderlich ist, um eine Verlagerung Δs durchzuführen, ist:

$$\Delta t = 2 \sqrt{\frac{\Delta s}{a_{\max}}}$$

[0148] Diese Zeit ist die theoretische minimale Zeit zum Durchführen einer Verlagerung Δs mit dem Schneidwerkzeug, die auf eine maximale Beschleunigung begrenzt ist. Alle anderen Übergangsprofile, die derselben Begrenzung hinsichtlich der maximalen Beschleunigung unterliegen, erfordern eine größere Zeit, um dieselbe Verlagerung Δs durchzuführen.

[0149] Eine wichtige Tatsache besteht darin, dass in der Praxis zum Erreichen einer durch Drehen hergestellten Oberfläche mit guter Qualität die Spindeldrehzahl auf eine minimale Anzahl von Umdrehungen pro Minute begrenzt ist. Wenn die Spindeldrehzahl auf ein Minimum begrenzt ist, führt eine kleinere Übergangszeit zu einer kleineren Übergangszone. Die Winkelgröße ϕ in Grad der Übergangszone kann in diesem Fall berechnet werden durch: $\phi = N \cdot 360 \cdot \Delta t$

$$\phi = N \cdot 360 \cdot 2 \sqrt{\frac{\Delta s}{a_{\max}}}$$

wobei N die Spindeldrehzahl in Umdrehungen pro Sekunde ist.

[0150] Im Allgemeinen nimmt die Höhendifferenz zwischen dem Leseteil und dem Fernteil ab, wenn sich vom Umfang in Richtung des Zentrums der optischen Zone bewegt wird. Dies impliziert, dass die Winkelgröße der Übergangszone kleiner gemacht werden kann, wenn sie sich dem Zentrum nähert. In dieser Weise wird die effektive Fläche der optischen Zonen maximiert. Ein weiterer wichtiger Vorteil besteht darin, dass der Übergang in dieser Weise so steil wie möglich gemacht wird. Ein steiler Übergang kann vorteilhaft sein, Reflexionen an der Übergangszone sind derart, dass sie weniger oder nicht als Störung durch den Patienten wahrgenommen werden. Daraus kann geschlossen werden, dass mit dem optimierten Übergangsprofil eine größere Verla-

gerung für dieselbe Größe des Übergangsprofils erreicht werden kann. Oder ansonsten, wenn ein bestimmter Betrag an Verlagerung erforderlich ist, um mit dem optimierten Übergangsprofil vom Fernteil zum Leseteil zu wechseln, kann dies in einer schnelleren Weise erreicht werden, was zu einer kleineren Übergangzone führt. Eine weitere Anwendung für das beschriebene optimierte Übergangsprofil ist dies. Um eine Verlagerung Δs in einer Zeit Δt in der am besten gesteuerten oder genauesten Weise durchzuführen, kann es vorteilhaft sein, den Übergang mit der minimalen Beschleunigung herzustellen. Die minimale Beschleunigung, die erforderlich ist, um eine Verlagerung Δs in einer Zeit Δt zu erreichen, kann berechnet werden mit:

$$a_{\min} = \frac{4\Delta s}{\Delta t^2}$$

[0151] Das Übergangsprofil ist wieder gegeben durch:

$$s(t) = \frac{1}{2} a t^2 \quad \text{Für } 0 \leq t < \frac{\Delta t}{2}$$

$$s(t) = \frac{1}{2} a \left(\frac{\Delta t}{2}\right)^2 + a \frac{\Delta t}{2} \left(t - \frac{\Delta t}{2}\right) - \frac{1}{2} a \left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)^2 \quad \text{Für } \frac{\Delta t}{2} \leq t \leq \Delta t$$

[0152] Wobei Δt die Übergangszeit ist und a die maximale Beschleunigung oder eine festgelegte Beschleunigung für den am besten gesteuerten Übergang ist. Der vorstehend beschriebene Übergang beginnt mit einer horizontalen Steigung und endet mit einer horizontalen Steigung. Für den Fall, dass sowohl die Nah- als auch die Leseteilzone rotationssymmetrische Oberflächen sind, weisen beide Zonen horizontale Steigungen in der tangentialen oder Werkzeugrichtung auf. In diesem Fall können die Zonen durch das Übergangsprofil in einer glatten Weise ohne Diskontinuität in der ersten Ableitung verbunden werden. Falls eine oder beide Zonen beispielsweise nicht rotationssymmetrische Oberflächen aufweist bzw. aufweisen, wie z. B. eine torische Oberfläche oder eine dezentrierte sphärische Oberfläche, ist die Steigung in der Werkzeugrichtung im Allgemeinen nicht horizontal. Um einen glatten Übergang herzustellen, falls eine der Zonen keine horizontale Steigung oder eine Steigung von null in der tangentialen Richtung aufweist, kann der Übergang durch Entfernen eines gewissen Teils des Beginns oder Endes des Übergangsprofils in einer solchen Weise hergestellt werden, dass beide Zonen und die Übergangszonen an ihrem Verbindungspunkt tangential werden. Siehe [Fig. 17](#). Es ist auch nicht schwierig, dieselbe Analyse wie vorstehend in einer allgemeineren Weise durchzuführen. Das heißt, die Annahme, dass sich das Werkzeug in der Position 1 und in der Position 2 in Ruhe befindet, wird fallen gelassen. Stattdessen wird das Werkzeug mit einer festgelegten Geschwindigkeit v_1 vor dem Übergang starten lassen und bleibt auf einer Geschwindigkeit v_2 nach dem Übergang. Das letzte führt zum Übergangsprofil, das wahlweise nicht mit einer horizontalen Steigung startet oder endet. Wenn es gewählt wird, ist es natürlich auch möglich, den Übergang zu starten, ohne dass er zu einer oder beiden optischen Zonen tangential ist.

Beispiel 1

[0153] Maximale Beschleunigung für das Schneidwerkzeug

$$a_{\max} = 10 \text{ m/s}^2$$

[0154] Spindeldrehzahl 1200 N/min (20 N/s) mit einem Übergangswinkel von 20 Grad.

$$\Delta t = \frac{1}{20} \frac{20}{360} = 2,78 \cdot 10^{-3} \text{ s} \quad \frac{\Delta t}{2} = 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Für $0 \leq t < 1,39 \cdot 10^{-3}$: $s(t) = 5t^2$

Für $1,39 \cdot 10^{-3} \leq t < 2,78 \cdot 10^{-3}$:

$$s(t) = 9,66 \cdot 10^{-6} + 1,39 \cdot 10^{-3}(t - 1,39 \cdot 10^{-3}) - 5(t - 1,39 \cdot 10^{-3})^2$$

Beispiel 2

[0155] Spindeldrehzahl $N = 15 \text{ N/s}$. $\Delta s = 0,05 \text{ mm}$, $a_{\max} = 10 \text{ m/s}^2$

$$\Delta t = 2 \sqrt{\frac{\Delta s}{a_{\max}}} = 0,0045 \text{ s} \quad 5$$

$$\phi = N \cdot 360 \cdot 2 \sqrt{\frac{\Delta s}{a_{\max}}} = 15 \cdot 360 \cdot 0,0045 = 24 \text{ Grad}$$

[0156] Es ist auch möglich, den Übergang unter Verwendung von anderen weniger optimalen Profilen herzustellen. Ein Übergangsprofil, das durch die Cosinus-Funktion beschrieben wird, könnte beispielsweise verwendet werden.

$$s(t) = A \cdot \cos(\omega t)$$

[0157] Wobei A die Amplitude und ω die Winkelfrequenz ist. Der Übergang beginnt bei $\omega = 0$ und endet bei $\omega = \pi$. Die Beschleunigung, die erfahren wird, wenn diesem Cosinus-Profil gefolgt wird, ist:

$$a = -A \cdot \omega^2 \cos(\omega t)$$

[0158] Die maximale Beschleunigung im Cosinus-Profil tritt bei $\omega = 0$ und bei $\omega = \pi$ in der entgegengesetzten Richtung auf. Der absolute Betrag der Beschleunigung ist daher:

$$a_{\cos_max} = A \cdot \omega^2$$

[0159] Da die maximale Beschleunigung, die für die Drehmaschine verfügbar oder zugelassen ist, nur während einer sehr kleinen Bahn im Übergangsprofil verwendet wird, ist die erreichte Verlagerung für das schnelle Werkzeug wesentlich geringer als das beschriebene optimale Übergangsprofil in diesem Dokument.

[0160] Für Vergleichszwecke wird ein Cosinus-Übergang mit derselben Übergangszeit und maximalen Beschleunigung, wie im obigen Beispiel mit dem optimierten Übergangsprofil ([Fig. 17](#)) verwendet, berechnet.

[0161] Die Winkelfrequenz ω kann aus der Übergangszeit berechnet werden:

$$\omega = \frac{\pi}{\Delta t}$$

[0162] Die maximale Amplitude, die bei maximaler Beschleunigung $a_{\max} = 10 \text{ m/s}^2$ möglich ist, ist

$$A = \frac{a_{\max}}{\left(\frac{\pi}{\Delta t}\right)^2}$$

$$s(t) = A \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{\Delta t} t\right)\right)$$

[0163] Eine weitere Funktion, die verwendet wird, um einen solchen Übergang zu definieren, ist die S-förmige Funktion, wie in WO 9716760 und US 6871953 beschrieben. Die S-förmige Funktion ist definiert als ([Fig. 18](#)):

$$y(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

[0164] Wenn $y(t)$ die Verlagerung als Funktion der Zeit t ist, dann ist die Beschleunigung im S-förmigen Profil ([Fig. 19](#)) gegeben durch:

$$a = \frac{d^2 y(t)}{dt^2}$$

$$a = \frac{2e^{-2t}}{(e^{-t} + 1)^3} - \frac{e^{-t}}{(e^{-t} + 1)^2}$$

[0165] Es zeigt, dass die Beschleunigung im Profil nicht gleichmäßig ist. Die maximale mögliche Beschleunigung wird während des ganzen Übergangs nicht verwendet. Die Geschwindigkeit des Übergangs ist durch die Extremwerte im Beschleunigungsprofil eingeschränkt, siehe [Fig. 19](#).

[0166] Die S-förmige Funktion kann skaliert und verschoben werden, um den erforderlichen Übergang zu modellieren. In derselben Weise wie gezeigt mit dem Cosinus-Übergang kann leicht gezeigt werden, dass ein Übergang, der durch eine S-förmige Funktion beschrieben ist, weniger optimal ist. Das heißt, wenn er auf eine maximale Beschleunigung während des Übergangs begrenzt ist:

- die maximale Verlagerung in einem festen Zeitintervall ist geringer

[0167] Die für eine erforderliche Werkzeugverlagerung benötigte Zeit ist größer, was zu einer breiteren Übergangszone führt.

[0168] Fernteil mit dem Radius Rd:

$$Rd := 10,0$$

$$zd(r) := Rd - \sqrt{Rd^2 - r^2}$$

[0169] Leseteil mit dem Radius Rr

$$Rr := 8,5$$

$$zr(r) := Rr - \sqrt{Rr^2 - r^2}$$

[0170] Sagittaldifferenz oder Höhendifferenz bei der Bewegung vom Leseteil zum Fernteil, siehe [Fig. 30](#):

$$\text{sagdiff}(r) := zr(r) - zd(r)$$

[0171] Radialer Abstand s, der verfügbar ist, um die Höhenstufe aufzunehmen, wenn der Übergang zwischen zwei Meridianen durchgeführt wird, die ein Winkel α in einem Abstand r vom optischen Zentrum entfernt sind:

$$s(r) := 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360}$$

[0172] Übergangprofil im ersten halben Teil

$$z := 1/2 \cdot a \cdot x^2$$

[0173] Sollte gleich der Hälfte der Höhenstufe sein

$$\frac{\text{saggdiff}(r)}{2} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \left(\frac{s(x)}{2} \right)^2$$

$$a := \frac{\text{saggdiff}(r)}{\left(\frac{s(x)}{2} \right)^2} \quad a := \frac{4 \cdot \text{saggdiff}(r)}{s(x)^2}$$

$$a := 4 \cdot \frac{\left[Rr - \sqrt{Rr^2 - r^2} - \left(Rd - \sqrt{Rd^2 - r^2} \right) \right]}{\left(2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360} \right)^2}$$

[0174] Steigung auf halbem Wege des Übergangsprofs:

$$\text{Steigung} := \left[\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} \cdot a \cdot x^2 \right) \right]$$

$$\text{Steigung} := a \cdot x$$

$$\text{Steigung} := a \cdot \frac{\left(2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360} \right)}{2}$$

$$\text{Steigung}(r) := 4 \cdot \frac{\left[Rr - \sqrt{Rr^2 - r^2} - \left(Rd - \sqrt{Rd^2 - r^2} \right) \right]}{\left(2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360} \right)^2} \cdot \frac{\left(2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360} \right)}{2}$$

$$\text{Steigung}(r) := \frac{\left[Rr - \sqrt{Rr^2 - r^2} - \left(Rd - \sqrt{Rd^2 - r^2} \right) \right]}{\left(\pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360} \right)}$$

[0175] Siehe [Fig. 31](#), die einen Graph der Steigung oder ersten Ableitung des steilsten Teils des Angleichungsteils als Funktion des radialen Abstandes vom optischen Zentrum der ophthalmischen Linse, für eine Angleichungszone zwischen zwei Halbmeridianlinien, die einen Winkel von 15 Grad einschließen, zeigt, und [Fig. 32](#) für einen Angleichungsteil, der von zwei Halbmeridianen, die einen Winkel von 4 Grad einschließen, eingeschlossen ist. Nachstehend sind mehrere Werte in einer Tabelle gezeigt.

Abstand	Steigung 15 Grad	Steigung 4 Grad
0,4	0,027	0,101
0,8	0,054	0,203
1,2	0,082	0,307

1,6	0,11	0,414
2,0	0,14	0,524
2,4	0,171	0,64
2,8	0,203	0,761

[0176] Die Form und Steigung (erste Ableitung) der Angleichungszone kann mit hoher Genauigkeit beispielsweise unter Verwendung eines 3D Optical Profiler oder Form talysurf, kommerziell erhältlich von Taylor Hobson, Großbritannien, gemessen werden. [Fig. 35](#) zeigt eine Oberflächenabbildung einer Linse gemäß der Erfindung.

[0177] In klinischen Versuchen wurde festgestellt, dass mit einer steilen Steigung und sorgfältigen Wahl des zentralen Teils der Kontrast der Linse zunimmt. In einer kürzlich durchgeführten europäischen multizentrischen klinischen Studie (Pardubice-Studiendaten auf Datei) wurde 25 Probanden mit 49 Augen, 24 Probanden bilateral die erfindungsgemäße MSIOL implantiert. Die Probanden stellen eine Probenauswahl der Bevölkerung von typischen europäischen Kataraktpatienten dar. Die Kontrastempfindlichkeit wurde unter photopischen Bedingungen mit einem CSV1000-Instrument von Vector Vision Inc., Greenville, Ohio, USA US 5078486, gemessen. In dieser Studie wurden die folgenden LogMar-(Logarithmische mittlere Winkelauflösung)Werte, gemessen mit dem CSV1000, für Raumfrequenzen 3, 6, 12 und 18 cpd gefunden:

Raumfrequenz (cpd)	3 Monate	St.-Abw.
3	1,677	+/-0,15
6	2,073	+/-0,17
12	1,831	+/-0,21
18	1,437	+/-0,19

[0178] Ein Kontrastempfindlichkeitsvergleich wurde mit den zwei Marktführern in MIOL durchgeführt. Die AcrySof ReSTOR SN60D3 (Alcon) ist eine brechende/beugende MIOL und die ReZoom (Advanced Medical Optics) ist eine brechende Multifokallinse mit mehreren Zonen, die auf ein verbessertes Sichtergebnis abzielt.

[0179] In einer kürzlichen Studie mit dem Titel "Multifocal Apodized Diffractive IOL versus Multifocal Refractive IOL", veröffentlicht im Journal Cataract Refract Surg 2008; 34:2036–2042 Q 2008 ASCRS und ESCRS, wurde die Kontrastempfindlichkeit bei 23 Patienten, die eine bilaterale Implantation der AcrySof ReSTOR SN60D3 IOL hatten, und 23 Patienten, die eine bilaterale Implantation der ReZoom IOL hatten, gemessen. Die Anzahl von Probanden in unserer Studie war 24 und daher direkt mit dem Ergebnis dieser Studie vergleichbar. Es zeigt eine mittlere Kontrastempfindlichkeitsverbesserung von mindestens 25% im Vergleich zu einer konzentrischen multifokalen Brechungslinse des Standes der Technik. Die erfindungsgemäße Linsenkonfiguration ergibt eine mittlere Kontrastempfindlichkeit für gesunde Augen (1,677) bei 3 cpd, (2,07) bei 6 cpd, (1,831) bei 12 cpd und (1,437) bei 18 cpd. In [Fig. 33](#) und [Fig. 34](#) sind die Ergebnisse im Vergleich zur Leistung einer durchschnittlichen Bevölkerung für mehrere Altersgruppen (Bevölkerungsnorm <http://www.vectorvision.com/html/educationCSV1000Norms.html>), zur Leistung der Testgruppe vor der Operation (vor OP) und zur Leistung mit einer MIOL, die als LS 312-MF angegeben ist, angegeben. Diese Ergebnisse wurden 6 Monate postoperativ, d. h. 6 Monate nach der Operation, konsistent gefunden.

[0180] Es ist auch klar, dass die obige Beschreibung und die Zeichnungen aufgenommen worden sind, um einige Ausführungsformen der Erfindung zu erläutern und nicht um den Schutzbereich zu begrenzen. Ausgehend von dieser Offenbarung sind viele weitere Ausführungsformen für einen Fachmann ersichtlich, die innerhalb des Schutzbereichs und des Kerns dieser Erfindung liegen und die offensichtliche Kombinationen von Verfahren des Standes der Technik und der Offenbarung dieses Patents sind.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 4636049 [0002]
- US 4418991 [0002]
- US 4210391 [0002]
- US 4162172 [0002]
- US 3726587 [0002]
- EP 0590025 B1 [0002]
- US 6126286 [0002]
- US 4641934 [0003]
- US 4642112 [0003]
- US 4923296 [0004]
- WO 92/06400 [0004]
- US 4921496 [0004]
- EP 0858613 B1 [0005, 0006, 0006]
- US 6409339 B1 [0005, 0006, 0006, 0028]
- US 6871953 [0006, 0006, 0163]
- US 7004585 [0007, 0113]
- US 7237894 [0008]
- EP 1850793 [0019]
- EP 1857077 [0019]
- US 2006279697 [0019]
- EP 0888564 B1 [0020]
- EP 1194797 B1 [0020]
- WO 9716760 [0163]
- US 5078486 [0177]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Glen Myers, Shirin Berez, William Krenz und Lawrence Stark, Am. J. Physiol. Regul. Integr. Corp. Physiol., 258:813–819 (1990) [0023]
- ISO 11979-2 [0138]
- "Multifocal Apodized Diffractive IOL versus Multifocal Refractive IOL", veröffentlicht im Journal Cataract Refract Surg 2008; 34: 2036–2042 Q 2008 ASCRS und ESCRS [0179]
- <http://www.vectorvision.com/html/educationCSV1000Norms.html> [0179]

Schutzansprüche

1. Intraokularlinse (IOL) (1) mit einer Linse (3) mit einem Hauptlinsenteil (4) mit einer Oberfläche, einem vertieften Teil (7, 8) mit einer Oberfläche, die in Bezug auf die Oberfläche des Hauptlinsenteils (4) vertieft ist, einem optischen Zentrum und einer optischen Achse (R) durch das optische Zentrum, wobei der Hauptlinsenteil (4) mindestens eine Grenze zum vertieften Teil aufweist, der Hauptlinsenteil (4) eine Brechkraft zwischen etwa -20 und etwa $+35$ Dioptrien aufweist, der vertiefte Teil (7, 8) in einem Abstand von weniger als 2 mm vom optischen Zentrum angeordnet ist und einen Nahteil mit einer relativen Dioptrie von etwa $+1,0$ bis etwa $+5,0$ in Bezug auf die Brechkraft des Hauptlinsenteils (4) aufweist, die Grenze oder die Grenzen des vertieften Linsenteils zum Hauptlinsenteil einen Angleichungsteil oder Angleichungsteile (10, 11) bilden, die so geformt sind, dass sie das Licht von der optischen Achse weg brechen, wobei die IOL (1) ferner einen zentralen Teil (6) aufweist, der eine relative Brechkraft von etwa $-2,0$ bis $+2,0$ Dioptrien in Bezug auf den Hauptlinsenteil (4) aufweist, wobei der zentrale Teil (6) in einen Umkreis mit einem Durchmesser von etwa $0,60$ – $1,20$ mm passt.
2. IOL nach Anspruch 1, wobei der Angleichungsteil oder die Angleichungsteile (10, 11) eine Krümmung aufweisen, die zu einem Lichtverlust innerhalb eines Kreises mit einem Durchmesser von 4 mm um das optische Zentrum von weniger als etwa 15% führt, wobei der Lichtverlust als Bruchteil der Menge an fokussiertem Licht von der IOL (1) im Vergleich zur Menge an fokussiertem Licht von einer identischen IOL ohne den vertieften Teil (7, 8) definiert ist.
3. IOL nach Anspruch 2, wobei der Lichtverlust unterhalb etwa 10% liegt.
4. IOL nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der vertiefte Teil auf zwei Seiten im Wesentlichen durch Halbmeridiane begrenzt ist, die vom optischen Zentrum verlaufen, wobei der vertiefte Teil folglich als Meridianzone geformt ist.
5. IOL nach Anspruch 4, wobei der vertiefte Teil einen eingeschlossenen Winkel von etwa 175 – 195 Grad aufweist.
6. IOL nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der vertiefte Teil durch zwei Halbmeridiane und eine Breitenlinie, die zum zentralen Teil konzentrisch und in einem Abstand von diesem liegt, begrenzt ist.
7. IOL nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zwei Angleichungsteile (10) jeweils innerhalb Halbmeridianen liegen, die einen Winkel (γ) von weniger als 15 Grad einschließen, wobei in einer Ausführungsform die Halbmeridiane einen Winkel (γ) von weniger als 5 Grad einschließen.
8. IOL nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Steigung der Angleichungsteile eine S-förmige Kurve aufweist und eine Steilheit mit einer Steigung oder ersten Ableitung in einem zentralen Bereich des Angleichungsteils bei 1,6 mm vom optischen Zentrum von mehr als 0,1 am steilsten Teil, in einer Ausführungsform mehr als 0,4 am steilsten Teil, aufweist.
9. IOL nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Angleichungsteile eine S-förmige Kurve aufweisen und eine Steilheit mit einer Steigung oder ersten Ableitung in einem zentralen Bereich des Angleichungsteils bei 2,8 mm vom optischen Zentrum von mehr als 0,2 am steilsten Teil, in einer Ausführungsform mehr als 0,7 am steilsten Teil, aufweisen.
10. IOL nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei mindestens einer der Angleichungsteile, insbesondere mindestens ein Halbmeridian-Angleichungsteil, eine S-förmige Kurve aufweist, die einer ersten Parabelkurve folgt, die von der Hauptlinsenteiloberfläche in Richtung der Oberfläche des vertieften Teils verläuft, einen Zwischenkurventeil aufweist, der mit der ersten Parabelkurve verbindet, und sich fortsetzt, wobei sie einer zweiten Parabelkurve folgt, die an der vertieften Oberfläche endet.
11. IOL nach Anspruch 10, wobei der Zwischenkurventeil am steilsten Teil eine erste Ableitung von mindestens 0,05 bei 0,4 mm vom optischen Zentrum, in einer Ausführungsform mindestens 0,1 bei 0,8 mm, in einer Ausführungsform mindestens 0,15 bei 1,2 mm, in einer Ausführungsform mindestens 0,2 bei 1,6 mm, in einer Ausführungsform mindestens 0,3 bei 2,0 mm, in einer Ausführungsform mindestens 0,4 bei 2,4 mm, in einer Ausführungsform mindestens 0,5 bei 2,8 mm aufweist.
12. IOL nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Hauptlinsenteil, der zentrale Teil, der vertiefte Teil und die Angleichungsteile gegenseitig angeordnet und geformt sind, um eine LogCS-Charakteristik unter

photopischen Lichtbedingungen innerhalb 6 Monaten nach der Operation bei einer Raumfrequenz (cpd) zwischen 3 und 18 bereitzustellen, die mindestens zwischen der Bevölkerungsnorm von 11–19 Jahren und 50–75 Jahren liegt, wobei in einer Ausführungsform bei einer Raumfrequenz (cpd) zwischen etwa 6 und 18, ihre LogCS-Charakteristik unter photopischen Lichtbedingungen innerhalb 6 Monaten nach der Operation über der Bevölkerungsnorm von 20–55 Jahren liegt.

13. Zusatz-IOL, die in den Sack, den Sulcus, als Hornhauteinlage oder als Linse der vorderen Kammer eingesetzt werden soll, die die IOL nach einem der vorangehenden Ansprüche aufweist, wobei der Hauptlinsenteil eine Brechkraft von etwa -10 bis $+5$ Dioptrien aufweist.

Es folgen 14 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig 1

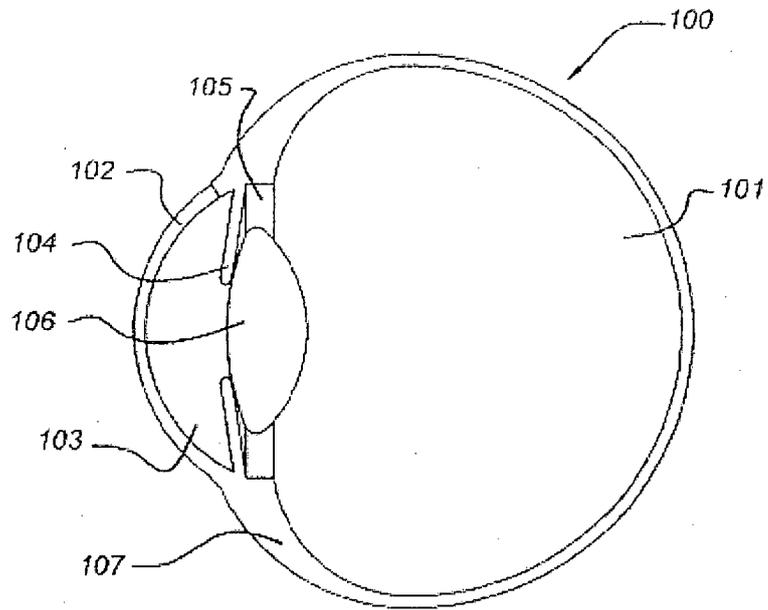


Fig 2

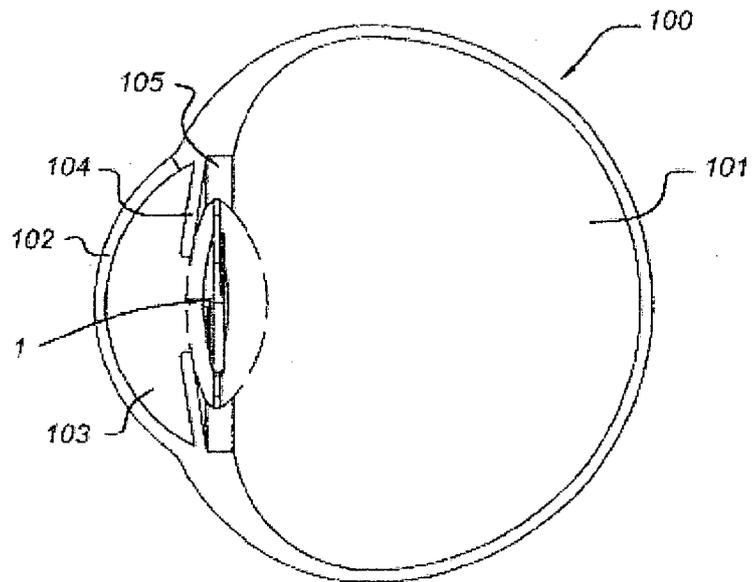


Fig 3

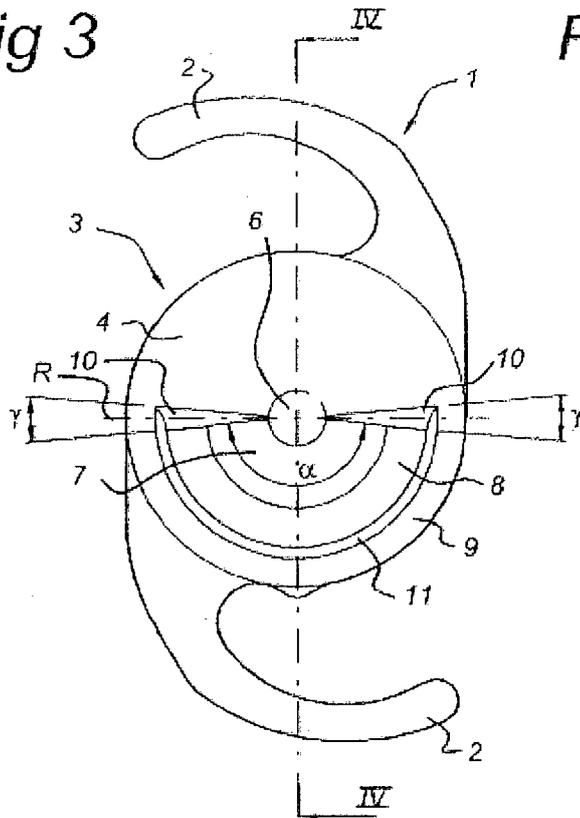


Fig 4

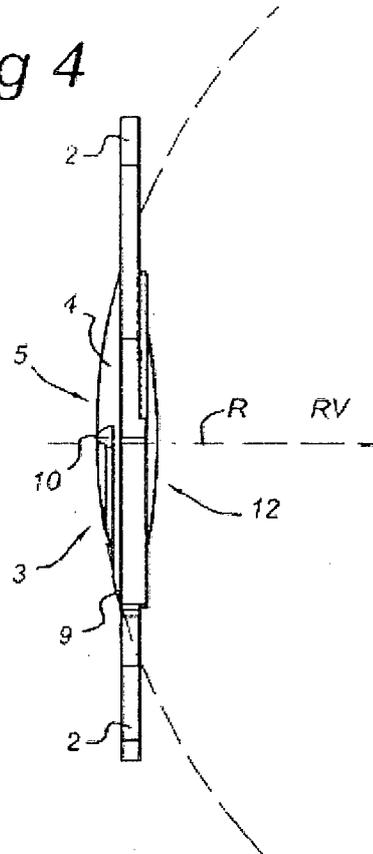


Fig 5

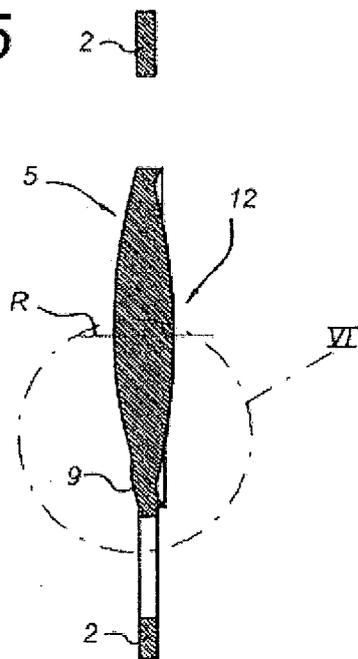


Fig 6

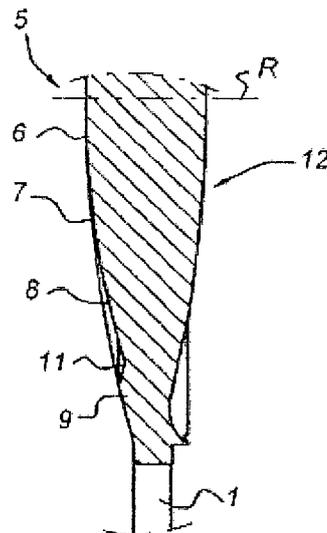


Fig 7

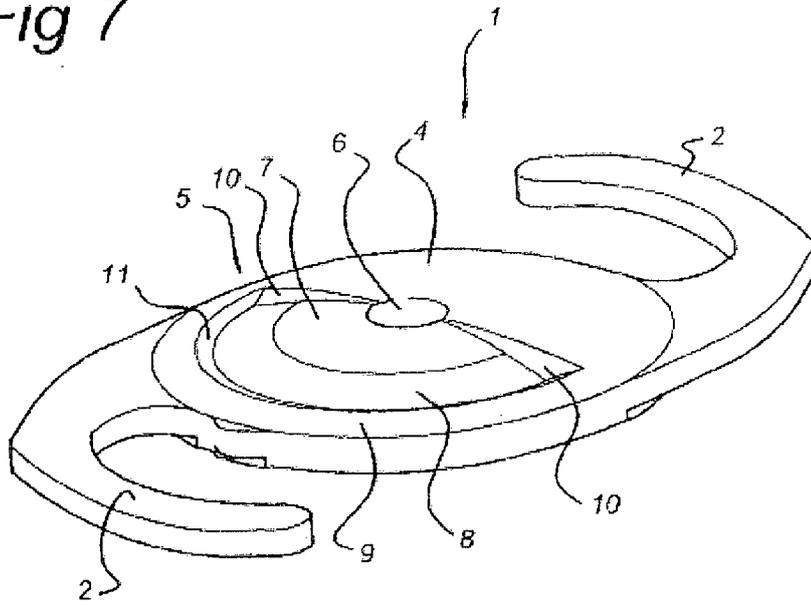


Fig 8

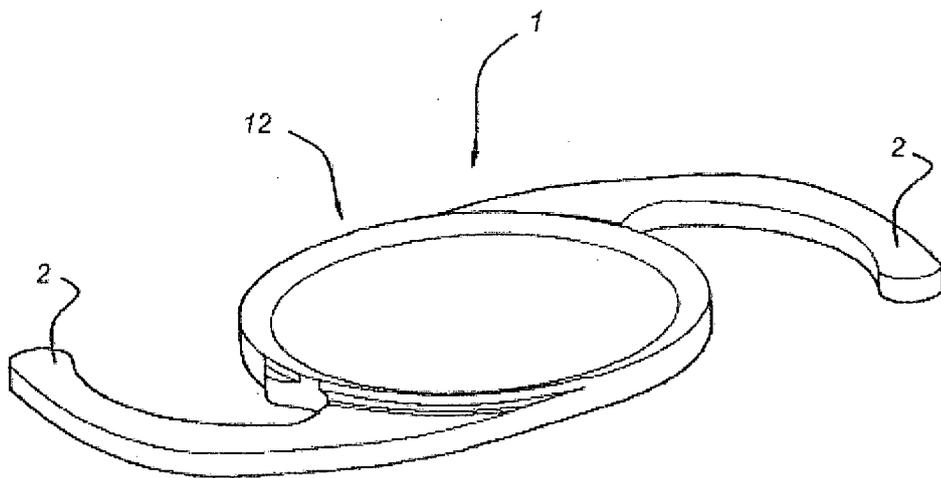


Fig 9

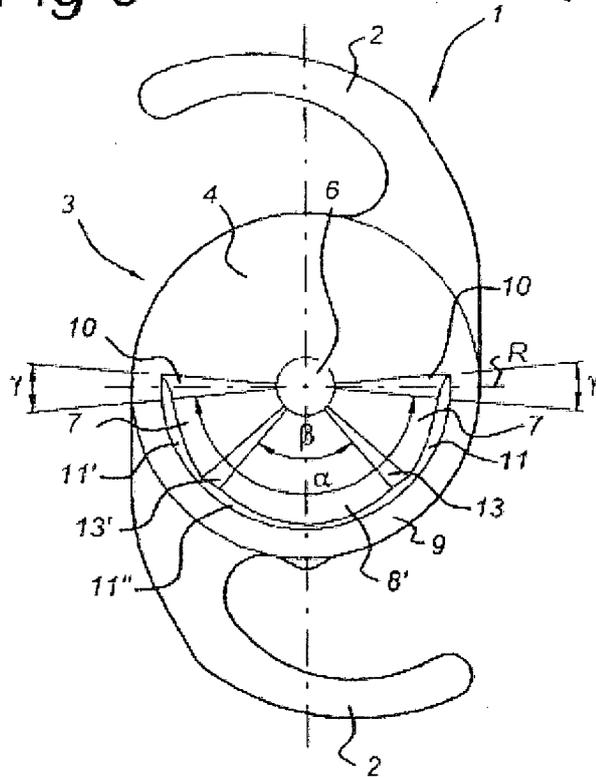


Fig 10

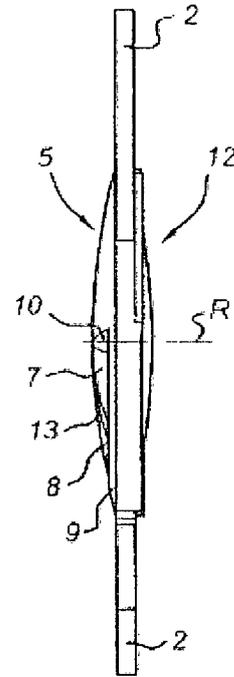


Fig 11

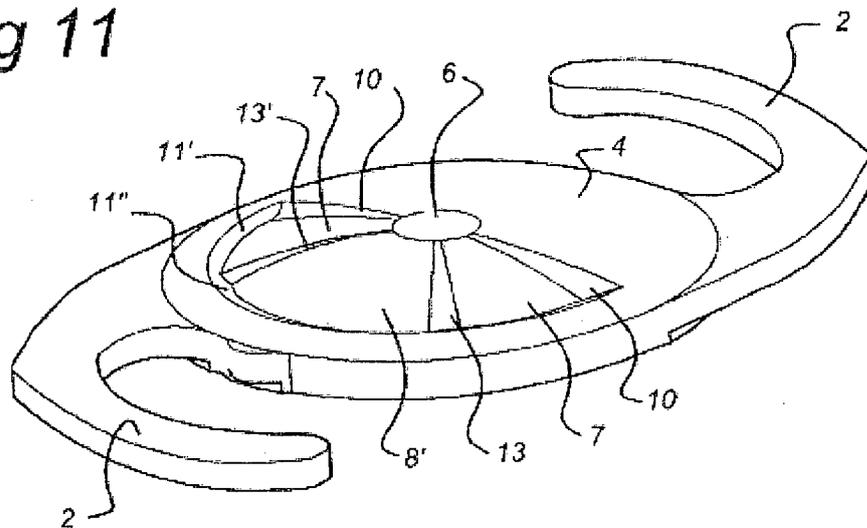


Fig 12

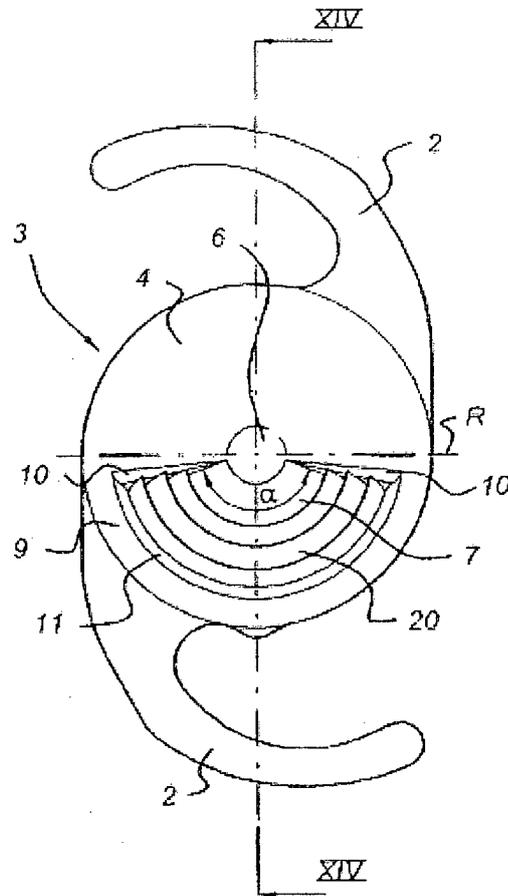


Fig 13

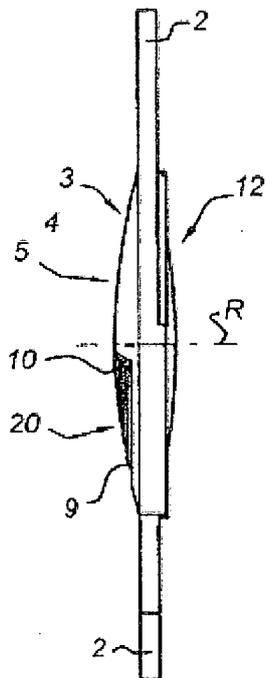


Fig 14

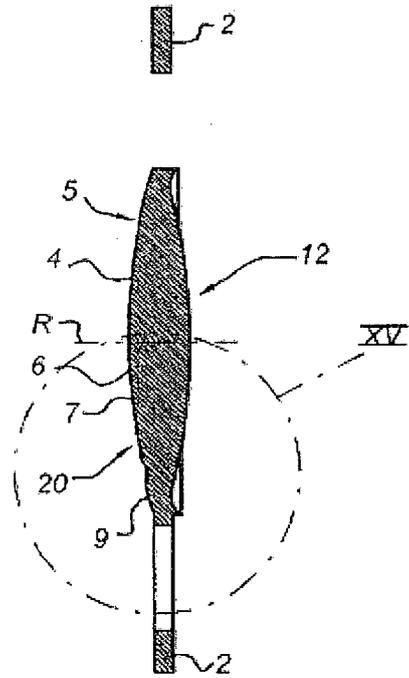


Fig 15

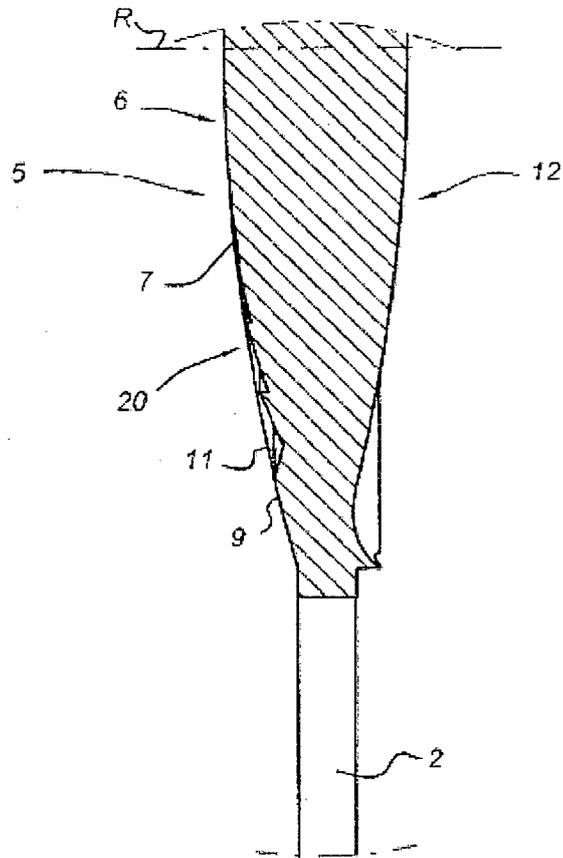


Fig 16

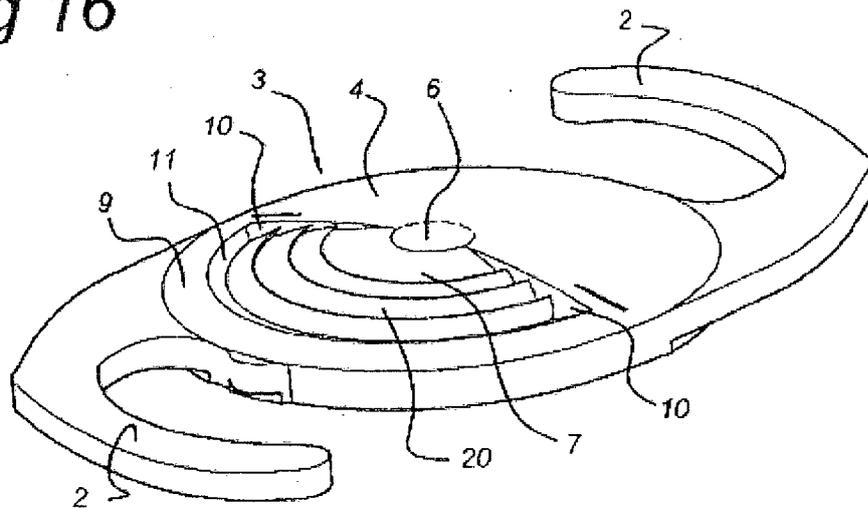


Fig 17

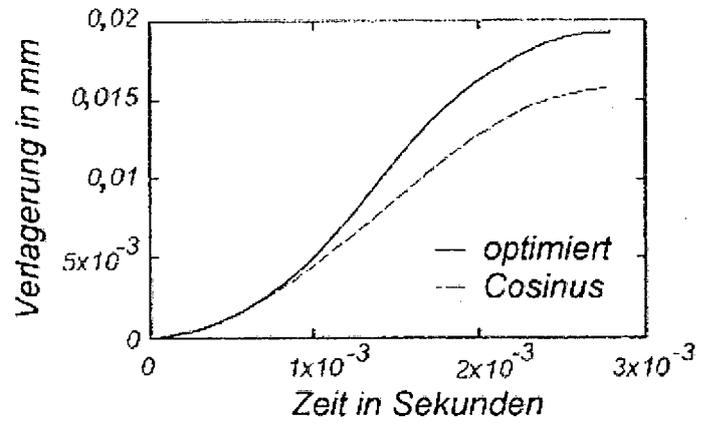


Fig 18

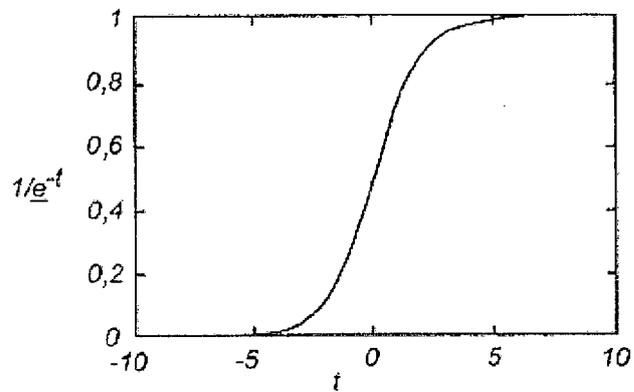


Fig 19

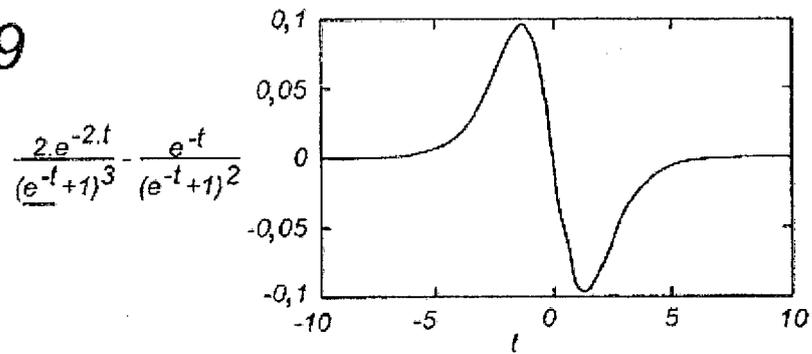


Fig 20

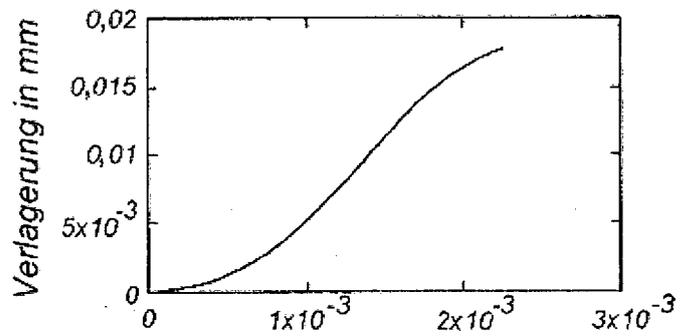


Fig 21

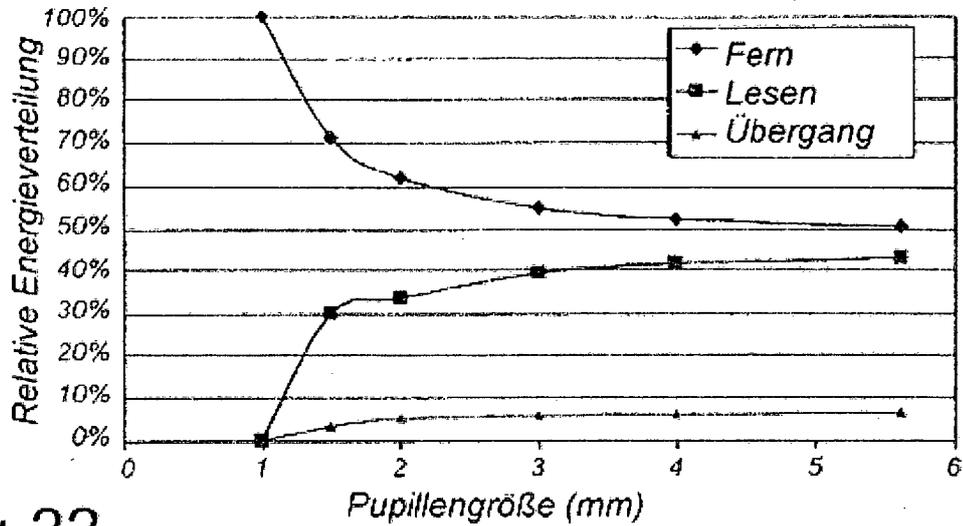


Fig 22

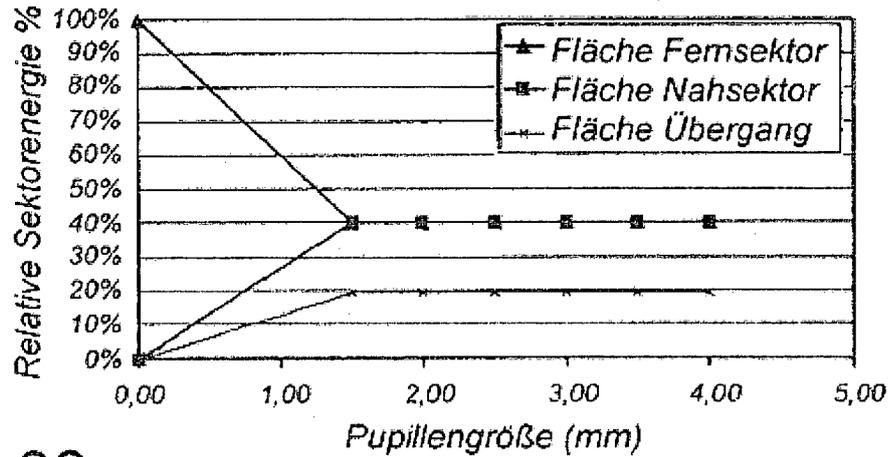


Fig 23

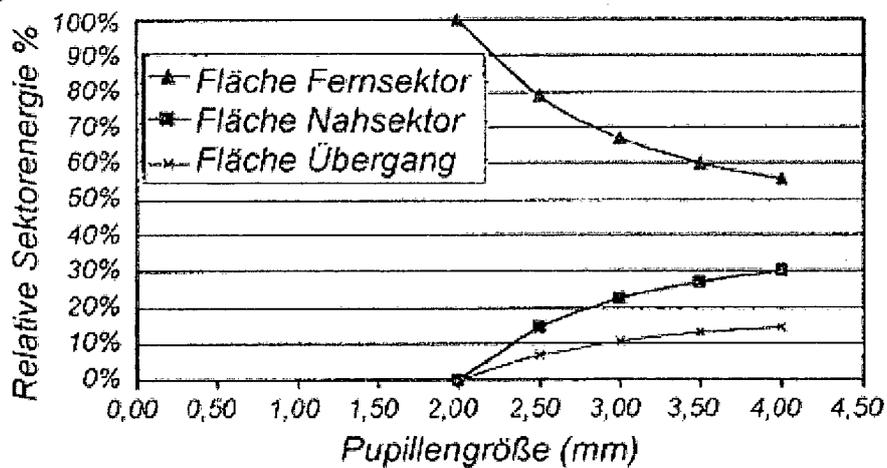


Fig 24

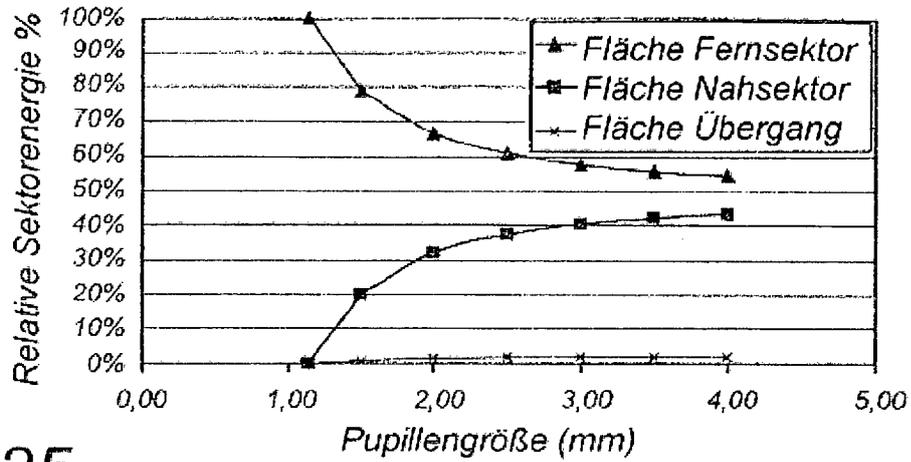


Fig 25

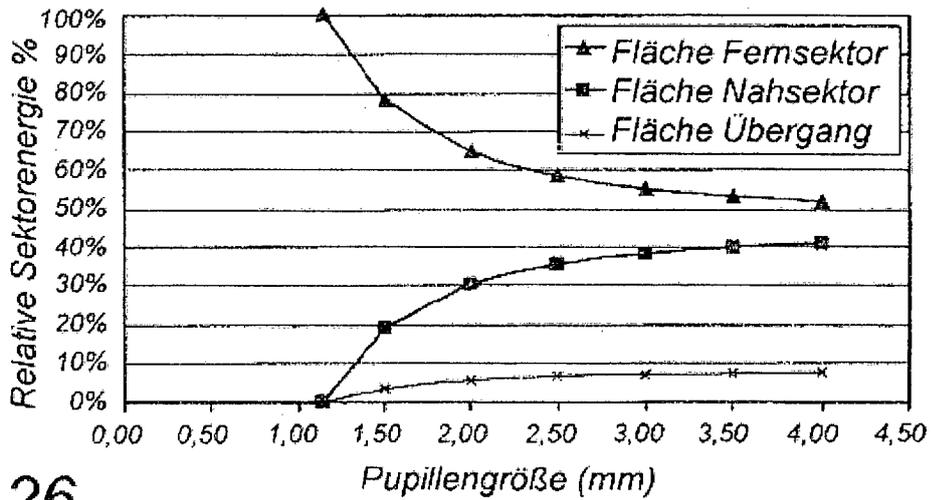


Fig 26

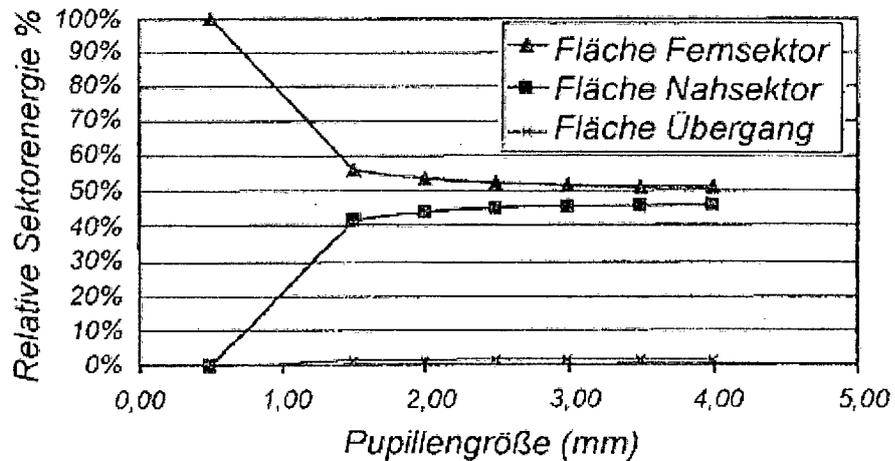


Fig 27

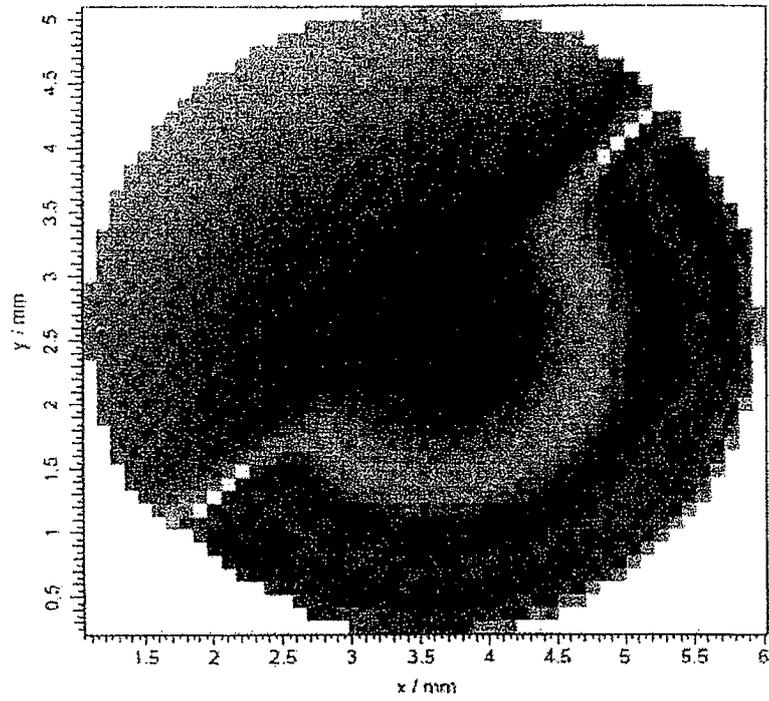


Fig 28

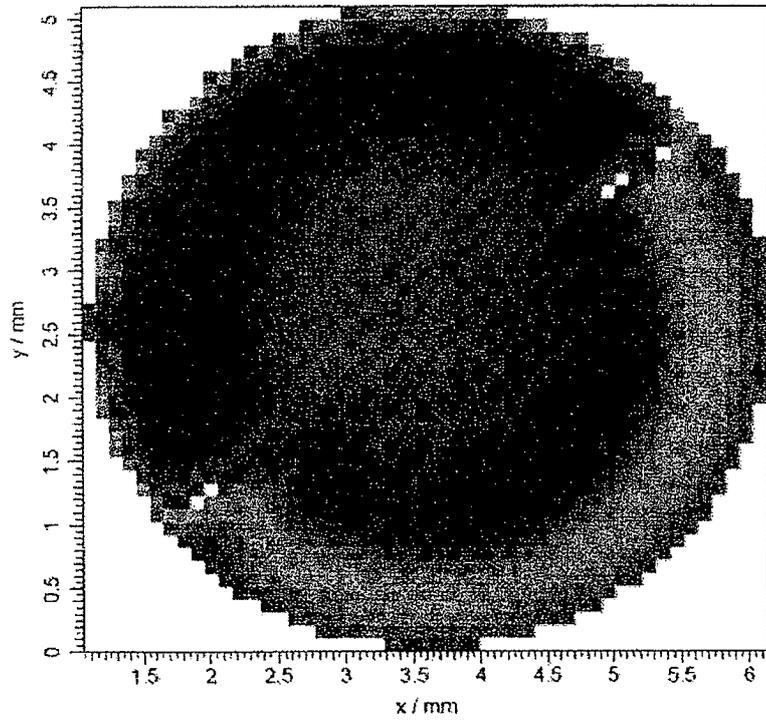


Fig 29

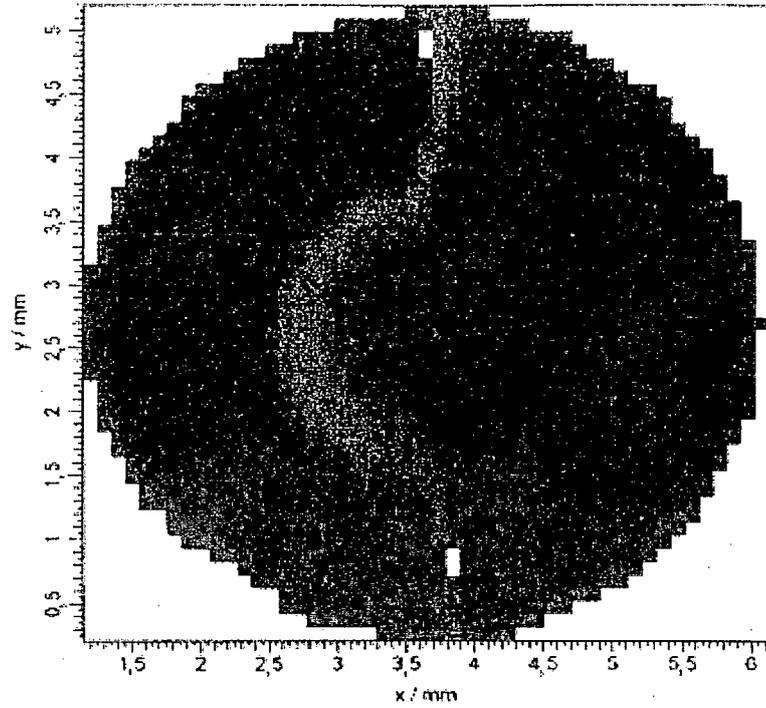


Fig 30

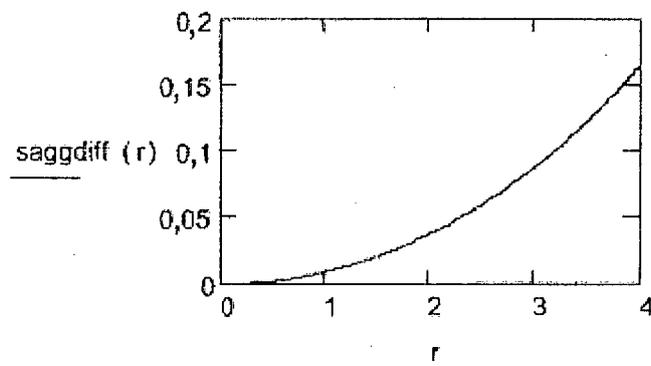


Fig 31

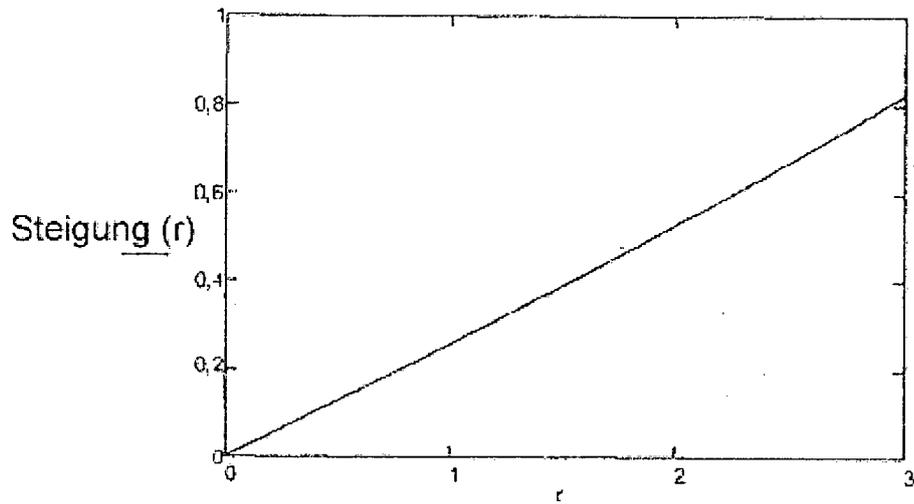


Fig 32

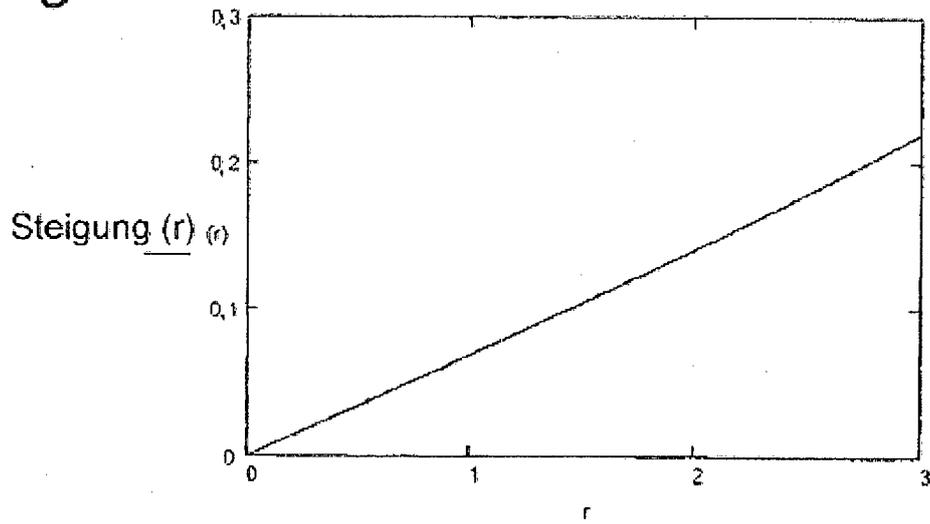


Fig 33

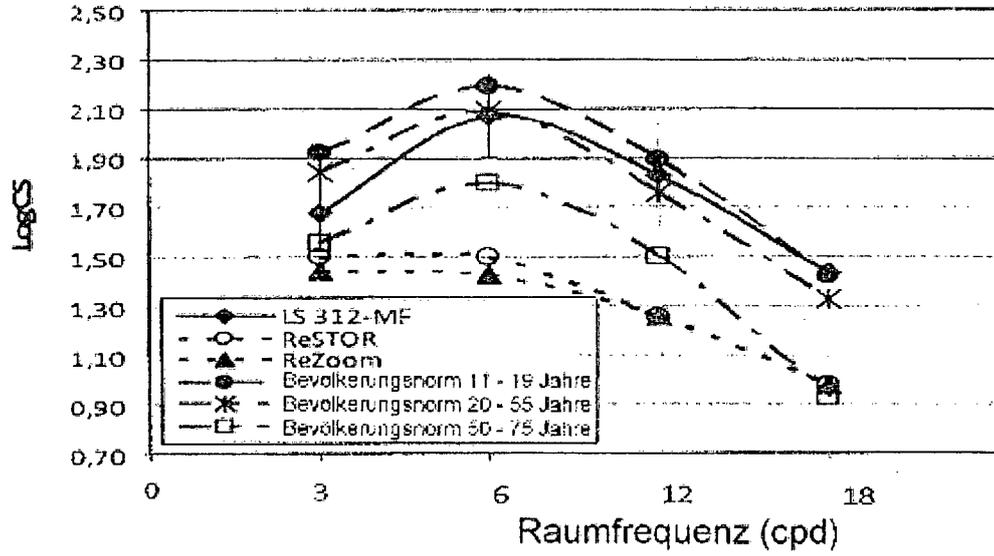


Fig 34

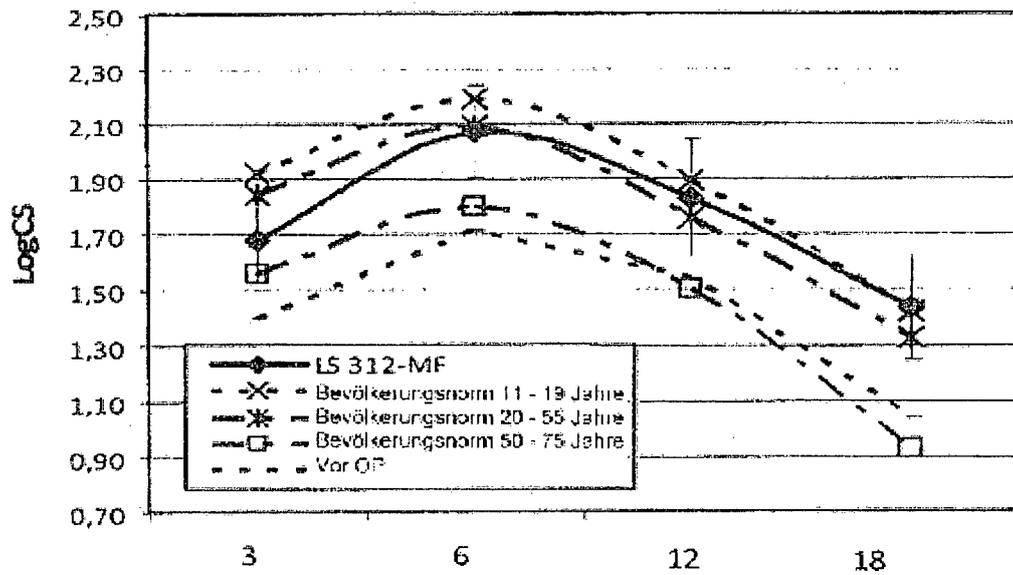


Fig 35

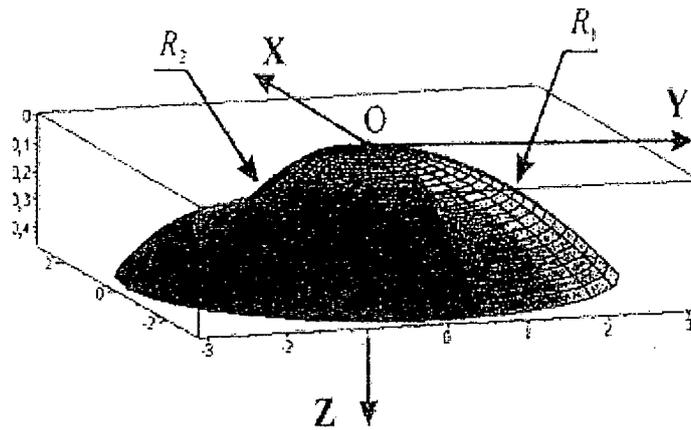


Fig 36

